

Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

**Análisis económico de un sistema de
almacenamiento para la disminución
de desvíos de producción
en un parque eólico**

Autor: Antonio Hernández Romero

Tutor: Manuel Burgos Payán

**Departamento de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Junio 2016



Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

**Análisis económico de un sistema
de almacenamiento para la
disminución de desvíos de
producción en un parque eólico**

Autor:

Antonio Hernández Romero

Tutor:

Manuel Burgos Payán

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Junio 2016

Índice de Contenidos

1. Objeto del Proyecto	1
2. Introducción	2
2.1. Concepto de Energía Eólica	2
2.2. Evolución de la Energía Eólica en España	6
2.3. Cifras Actuales de Energía Eólica en España	8
2.4. Cifras Actuales de Energía Eólica Mundial	12
2.5. Marco Normativo y Regulatorio	15
3. El Mercado Eléctrico Español	17
3.1. El Mercado Diario	17
3.1.1. Compradores y Vendedores	18
3.1.2. Presentación de Ofertas	18
3.1.3. Proceso de Casación de Ofertas	19
3.2. El Mercado Intradiario	22
3.2.1. Ofertas de Venta	24
3.2.2. Ofertas de Compra	25
3.2.3. Proceso de Casación	26
4. Operación del Sistema Eléctrico Español	27
4.1. Solución de Restricciones Técnicas	28
4.2. Asignación de Servicios Complementarios	29
4.3. Gestión de Desvíos	30
5. Liquidación de los Desvíos	31
5.1. Desvíos	31
5.2. Necesidad Neta del Balance del Sistema	32
5.3. Liquidación del Desvíos Consolidado por Sujeto de Liquidación	32
5.4. Liquidación del Desvío por Unidad de Programación	34

5.5. Coste del Desvío	37
5.6. Exención del Coste del Desvío	38
6. Parque Eólico Experimental de Sotavento	39
6.1. Estrategia de Funcionamiento	41
6.2. Datos Monitorizados	42
6.3. Objetivos del Parque Eólico	44
7. Baterías para Almacenamiento de Energía	45
7.1. Batería de Ión-Litio	46
7.2. Batería de Plomo-Ácido	49
7.3. Batería de Sodio-Sulfuro	51
7.4. Batería Redox de Vanadio	53
7.5. Batería Redox Zn-Br	56
8. Estudio de Costes de los Desvíos de Energía	60
8.1. Procedimiento de Cálculo de Costes de los Desvíos de Energía	63
8.2. Obtención de los Datos y Cálculo de Costes de los Desvíos de Energía	65
9. Estudio del Uso de Baterías de Almacenamiento	73
9.1. Sistema de Almacenamiento de 4 MWh	80
9.2. Sistema de Almacenamiento de 3 MWh	86
9.3. Sistema de Almacenamiento de 2 MWh	92
9.4. Sistema de Almacenamiento de 1 MWh	98
9.5. Conclusiones del Estudio	104
10. Estudio del Año en que Hacer la Inversión	106
10.1. Tecnología Ión-Litio	110
10.2. Tecnología Plomo-Ácido	111
10.3. Tecnología Sodio-Sulfuro	112
10.4. Tecnología Redox Vanadio	113

10.5. Tecnología Redox Zn-Br	114
10.6. Conclusiones del Estudio	115
11. Estudio de Sensibilidad	117
11.1. Estudio Económico de Beneficios	117
11.2. Estudio del Año de la Inversión	121
12. Conclusiones	123
<u>ANEXO I: Programas Desarrollados en Matlab</u>	125
I.1. Programa para el Estudio Económico Detallado	127
I.2. Programa para Calcular el Beneficio Óptimo y la Capacidad Óptima en función del Año de Inversión	134
I.3. Función para Calcular el Beneficio Semanal	138
<u>ANEXO II: Código Programa Estudio Económico Detallado</u>	141
<u>ANEXO III: Código Programa Estudio del Beneficio Semanal</u>	155
<u>ANEXO IV: Código Función “Beneficio Semanal Baterías”</u>	159
<u>ANEXO V: Tabla de Datos para el Cálculo del Coste de los Desvíos</u>	169
Bibliografía de Referencia	211

Índice de Figuras

2.1. Molinos para la extracción y bombeo de agua subterránea	3
2.2. Aerogeneradores para la producción de energía eléctrica	3
2.3. Elementos principales de un aerogenerador	4
2.4. Aerogeneradores de eje vertical	5
2.5. Aerogeneradores de eje horizontal	5
2.6. Potencia peninsular instalada y cobertura de la demanda anual de 2015	9
2.7. Evolución de la Generación Renovable y No Renovable en %	9
2.8. Evolución de la producción de energía renovable y no renovable (GWh)	10
2.9. Evolución anual y acumulada de la potencia eólica instalada (1998-2014)	10
2.10. Evolución anual de la potencia eólica instalada en España (1998-2015)	11
2.11. Reparto de la potencia instalada por Comunidades Autónomas en 2015	11
2.12. Evolución de generación eólica anual y tasa de variación (2004-2015)	12
2.13. Evolución de potencia eólica anual instalada en el mundo (2000-2015)	13
2.14. Potencia eólica instalada acumulada en el mundo (2000-2015)	14
2.15. Potencia instalada por países acumulada a finales de 2014	14
3.1. Curva de oferta de electricidad del mercado	20
3.2. Curva de demanda de electricidad del mercado	21
3.3. Ejemplo de determinación de precio en el mercado diario	21
3.4. Secuencia temporal de mercados	23
3.5. Sesiones del mercado intradiario	23
5.1. Desvíos consolidados favorables y contrarios al sistema	32
5.2. Precios de los desvíos consolidados	34
5.3. Precios del desvío total del sujeto de liquidación	36
5.4. Costes de los desvíos	38
6.1. Mapa de situación del parque eólico experimental Sotavento	39
6.2. Distribución de aerogeneradores del parque eólico de Sotavento	40
7.1. Funcionamiento de una batería de ión litio	47

7.2. Batería de ión-litio empleada en el Proyecto Almacena de REE	48
7.3. Funcionamiento de una batería de plomo-ácido	49
7.4. Sistema de almacenamiento con baterías de plomo-ácido en Texas	51
7.5. Partes de una batería de sodio-sulfuro	51
7.6. Funcionamiento de una batería de sodio-sulfuro	52
7.7. Instalación de 12 MWh de baterías de sodio-sulfuro en Japón	53
7.8. Funcionamiento de una batería redox de vanadio	54
7.9. Aspecto de las baterías redox de vanadio utilizadas en India	55
7.10. Funcionamiento de una batería redox de zinc-bromo	56
7.11. Módulos de batería de flujo de zinc-bromo de Jofemar Energy	58
8.1. Energía producida en la semana de estudio en el parque eólico	61
8.2. Energía prevista y real producida en la semana de estudio	61
8.3. Producción de energía real y prevista en la semana de estudio	62
8.4. Diferencia entre energía real y prevista en la semana de estudio	62
8.5. Precio de Pago Desvíos a Bajar, Precio de Cobro Desvíos a Subir, Precio Mercado SPOT Diario España y Sentido de los Desvíos Contrarios al sistema en la semana de estudio	66
8.6 Precio de Pago Desvíos a Bajar, Precio de Cobro Desvíos a Subir y Precio Mercado SPOT Diario España en la semana de estudio	67
8.7. Desvíos a favor y en contra del sistema en la semana de estudio	68
8.8. Desvíos a en contra del sistema a subir y a bajar en la semana de estudio	69
8.9. Costes de los desvíos a en contra del sistema a subir y a bajar en la semana de estudio	69
8.10. Costes de los desvíos en contra del sistema en la semana de estudio	70
8.11. Detalle del cálculo de los costes de los desvíos de energía	70
8.12. Detalle del cálculo de los costes de los desvíos de energía para el día 23/03/2016	71
9.1. Diferencia entre energía real y prevista por hora en la semana de estudio	74
9.2. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio	80
9.3. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio	81

9.4. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías	81
9.5. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio	82
9.6. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio	82
9.7. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio	83
9.8. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio	83
9.9. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio	86
9.10. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio	87
9.11. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías	87
9.12. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio	88
9.13. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio	88
9.14. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio	89
9.15. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio	89
9.16. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio	92
9.17. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio	93
9.18. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías	93
9.19. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio	94
9.20. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio	94
9.21. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio	95
9.22. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio	95
9.23. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio	98
9.24. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio	99
9.25. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías	99
9.26. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio	100
9.27. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio	100
9.28. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio	101
9.29. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio	101
9.30. Beneficios anuales al instalar un sistema de almacenamiento	104
10.1. Evolución de los precios de las baterías de Ión-Litio entre 1995 y 2011	106

10.2. Evolución de los precios y de la densidad de energía acumulada en las baterías de Ión-Litio entre 1991 y 2005	107
10.3. Estimación de la evolución de los precios en las baterías de plomo ácido a partir del año 2015	108
10.4. Curva de evolución estimada de los precios de las baterías	108
10.5. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías de ión-litio entre 2016 y 2030	110
10.6. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías de plomo ácido entre 2016 y 2030	111
10.7. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías de sodio sulfuro entre 2016 y 2030	112
10.8. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías redox de vanadio entre 2016 y 2030	113
10.9. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías redox de zinc-bromo entre 2016 y 2030	114
10.10. Beneficio máximo anual según el año en que realizar la inversión	115
11.1. Curvas de evolución de los precios de las baterías a considerar	119
11.2. Beneficio máximo anual obtenido en función del año de instalación del sistema de almacenamiento para la curva de evolución de costes 1	120
11.3. Beneficio máximo anual obtenido en función del año de instalación del sistema de almacenamiento para la curva de evolución de costes 2	121
I.1. Gráfica que presenta la producción de energía real y la energía prevista producir, generada por el programa desarrollado en MATLAB	130
I.2. Gráfica que presenta la diferencia entre la energía real y la energía prevista producir, generada por el programa desarrollado en MATLAB	130
I.3. Gráfica que presenta los precios del mercado diario, precios de pago de los desvíos a bajar y precios de cobro de los desvíos a subir, generada por el programa desarrollado en MATLAB	131
I.4. Gráfica que presenta los desvíos en contra del sistema y los desvíos a favor del sistema, generada por el programa desarrollado en MATLAB	131
I.5. Gráfica que presenta los desvíos a subir y a bajar en contra del sistema, generada por el programa desarrollado en MATLAB	132

I.6. Gráfica que presenta el estado de carga del sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB	132
I.7. Gráfica que presenta los desvíos en contra del sistema que han sido cubiertos por la instalación del sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB	133
I.8. Gráfica que presenta los costes de los desvíos y el ahorro de estos costes por la instalación del sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB	133
I.9. Resultados del análisis económico realizado que genera el programa desarrollado en MATLAB	134
I.10. Gráfica que muestra los beneficios semanales según el año en el que instalar el sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB	137
I.11. Resultados del análisis del beneficio máximo a obtener según el año en el que instalar el sistema de almacenamiento y su capacidad operativa y nominal asociada que genera el programa desarrollado en MATLAB	137

Índice de Tablas

Tabla 1. Horarios de las sesiones del mercado intradiario	22
Tabla 2. Características de los aerogeneradores del parque eólico Sotavento	40
Tabla 3. Características de una batería de ión litio	48
Tabla 4. Características de una batería de plomo-ácido	50
Tabla 5. Características de una batería de sodio-sulfuro	53
Tabla 6. Características de una batería redox de vanadio	55
Tabla 7. Características de una batería redox de zinc-bromo	57
Tabla 8. Tabla resumen de las características de las baterías estudiadas	58
Tabla 9. Tabla resumen de los valores de desvíos durante la semana de estudio	72
Tabla 10. Factor de disminución de la capacidad nominal para alcanzar una determinada capacidad operativa en servicio	76
Tabla 11. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 4MWh	85
Tabla 12. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 3MWh	91
Tabla 13. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 2 MWh	97
Tabla 14. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 1 MWh	103
Tabla 15. Máximo beneficio semanal por instalar baterías de ión-litio	110
Tabla 16. Máximo beneficio semanal por instalar baterías de plomo ácido	111
Tabla 17. Máximo beneficio semanal por instalar baterías de sodio sulfuro	112
Tabla 18. Máximo beneficio semanal por instalar baterías redox de vanadio	113
Tabla 19. Máximo beneficio semanal por instalar baterías redox de zinc-bromo	114

Tabla 20. Beneficio anual obtenido para la tecnología de ión-litio en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero	115
Tabla 21. Beneficio anual obtenido para la tecnología de plomo-ácido en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero	116
Tabla 22. Beneficio anual obtenido para la tecnología de sodio-sulfuro en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero	117
Tabla 23. Beneficio anual obtenido para la tecnología de redox de vanadio en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero	117
24. Beneficio anual obtenido para la tecnología de plomo-ácido en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero	118

1. Objeto del Proyecto

La integración de la producción de energía de una planta eólica en el mercado se basa en la predicción de la generación para cada hora del día siguiente. Posteriormente, la producción de energía real de una hora concreta puede diferir de la predicción. Cuando la producción real resulta inferior a lo predicho, el operador del sistema debe ordenar la entrada de alguna otra unidad que aporte dicho déficit de producción (generalmente térmica), incurriéndose por tanto en unos gastos de producción para suplir los desvíos.

El objeto del presente proyecto es el estudio de la viabilidad económica de la instalación de un sistema de almacenamiento en forma de baterías electroquímicas para hacer frente a los desvíos producidos durante la generación de energía eléctrica en un parque eólico, de manera que la carga y descarga del sistema de almacenamiento durante estos tramos pueda suponer un ahorro económico al no tener que abonar una determinada cuantía por los desvíos en contra del sistema eléctrico que se producirían en ese periodo de tiempo.

Para desarrollar el presente estudio, se tomarán los datos de energía generada y de sus correspondientes desvíos durante un periodo de tiempo de una semana completa de un parque eólico de referencia, concretamente el Parque Eólico Experimental de Sotavento, en Galicia, más concretamente en “A Serra da Loba” entre los términos municipales de Xermade (Lugo) y de Monfero (A Coruña). Se ha elegido este parque ya que presenta, a través de su página web, datos de predicción y de producción reales tanto a tiempo real como en archivos históricos para su consulta.

Posteriormente, se realizará el cálculo de los costes que suponen los desvíos existentes durante el periodo de tiempo considerado.

Una vez realizados estos cálculos, se analizarán las distintas tecnologías para sistemas de almacenamiento en forma de baterías electroquímicas que puedan ser instaladas en el parque eólico considerado. Valorando sus costes de instalación y de mantenimiento, se calculará el correspondiente ahorro que supone su instalación respecto al coste en que se incurriría por el abono al operador del sistema de los desvíos que se encargan de cubrir.

Finalmente, se realizará el estudio del máximo beneficio a obtener en función de la capacidad del sistema de almacenamiento instalada en cada caso y para cada una de las tecnologías de almacenamiento de energía consideradas.

Para la realización de los cálculos económicos se desarrollarán una serie de programas en el software Matlab, a través de los cuales se construirán además una serie de gráficas con las que se podrán mostrar todos estos resultados de forma más sencilla, atractiva e intuitiva al lector del presente estudio.

2. Introducción

En este apartado se realiza una breve descripción de la tecnología eólica, su evolución en España y a nivel mundial. En la parte final se realiza un repaso del marco normativo y regulatorio que afecta a dicha tecnología y que debe tenerse presente en este proyecto.

2.1. Concepto de Energía Eólica

La energía eólica proviene de la conversión de la energía cinética que poseen masas de aire en movimiento en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica a través de máquinas denominadas aerogeneradores. Estos equipos producen trabajo mecánico en un eje a través de una superficie aerodinámica expuesta al viento. Existen distintos diseños aerodinámicos para adaptarlos a las condiciones climáticas de cada zona.

Como recurso energético el viento es abundante, aunque tiene el inconveniente de ser muy variable, lo que produce importantes fluctuaciones en la entrega de energía de los aerogeneradores. En la actualidad existen dos tipos de aplicaciones para este tipo de energía mecánica obtenida a partir del viento, que son las instalaciones para producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua.

Para realizar esta transformación de energía se usan distintos tipos de aerogeneradores, que generalmente no requieren grandes velocidades de viento para cumplir su función. En la mayoría de los casos los equipos están diseñados para comenzar a generar energía con velocidades del viento de unos 15 km/h y entregan su potencia máxima a una velocidad del orden de los 40 km/h a los 55 km/h. Este diseño responde a estadísticas climáticas imperantes en cada zona de instalación. En caso de temporales o de grandes ráfagas de viento, los aerogeneradores disponen de sistemas de protección que los sacan de servicio cuando la velocidad del viento supera los 90 km/h.

Existen diferentes tipos de equipos dependiendo del fin de la utilización de la energía mecánica obtenida:

- **Molinos:** Se usan para la extracción/bombeo de agua. El movimiento del rotor mueve un sistema mecánico que extrae agua del subsuelo en zonas rurales. En España está muy extendido el uso del molino “multipala”, que puede bombear agua con una simple brisa. La Figura 2.1 muestra un ejemplo de estos molinos^[3].
- **Aerogeneradores:** Están diseñados para producción de electricidad. A diferencia de los anteriores, se caracterizan por poseer pocas palas, así consiguen desarrollar una mayor eficiencia de transformación de la energía primaria contenida en el viento. Actualmente se fabrican máquinas de tamaños muy variados, desde muy bajas potencias (1 kW) hasta muy altas potencias (2-3 MW), aunque actualmente se está superando la etapa experimental modelos que llegan a una potencia de 6 MW. La Figura 2.2 representa el aspecto que presentan estos aerogeneradores^[4].



Figura 2.1. Molinos para la extracción y bombeo de agua subterránea.



Figura 2.2. Aerogeneradores para la producción de energía eléctrica.

Un aerogenerador está conformado por dos elementos principales: un rotor accionado por el viento, compuesto por un eje y una serie de palas, y un generador, que se mueve a través del giro de dicho rotor. En la Figura 2.3 se puede contemplar el esquema típico de un aerogenerador como el descrito^[3].

Los rotores de los aerogeneradores de potencia media o grande (mayor de 50 kW) no llegan a desarrollar un gran número de revoluciones (60 a 70 revoluciones por minuto). Teniendo en cuenta que los generadores eléctricos trabajan a unas 1500 revoluciones por minuto de promedio es necesario intercalar una caja multiplicadora para adecuar las distintas velocidades de trabajo de estos dos elementos.

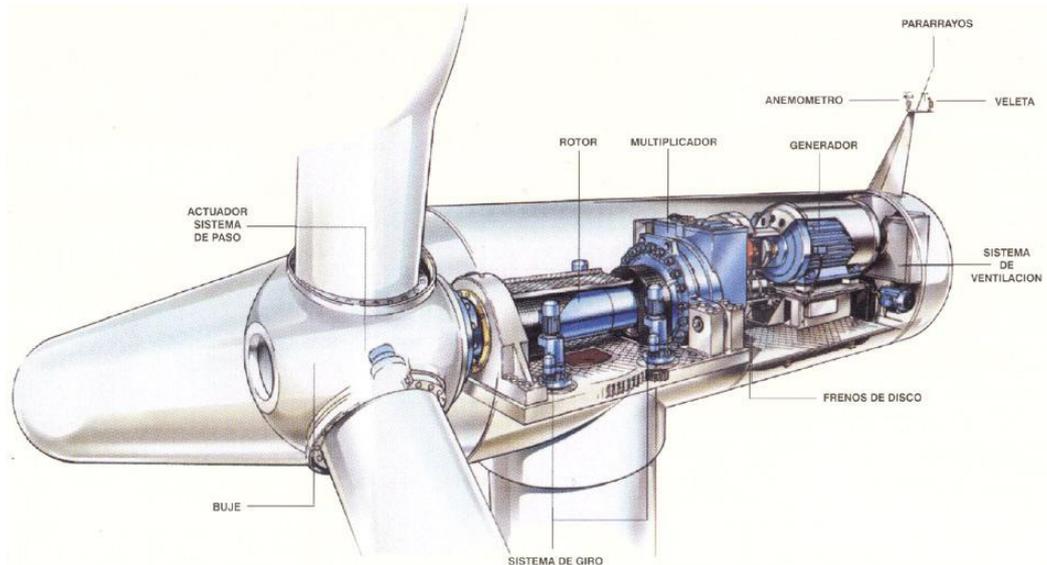


Figura 2.3. Elementos principales de un aerogenerador.

Según la posición del eje de rotación se puede diferenciar a los aerogeneradores en dos grandes grupos:

- **Eje Vertical:** Tienen la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección del viento, cualquiera que sea ella acciona su rotor. Los equipos de generación y control se ubican al pie de la estructura simplificando de esta manera el acceso a los mismos y abaratando, por consiguiente, el coste de mantenimiento, como se puede contemplar en la Figura 2.4^[3]. También ofrecen una robustez y resistencia destacable para ser usados en zonas de vientos racheados y direcciones variables. El principal inconveniente es que la eficiencia de conversión energética es algo menor que la de los de eje horizontal.
- **Eje Horizontal:** En aerogeneradores de eje horizontal el plano de rotación de las aspas debe situarse perpendicular a la dirección del viento para poder captar la máxima energía. Por ello, para poder adecuarse a las variaciones de la dirección del viento debe instalarse un mecanismo que oriente la posición del rotor.

En equipos pequeños y medianos (hasta 10-15 kW), el sistema de orientación es sencillo y funciona por rotación mecánica inducida por un timón de cola que reacciona a la acción del viento. En equipos de mayor tamaño, la orientación del equipo es servo-asistida y se controla electrónicamente a través de un sistema computarizado que evalúa la dirección y la intensidad del viento y, según esto, regula la orientación y el ángulo de incidencia de las aspas. El generador y la caja de multiplicación se sitúan en el cuerpo del equipo, comúnmente llamado “góndola”, encontrándose en la parte superior de la torre.

La principal desventaja de este tipo de modelo de eje horizontal radica en que toda la maquinaria y el control del aerogenerador deben ser dispuestos a gran altura y soportados por una estructura que resista el peso. Además, este sistema demanda, por un lado, la necesidad de un importante cableado para conducir la corriente generada y las señales enviadas al sistema de control y, por otro, el inconveniente de que, cuando se produce alguna avería o se efectúa un control de rutina, es necesario subir hasta arriba a la góndola. Una muestra de este tipo de equipos se puede observar en la Figura 2.5^[5].



Figura 2.4. Aerogeneradores de eje vertical.



Figura 2.5. Aerogeneradores de eje horizontal.

A pesar de todas las ventajas y desventajas que cada sistema presenta, es importante destacar que más del 80% de los fabricantes se inclinan por el sistema de eje horizontal. En la actualidad, debido a estudios sobre el impacto ambiental y contaminación auditiva que generan los parques eólicos emplazados sobre superficies habitables (*on-shore*), los países y las compañías desarrolladoras de esta tecnología están tendiendo a construir e instalar los nuevos parques eólicos dentro del mar y cerca de la costa (*off-shore*).

2.2. Evolución de la Energía Eólica en España

El impulso definitivo para el aprovechamiento del viento como fuente energética tiene su origen en la crisis energética de 1973 y el encarecimiento del precio del petróleo en el período 1973- 1986. Este es el punto de inflexión para la aparición de una tecnología capaz de producir electricidad a un precio competitivo con las fuentes energéticas tradicionales, caracterizado por ser un medio natural, renovable y no contaminante.

En 1979, como se recoge en el Manual de Energía Eólica, el Ministerio de Industria y Energía, a través del Centro de Estudios de la Energía, puso en marcha el primer programa de investigación y desarrollo para el aprovechamiento de energía eólica para la obtención de electricidad. Un año más tarde se promulgó la Ley sobre Conservación de la Energía, de gran repercusión en el sector, dando lugar, entre los años 1981 y 1986, al desarrollo e instalación de máquinas de pequeña y mediana potencia. El primer paso fue el diseño y fabricación de una máquina experimental de 100 kW de potencia con un doble objetivo: utilizar la experiencia para facilitar su proyección a máquinas de mayor potencial y, por otra parte, que sirviera como prueba para el ensayo de nuevos diseños de componentes. Este primer generador estaba constituido por una turbina tripala de eje horizontal, de veinte metros de diámetro, diseñado para girar a 48 revoluciones por min. y emplazado, dadas las óptimas condiciones eólicas de la zona, en el Cerro del Cabrito, en Tarifa, tras un estudio previo de las curvas de potencial eólico en España, realizado por el Instituto de Técnica Aeroespacial (INTA). Esta región se eligió por presentar un mayor número de horas de viento al año con un régimen de gran uniformidad y una intensidad de más de 500 W/m^2 de media anual.

La actividad de la Planta Experimental de Tarifa se inicia en 1985, funcionando de una forma satisfactoria conectada a la red eléctrica pese a las limitaciones tecnológicas correspondientes a ese primer desarrollo nacional. Fruto del interés de los estamentos públicos por el desarrollo de la energía eólica se puso en marcha en esos momentos el Programa Energético UNESA-INI que permitió el inicio del desarrollo tecnológico de los aerogeneradores españoles de baja potencia (5, 14 y 30 kW), pero también con otros de potencia mayor (150, 300 y 1250 kW); su consecuencia inmediata fue la fabricación de cinco máquinas de 20 kW que se ubicaron en Ampurdán, formando el primer parque eólico español, aunque duraría pocos años. Entre 1986 y 1988 la Administración inició un programa de promoción institucional de pequeños parques eólicos configurados con máquinas de 30 kW repartidos por toda la geografía española, máquinas que no contaban con ninguna novedad tecnológica.

Iniciada la década de los 90 se desarrollaron aerogeneradores españoles de 150 kW y 180 kW, comenzando la competencia entre fabricantes españoles y la implantación de las primeras instalaciones españolas de gran potencia. La aprobación en 1991 del Plan Energético Nacional recoge el objetivo de incrementar la producción realizada con energías renovables y propone una potencia instalada en el sector eólico de 168 MW para el año 2000. Desde los 7 MW instalados a finales de 1990, la potencia instalada ha crecido sustancialmente y durante los últimos años hay un creciente interés en el sector

por parte de promotores, inversores e instituciones financieras en clara consonancia con el mayor conocimiento de los recursos disponibles, la disminución de los costes de las instalaciones, el avance de la tecnología y, sobretodo, gracias a una legislación eléctrica muy favorable. Los primeros parques comerciales de España fueron promovidos en Andalucía por las sociedades “Plantas Eólicas del Sur” y “Energía Eólica del Estrecho”.

En este clima de desarrollo, en 1993 se instalaron las primeras unidades de 250 kW y 300 kW, de carácter nacional, que al año siguiente motivaron la creación de parques eólicos de mayor tamaño. Las iniciativas de apoyo de la Administración, en forma de legislación y tarifas adecuadas, unido al empuje tanto de la empresa privada española como de la extranjera, permitió disponer de tecnologías desarrolladas al nivel de la industria internacional y también de precios más bajos.

El punto de inflexión definitivo para el sector tuvo lugar en este momento cuando, tras años de estudios tecnológicos y tímidas incursiones en el desarrollo de proyectos, la andadura eólica persigue claros objetivos de rentabilidad. Esto se ve motivado por la elevada presencia de promotores, inversores y financiadores, y la casi total desaparición de subvenciones a fondo perdido. El avance tecnológico a partir de este momento fue extraordinario, así como la iniciativa inversora y el acondicionamiento y puesta en marcha de instalaciones eficientes. La colaboración entre empresas españolas, europeas y americanas permitió el desarrollo de una potente industria de aerogeneradores tanto con tecnologías foráneas como nacionales y su posterior implantación en los parques eólicos de todo el mundo. Como resultado de este proceso, España se ha colocado a la vanguardia internacional tanto en tecnología como en potencia instalada, pese a algunos fracasos iniciales en las primeras tecnologías desarrolladas.

Una de las carencias del área eólica en esos momentos era su concentración. Si bien la industria eólica comenzaba su desarrollo, éste se localizaba en apenas cuatro regiones y, por el momento, el resto aún no mostraba indicios de introducirse con garantías en el sector pese a su potencial disponible para esta actividad. La contribución de las Comunidades Autónomas a la producción de energía eólica mostraba datos importantes en la zona norte (Navarra, Galicia, Aragón), mientras que Andalucía perdía la hegemonía de los primeros años.

A partir de 1998 se producen dos novedades en la regulación de gran significación para el futuro del sector eólico. En primer lugar, la entrada en vigor del Real Decreto sobre producción de energía eléctrica con recursos renovables, en un momento en el que la energía eólica representaba el 2 por ciento de la producción de energías renovables. En segundo lugar, la aprobación a finales de 1999 del Plan de Fomento de la Energías Renovables para el período 2000-2010. El Plan constituye una planificación de carácter indicativo que recoge los principales elementos y orientaciones para la articulación de una estrategia que logre que el crecimiento de todas las áreas de energías renovables y pueda cubrir, en su conjunto, al menos el 12 por ciento del consumo de energía primaria en España en el año 2010, objetivo ya recogido por la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.

En 2004 España se convierte en el segundo país del mundo con más potencia eólica instalada (8155 MW). Además, por primera vez, la potencia eólica acumulada superaba a la nuclear en nuestro país con casi 400 parques eólicos y 11500 aerogeneradores. Uno de cada cuatro megavatios nuevos se instaló en suelo español ese año. Este gran crecimiento fue debido al apoyo de los gobiernos mediante la aprobación de una legislación estatal favorable (como la Ley 82/80 de Conservación de la Energía o la Ley 54/97 del Sector Eléctrico), el ascenso de la industria nacional de aerogeneradores y la inversión realizada.

En 2005, el gobierno aprobaba el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010, en sustitución al aprobado en 1999, fijando como objetivo para el año 2010 que el 12% de la energía consumida en el territorio nacional procediese de fuentes renovables, tal y como establecía la Unión Europea. Se obtuvieron datos de media del 11% en 2008 y un 13.8% en 2009 cumpliendo los objetivos. También se aprobó un nuevo objetivo fijando la meta para el periodo 2005-2010 en 20.16 GW de potencia (IDAE 2006).

Durante la vigencia del PER 2005-2010 fue cuando la energía eólica experimentó un mayor crecimiento, pasando a jugar un papel sustancial en el balance energético en una decena de años. En 2011 la energía eólica acumulaba en España una potencia cercana a los 20.744 MW, con una producción superior a los 43.70 TWh y una contribución en torno al 16% a la cobertura total de demanda eléctrica nacional.

El sector eólico instaló en España 1.112 MW en 2012, lo que supuso un aumento del 5.13% ese año. Ese crecimiento porcentual fue similar también en 2011 y constituyó el crecimiento más débil de la eólica en España hasta la fecha, pero no peor que el dato de 2013. A finales de 2012 la potencia eólica instalada ascendía a 22.79 GW.

En 2013 la eólica fue la primera fuente de generación eléctrica en España, con una producción de 54.48 TWh, lo que ocurrió por primera vez en la historia, y fue el cuarto país del mundo por potencia eólica instalada tras China, Estados Unidos y Alemania.

2.3. Cifras Actuales de Energía Eólica en España

En primer lugar se realiza un estudio de la potencia instalada en el sistema peninsular, para lo cual se toma la información más reciente publicada por Red Eléctrica de España en el “Avance del Informe del Sistema Eléctrico 2015”^[6].

Según éste, la potencia instalada peninsular mantiene una estructura similar a la de 2014, con las únicas variaciones de la hidráulica (que ha representado el 20,2% del total peninsular frente al 19,5 % en 2014), y del fuel-gas que desaparece de la estructura de potencia, como puede apreciarse en la Figura 2.6^[6]. En cuanto a cobertura de demanda, lo más destacado ha sido el ascenso del carbón que, con una aportación del 20,3 % de la demanda (un 16,5 % en 2014), se sitúa en segundo lugar desplazando a la energía eólica a un tercer puesto.

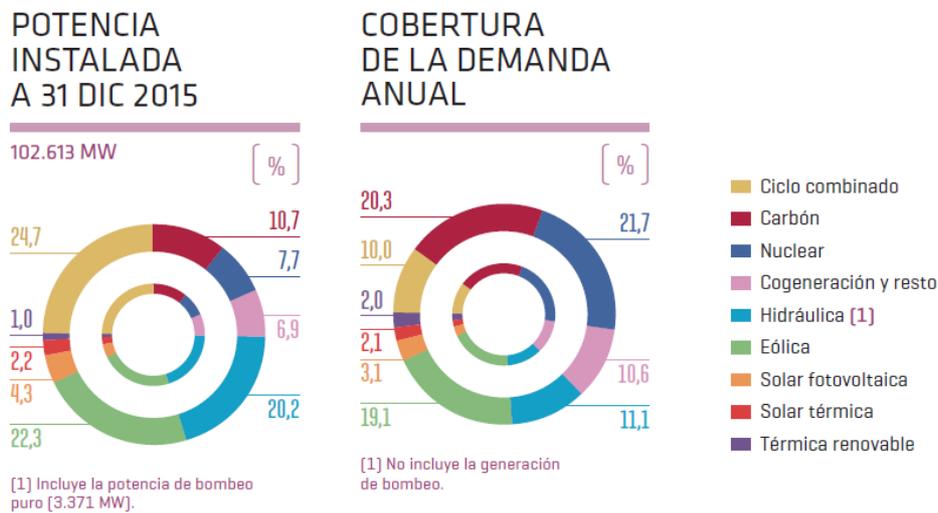


Figura 2.6. Potencia peninsular instalada y cobertura de la demanda anual de 2015.

Se comprueba que la energía eólica es una de las principales tecnologías productoras del sistema eléctrico español, con una potencia instalada de unos 22.88 GW y con una cobertura de la demanda del 19,1%, lo que supone 47.40 TWh (ya que la demanda de energía eléctrica peninsular finalizó el año 2015 en 248.18 TWh).

Las energías renovables mantienen un papel destacado en el conjunto de la generación eléctrica, pero descienden respecto al año anterior condicionadas por la variabilidad de las producciones hidráulica y eólica, que este año han registrado descensos del 28,2 % y del 5,3 % respectivamente.

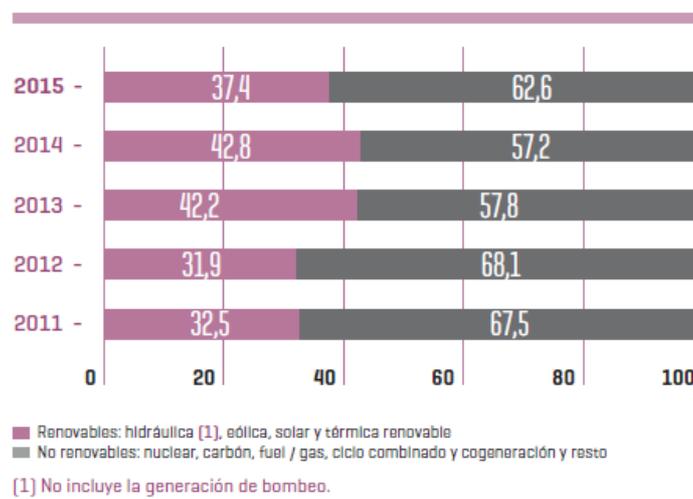


Figura 2.7. Evolución de la Generación Renovable y No Renovable en %.

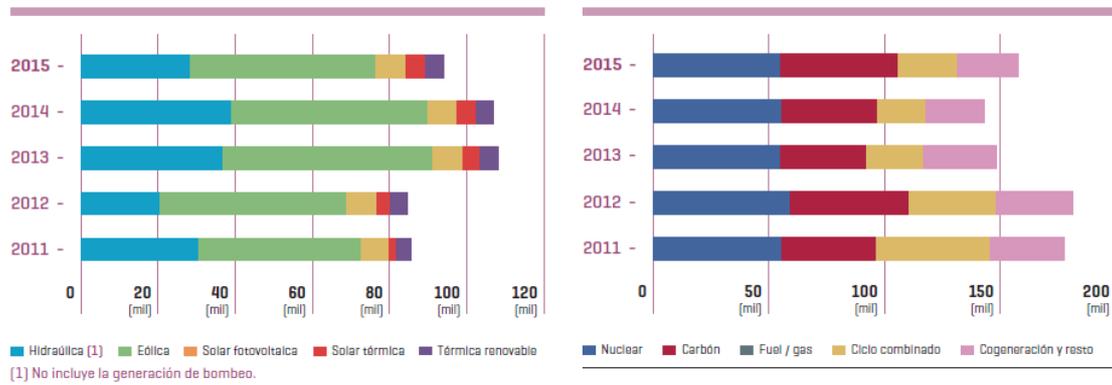


Figura 2.8. Evolución de la producción de energía renovable y no renovable (GWh).

En la Figura 2.8^[6] y 2.9^[6] se representa la evolución de la producción de las energías de tipo renovable y de la de tipo no renovable, la primera de ellas muestra el reparto en % del total de la energía producida y la segunda de ellas muestra el reparto dentro de cada grupo de tipos de energías.

Una vez realizado este estudio de las cifras de energía, se realizará otro estudio acerca de la evolución de la energía eólica en los últimos años en España. Para ello, tomaremos como base el *Anuario 2015* publicado por la Asociación Empresarial Eólica^[7]. Aunque la energía eólica es una de las principales fuentes de generación de energía, en los últimos años se ha producido un descenso del aumento de la potencia instalada hasta tal punto que en los últimos años es prácticamente constante. La potencia instalada eólica aumentó en España solo 27.48 MW en 2014, el menor crecimiento en los últimos veinte años, tal y como se representa en la Figura 2.9^[7].

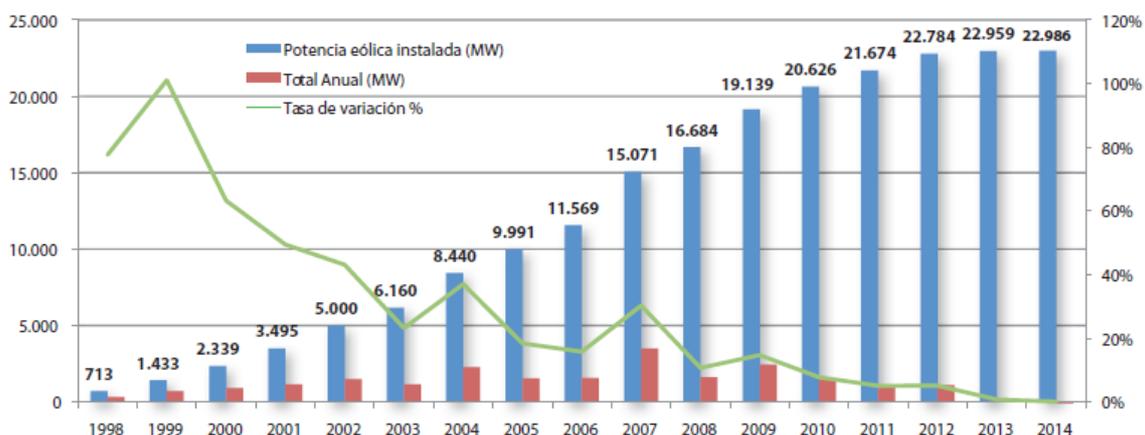


Figura 2.9. Evolución anual y acumulada de la potencia eólica instalada (1998-2014).

En la Figura 2.10^[7] se puede comprobar la evolución de la potencia eólica instalada en los últimos años. Se puede apreciar cómo desde el año 2001 se han instalado más de 1000 MW anuales, con un máximo en el año 2007 con 3500 MW, pero que desde el año 2013 la potencia instalada ha descendido significativamente debido a la nueva política energética vigente en España.

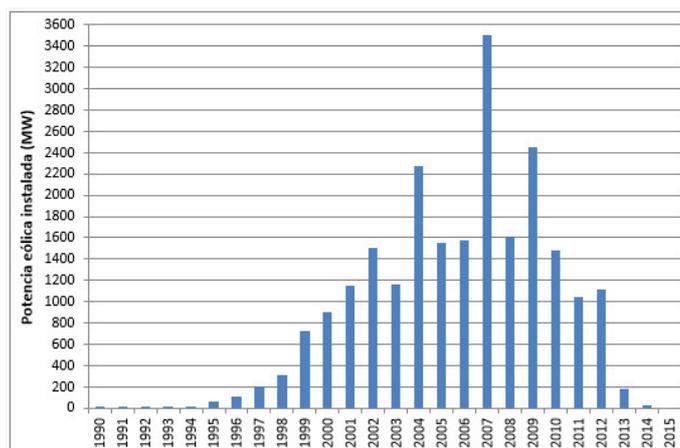


Figura 2.10. Evolución anual de la potencia eólica instalada en España (1998-2015).

La Figura 2.11^[7] muestra el reparto de la potencia eólica instalada en cada una de las comunidades autónomas de España en el año 2015.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Potencia acumulada a cierre de 2015 (MW)	Nº de Parques
Castilla y León	5561	241
Castilla-La Mancha	3807	139
Andalucía	3338	153
Galicia	3328	161
Aragón	1893	87
Cataluña	1269	47
Valencia	1189	38
Navarra	1004	49
Asturias	518	21
La Rioja	447	14
Murcia	262	14
Canarias	177	56
País Vasco	153	7
Cantabria	38	4
Baleares	4	46
TOTAL	22988	1077

Figura 2.11. Reparto de la potencia instalada por Comunidades Autónomas en 2015.

En cuanto a la evolución de la energía generada por los parques eólicos de España en los últimos años, en la Figura 2.12^[7] se puede comprobar cómo la tendencia creciente ha pasado a ser decreciente a partir del año 2013. Una de las principales causas de esto pudo ser la modificación del marco normativo del sector eólico, lo que ha supuesto penalizaciones para este tipo de sistema de producción de energía.

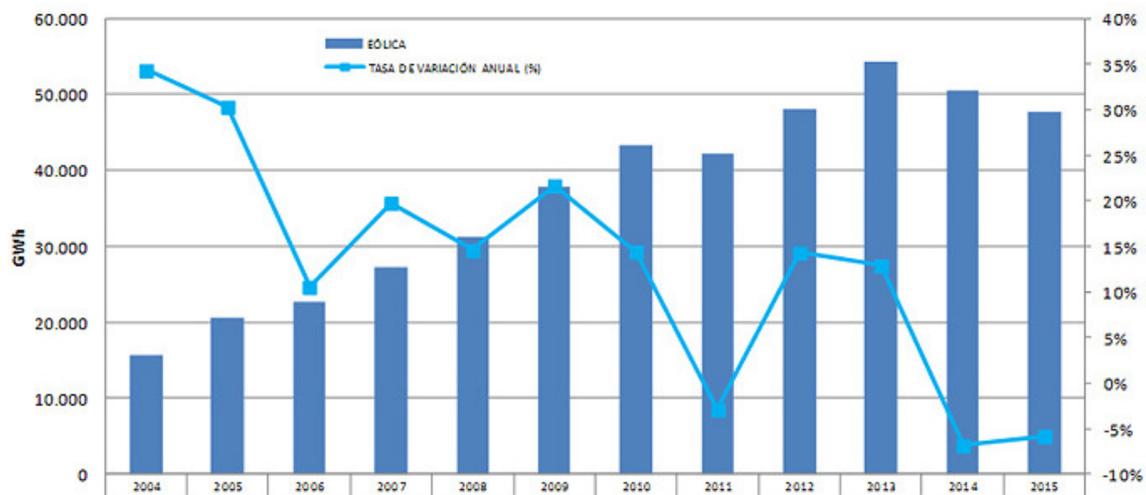


Figura 2.12. Evolución de generación eólica anual y tasa de variación (2004-2015).

2.4. Cifras Actuales de Energía Eólica Mundial

La energía eólica ha seguido dando muestras de buena salud en el mercado mundial en los últimos años, aunque existen cambios de gran importancia: mercados tradicionales como el español están parados; otros, como el de Europa del Este, dan síntomas de un agotamiento y apenas contribuyen al volumen de ventas general en el mundo, y algunos, como el indio y el latinoamericano, crecen deprisa.

Cabe destacar que existe una tendencia importante en los países en desarrollo que aún depende fuertemente de los derivados del petróleo, ya que se ha acelerado la transición a las energías renovables, con la eólica como referente sin pasar por tecnologías como el carbón o la nuclear.

Por otro lado, la descarbonización de la economía mundial se acelera: Estados Unidos y China están decididos a formar parte de los países que se comprometan a apostar por una fuerte reducción de las emisiones, lo que está acelerando su transición energética a las energías renovables con la realización y la construcción de numerosas plantas de producción de energía eléctrica a partir de fuentes como la solar y la eólica.

En la Unión Europea, mientras países como Alemania, Francia, Reino Unido o Polonia han afirmado que están inmersos en una revolución energética en la que la eólica tendrá un papel primordial, otros países como España e Italia dan pasos hacia atrás.

Como consecuencia de todas estas tendencias, la energía eólica batió un nuevo récord en 2014 al instalar un total de 51.48 GW en el mundo, lo que supone un aumento del 44% y sitúa la potencia total acumulada en 369.55 GW. Con ella se puede satisfacer cerca de un 5% de la demanda mundial de electricidad. De lo que no cabe duda es que la energía eólica se está convirtiendo en el pilar principal del suministro de electricidad en muchas partes del mundo.

De los 50 GW instalados en el mundo en 2014, a Asia le correspondieron 26.16 GW. China fue de nuevo el país líder con un total de 23.35 GW eólicos, lo que supone el 45% de todo el crecimiento mundial, acumulando ya una capacidad total de 115 GW. India fue el segundo país que más instaló con 2.32 GW.

El mercado americano sumó cerca de 11 GW en 2014, donde a EEUU le corresponden 4.85 GW, a Canadá 1.87 GW, a Brasil 2.47 GW, a México 522 MW, a Chile 506 MW y a Uruguay 405 MW, entre otros.

La potencia eólica en la Unión Europea aumentó en 11.79 GW en 2014, alcanzando una capacidad total acumulada de 128.80 GW (120.60 GW en tierra y 8 GW de eólica marina). Alemania fue el país que más instaló al añadir 5.28 GW. Reino Unido fue el segundo país con 1.74 GW y Suecia sumó 1 GW. Por el contrario, países como Dinamarca, España e Italia redujeron el ritmo de instalación frente a 2013 en un 90,4%, 84,3% y 75,4% respectivamente. El caso de España puede deberse, como ya se ha mencionado, a la modificación del marco normativo del sector eólico.

Marruecos conectó el parque eólico más grande de África, de 300 MW. Por su parte, Sudáfrica instaló 560 MW, con lo que la potencia instalada del continente africano es actualmente de 934 MW.

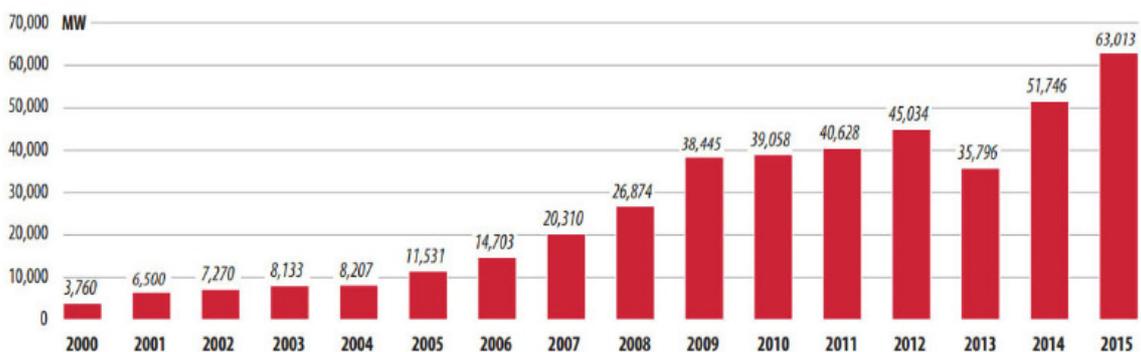


Figura 2.13. Evolución de potencia eólica anual instalada en el mundo (2000-2015).

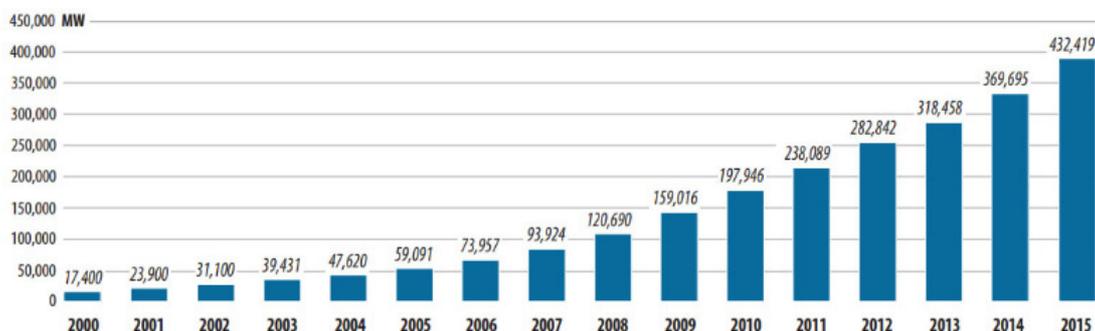


Figura 2.14. Potencia eólica instalada acumulada en el mundo (2000-2015).

La Figura 2.13^[8] muestra la potencia eólica que cada año se instala en el mundo y la Figura 2.14^[8] muestra esta misma información pero en forma de potencia acumulada. Como se aprecia, la energía eólica instalada en el mundo creció un 17% en el año 2015 hasta situarse en los 432.42 GW. En el ranking de productores, China, Estados Unidos, Alemania, India y España encabezan la lista como los primeros productores mundiales, como se puede comprobar en la Figura 2.15^[8] con datos pertenecientes al año 2014.

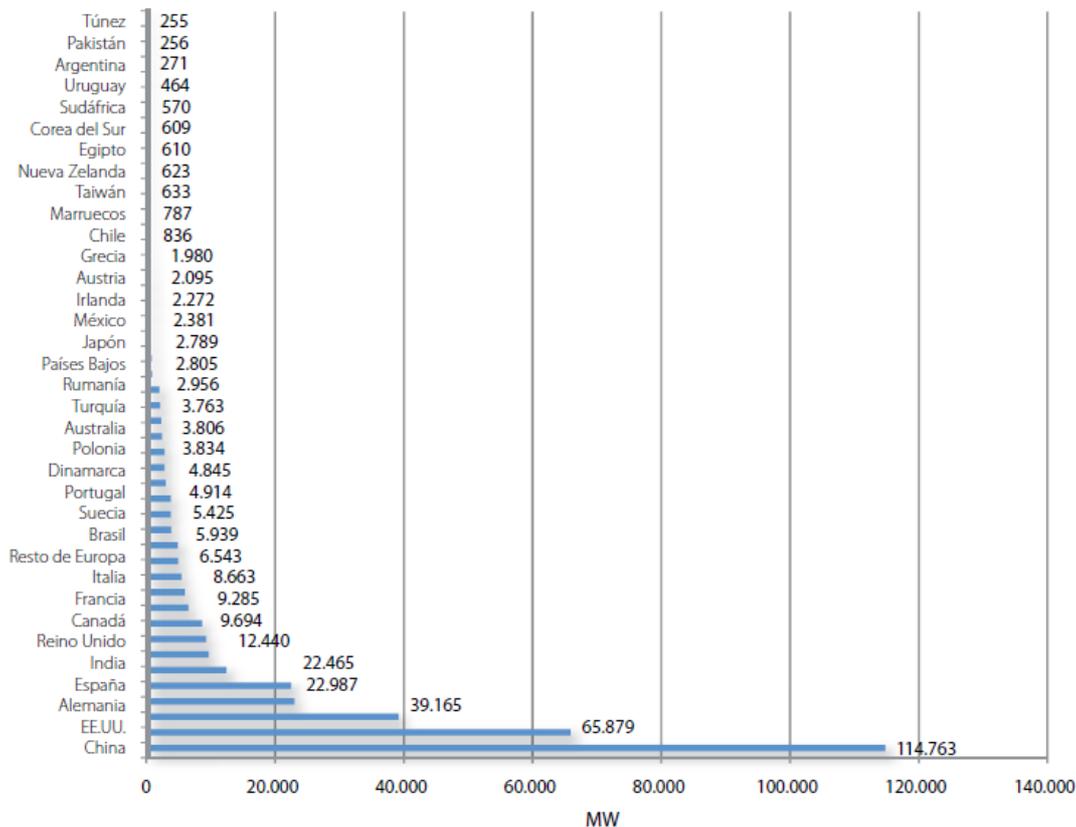


Figura 2.15. Potencia instalada por países acumulada a finales de 2014.

2.5. Marco Normativo y Regulatorio

El sector eólico es parte del sistema eléctrico español y, por lo tanto, está sometido a la legislación que afecta al sector eléctrico. La máxima norma que actualmente regula el sector eléctrico español es la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico^[9], ley que sustituye a La Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.

En el preámbulo de la Ley 24/2013 se detalla la justificación de su aprobación a raíz de que *“los continuos cambios normativos han supuesto una importante distorsión en el normal funcionamiento del sistema eléctrico y es necesario corregir con una actuación del legislador que aporte la estabilidad regulatoria que la actividad eléctrica necesita. Esta seguridad regulatoria, unida a la necesidad de acometer las reformas necesarias para garantizar la sostenibilidad del sistema a largo plazo y de resolver las señaladas deficiencias existentes en el funcionamiento del sistema, aconsejan la aprobación de una reforma global del sector, basada en un nuevo régimen de ingresos y gastos del sistema eléctrico, que trata de devolver al sistema la sostenibilidad financiera perdida hace largo tiempo y cuya erradicación no se ha conseguido hasta la fecha mediante la adopción de medidas parciales.”*

Algunas de esas medidas parciales que indica dicha Ley y su repercusión en el sector de la energía eólica son las que se detallan a continuación.

En 2010, el Real Decreto-Ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico^[10], elevó los límites máximos de déficit que se habían establecido para 2010, 2011 y 2012 adoptando medidas de reducción de determinadas partidas de los costes y de los ingresos del sistema. Algunas de esas medidas consisten en la limitación de las horas equivalentes primadas de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas y en establecer como una obligación de los productores de energía el hacer frente a un peaje de generación.

El Real Decreto-Ley 1/2012, de 27 de enero^[11], suspende todos los procedimientos de preasignación de retribución y los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. De esta manera, se suprimieron los incentivos para la construcción de las instalaciones de tecnologías de régimen especial para evitar la incorporación de nuevos costes al sistema eléctrico.

En el año 2013 se aprobó el Real Decreto-Ley 9/2013, de 12 de julio^[12], por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico, que, entre otros aspectos, establece un nuevo régimen retributivo para las instalaciones de generación de energía renovable, de cogeneración y de residuos. Además, se fija el concepto de rentabilidad razonable.

Retomando la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, se realiza un estudio de los artículos que puedan influir en este trabajo, destacando los siguientes:

- “*Artículo 2*”, que reconoce la libre iniciativa empresarial para el ejercicio de las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica.
- “*Artículo 3*”, que establece como competencia de la Administración General del Estado establecer el régimen retributivo y fijar la retribución de aquellas actividades que tengan una retribución regulada de acuerdo con lo previsto en la presente ley, así como otorgar y revocar el régimen retributivo a aquellas instalaciones y a los sujetos que les sea aplicable de acuerdo con lo previsto en la presente ley y en su normativa de desarrollo.
- “*Artículo 14*”, que indica que los parámetros de retribución de las actividades de transporte y de producción a partir de fuentes de energía renovables, de cogeneración y de residuos con régimen retributivo específico, así como las de producción en sistemas eléctricos no peninsulares con régimen retributivo adicional, se fijarán teniendo en cuenta tanto la situación cíclica de la economía y de la demanda eléctrica, como de la rentabilidad que sea adecuada para estas actividades por periodos regulatorios que tendrán una vigencia de seis años. Estos parámetros retributivos podrán revisarse antes del comienzo del periodo regulatorio; en caso de no realizarse la revisión, se entenderán prorrogados para el periodo regulatorio siguiente.

El apartado 7 se indica que el Gobierno, excepcionalmente, podrá establecer un régimen retributivo específico para fomentar la producción a partir de fuentes renovables, cogeneración y residuos cuando exista una obligación de cumplimiento de objetivos energéticos derivados de las Directivas o de otras normas de Derecho de la Unión Europea, o cuando su introducción suponga una reducción del coste energético y de la dependencia energética exterior.

- “*Disposición final tercera*”: Nuevo régimen jurídico y régimen económico de la actividad de producción de energía a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos con régimen económico primado.

Según lo establecido en la disposición final segunda del Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico, el Gobierno, a propuesta del Ministro de Industria, Energía y Turismo, aprobará un real decreto para la regulación del régimen jurídico y régimen económico para las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos que tuvieran reconocida retribución primada a la entrada en vigor del citado real decreto-ley.

Estas reformas emprendidas por el gobierno, en el contexto de una profunda crisis económico-financiera en la que se encontraba España en dicho momento, tienen como primera consecuencia la no instalación de más potencia eólica y el replanteamiento de la viabilidad de algunas de las plantas ya existentes.

3. El Mercado Eléctrico Español

En los últimos años, la electricidad ha adquirido una mayor presencia en las vidas de los ciudadanos. La Agencia Internacional de la Energía también considera que el futuro será cada vez más eléctrico por la posibilidad de consumir una energía que se generará de manera creciente por tecnologías no contaminantes y respetuosas con el medio ambiente. Todo ello permite que el precio de la electricidad se haya convertido en un elemento muy importante para la sociedad, tanto para los usuarios domésticos, como para la empresa y la industria, por el impacto que representa en su competitividad en un entorno abierto y globalizado.

El Mercado Interior de la Electricidad en la UE se inicia a mediados de los noventa del pasado siglo con el objetivo de hacer llegar a los ciudadanos y a las empresas los beneficios de la liberalización del sector eléctrico, en términos de un mejor precio y de un mejor servicio.

OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía, Polo Español, S.A.) gestiona el mercado al por mayor de electricidad en la Península Ibérica. Esta entidad surgió en enero de 1998 y se ocupaba del mercado español únicamente; sin embargo, en julio del 2007 comenzó a operar de forma conjunta todo el Mercado Ibérico (España y Portugal). Como en cualquier mercado, el de electricidad permite la compra y la venta de energía entre los agentes (productores, consumidores, comercializadores...) a precio conocido, transparente y accesible.

El Mercado Ibérico es uno de los mercados más líquidos de Europa, con precios que son comparables a los de los demás mercados europeos. Este mercado funciona los 365 días del año, las 24 horas, y está abierto a todos los agentes compradores y vendedores que quieran operar en él. En la actualidad participan más 800 agentes, con un total de más de 13 millones de transacciones al año.

3.1. El Mercado Diario

El mercado diario tiene por objeto llevar a cabo las transacciones de energía eléctrica para el día siguiente mediante la presentación de ofertas de venta y de adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes del mercado.

Los precios de la electricidad se fijan diariamente (todos los días del año) a las 12:00 horas del mediodía para las veinticuatro horas del día siguiente en el Mercado Diario. El precio y el volumen de la energía en una hora determinada se establecen por el cruce entre la oferta y la demanda durante dicha hora siguiendo un modelo marginalista (en donde todos los generadores “casados” reciben el mismo precio). Este modelo se adoptó por la UE en base al algoritmo aprobado para todos los mercados europeos y conocido como EUPHEMIA.

3.1.1. Compradores y Vendedores

Los vendedores en el mercado de producción de energía eléctrica están obligados a adherirse a las denominadas Reglas de Funcionamiento del Mercado de Producción de Energía Eléctrica suscribiendo el correspondiente Contrato de Adhesión. Las ofertas de los vendedores se presentan al operador del mercado y se incluyen en un procedimiento de casación teniendo efectos para el horizonte diario de programación, correspondiente al día siguiente del día de cierre de la recepción de ofertas para la sesión, y comprensivo de veinticuatro periodos horarios de programación consecutivos (que serán de veintitrés o veinticinco periodos en los días en los que se produzca cambio de hora). Todas las unidades de producción disponibles que no estén afectadas a un contrato bilateral físico tienen la obligación de presentar ofertas para el mercado diario. También podrán presentar ofertas para venta de energía aquellos agentes comercializadores no residentes autorizados a ello.

Los compradores en el mercado de producción de energía eléctrica pueden ser de tres tipos: comercializadores (acuden al mercado para adquirir la energía para su venta a los consumidores directos), consumidores directos (pueden adquirir energía directamente en el mercado, hacerlo a través de un comercializador o suscribiendo un contrato bilateral físico con un productor) y los comercializadores de referencia (acuden al mercado para adquirir la energía que precisen para suministrar a los consumidores). Los compradores pueden presentar ofertas de adquisición de energía eléctrica en el mercado diario, con la condición necesaria de que se adhieran a las Reglas de Funcionamiento del Mercado^[13]. Se entiende por unidad de adquisición el conjunto de nudos de conexión a la red por el que el comprador presenta ofertas de adquisición de energía eléctrica.

Los agentes compradores y vendedores pueden acudir al mercado con independencia de que se encuentren en España o en Portugal. Sus ofertas de compra y de venta son aceptadas atendiendo a su orden de mérito económico hasta que la interconexión entre España y Portugal queda ocupada totalmente. Si a una cierta hora del día la capacidad de la interconexión es suficiente para permitir el flujo de electricidad negociado por los agentes, el precio de la electricidad en esa hora será el mismo para España y Portugal. Si, por el contrario, en esa hora la interconexión se ocupa totalmente, en ese momento el algoritmo para la fijación del precio (EUPHEMIA) se ejecuta de manera separada, de tal forma que aparece una diferencia de precios entre ambos países.

3.1.2. Presentación de Ofertas

Las ofertas de venta y de compra podrán realizarse considerando de 1 a 25 tramos por cada hora, en cada uno de los cuales se oferta la energía y el precio de la misma. El precio, en el caso de las ventas, será creciente en cada tramo y, en caso de las compras, será decreciente en cada tramo. Los agentes de mercado tienen hasta las 12:00 horas del mediodía para presentar sus ofertas de compra y venta para el día siguiente al OMIE.

Las ofertas de venta de energía eléctrica que los vendedores presenten al operador del mercado pueden ser simples o incorporar condiciones complejas según su contenido. Las ofertas simples son ofertas de venta de energía que los vendedores presentan para cada periodo horario y unidad de producción de la que sean titulares indicando un precio y una cantidad de energía. Las ofertas que incorporan condiciones complejas son aquellas que, cumpliendo los requisitos exigidos para las ofertas simples, incorporan además algunas de las condiciones técnicas o económicas siguientes: gradiente de carga, condición de indivisibilidad, ingresos mínimos o parada programada.

- Gradiente de Carga: Permite establecer la diferencia máxima entre la energía de una hora y la energía de hora siguiente de la unidad de producción, lo que limita la energía máxima a casar en función de la casación de la hora anterior y la siguiente para evitar cambios bruscos en las unidades de producción que no pueden seguir las mismas por razones técnicas.
- Condición de Indivisibilidad: Permite fijar en el primer tramo de cada hora un valor mínimo de funcionamiento que solo puede ser dividido por aplicación de reglas de reparto en caso de ser el precio distinto de cero.
- Condición de Ingresos Mínimos: Permite realizar ofertas en todas las horas, pero se respeta que la unidad de producción no participe en el resultado de la casación del día si no se obtiene para el conjunto de su producción en el día un ingreso que sea superior a una cantidad fija más una remuneración variable por cada MWh que haya sido casado.
- Condición de Parada Programada: Permite que, si la unidad de producción ha sido retirada de la casación por no cumplir la condición de ingresos mínimos solicitada, realice una parada programada en un tiempo máximo de tres horas, evitando parar desde su programa en la última hora del día anterior a cero en la primera hora del día siguiente. Para ello, se acepta el primer tramo de las tres primeras horas de su oferta como ofertas simples, con la condición de que la energía ofertada en cada hora sea decreciente.

3.1.3. Proceso de Casación de Ofertas

El algoritmo de casación EUPHEMIA busca optimizar la suma, para el conjunto de todos los periodos horarios del horizonte de programación, del beneficio de las ofertas de compra, el beneficio de las ofertas de venta y la renta de congestión. Se entiende por beneficio de las ofertas de compra la diferencia entre el precio de la oferta de compra casada y el precio marginal recibido, mientras que por beneficio de las ofertas de venta se entiende la diferencia entre el precio marginal recibido y el precio de oferta de venta casado.

Una vez que los vendedores han presentado sus ofertas al mercado para cada una de las horas del día siguiente, el OMIE las agrega todas y ordena por precio ascendente, resultando así la curva de oferta del mercado para cada hora como se puede observar en la Figura 3.1^[14].

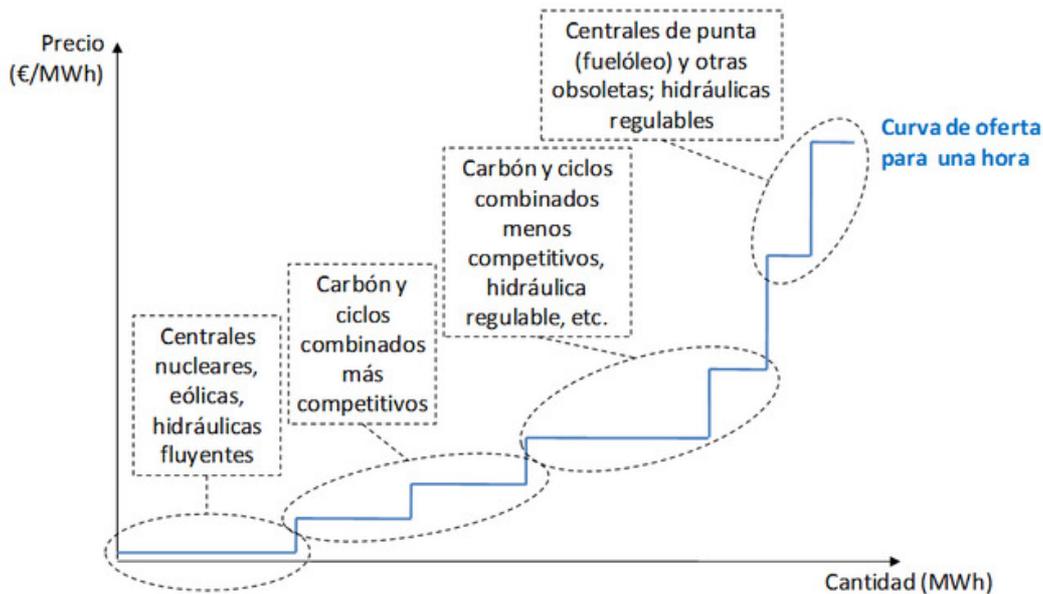


Figura 3.1. Curva de oferta de electricidad del mercado.

Los consumidores finales suelen clasificarse en función de la magnitud de su consumo y del fin para el que usan la energía eléctrica. Distinguimos entre grandes consumidores industriales, consumidores de tamaño medios en sector industrial o sector servicios y los pequeños consumidores conectados a las redes de baja tensión. La participación de los distintos tipos de consumidor en el mercado depende de la modalidad de suministro a la que estén acogidos (suministro de referencia o mercado liberalizado).

De igual forma que en el caso de la curva de oferta, la curva de demanda también tiene tramos en los que indirectamente se agrupan determinados tipos de consumidores. Los comercializadores de referencia y muchos comercializadores suelen ofertar al máximo precio permitido (180 €/MWh) para asegurar que los consumidores tendrán la energía que demandan; lógicamente, esto no significa que pagarán dicho precio sino que pagarán el que resulte de la casación en el mercado.

Por otro lado, una parte limitada de los consumidores sólo están dispuestos a comprar energía si su precio es menor o igual a un cierto valor (el cual lo reflejan en sus ofertas al mercado), con lo que pueden adaptar su consumo a los precios del mercado. En la curva de demanda, estos consumidores (directamente o a través de su comercializador) representan la parte de la curva con pendiente como se puede ver en la Figura 3.2^[14].

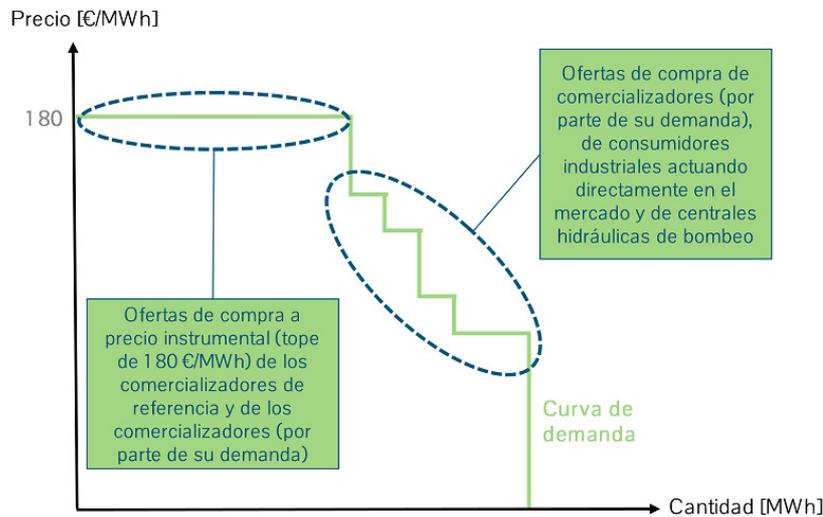


Figura 3.2. Curva de demanda de electricidad del mercado.

El precio del mercado para la hora h del día siguiente se determina por la intersección de la curva de oferta y demanda de electricidad del mercado para esa hora, lo cual es la casación simple, que se emplea como punto de partida. Tras ello se usa EUPHEMIA, el algoritmo de optimización del bienestar global (wellfare), que incorpora las restricciones complejas de venta, tras lo que se determina el punto de casación del mercado (energía y precio). Este precio determina las ofertas de compra y de venta que resultan casadas (es decir, la energía que se intercambiará finalmente al precio del mercado; la energía ofertada a precio superior no será adquirida). Para cada hora, todas las ofertas de venta (compra) que resulten casadas reciben (pagan) el precio del mercado. La Figura 3.3^[14] muestra un ejemplo de las casaciones de oferta y demanda que realiza diariamente el OMIE para cada hora del día siguiente.



Figura 3.3. Ejemplo de determinación de precio en el mercado diario.

Los resultados del mercado diario, a partir de la libre contratación entre agentes compradores y vendedores, representan la solución más eficiente desde el punto de vista económico, pero se necesita que sea también viable desde el punto de vista físico. Por ello, una vez obtenidos estos resultados, se remiten al Operador del Sistema para su validación desde el punto de vista de la viabilidad técnica. Este proceso se denomina “gestión de las restricciones técnicas del sistema” y asegura que los resultados del mercado sean técnicamente factibles en la red de transporte. Por tanto, los resultados del mercado diario sufren pequeñas variaciones, del orden del 4 ó 5% de la energía, como consecuencia del análisis de restricciones técnicas que realiza el Operador del Sistema para poder dar lugar a un programa diario viable.

En el caso existir una saturación de la interconexión España-Portugal en cualquiera de los sentidos se ejecuta la “separación de mercados”, que consiste básicamente en hacer dos casaciones separadas, una para los agentes portugueses y otra para los españoles, teniendo en cuenta la cantidad máxima de energía eléctrica que puede intercambiarse entre ambos sistemas y resultando en un precio distinto para cada uno de los dos países.

3.2. El Mercado Intradiario

Tras el Mercado Diario, los agentes pueden volver a comprar y vender electricidad en el Mercado Intradiario, que consiste en distintas sesiones de contratación unas horas antes del tiempo real. Los mercados intradiarios permiten a los agentes compradores y vendedores reajustar sus compromisos de compra y de venta respectivamente hasta cuatro horas antes del tiempo real. Tras ello, existen otros mercados gestionados por el operador del sistema en el que se asegura el equilibrio de la producción y el consumo.

El mercado intradiario se estructura actualmente en seis sesiones basadas en subastas como las descritas para el mercado diario, donde el volumen de energía y el precio para cada hora se determinan por la intersección entre la curva de oferta y de demanda.

Tabla 1. Horarios de las sesiones del mercado intradiario.

	SESIÓN 1	SESIÓN 2	SESIÓN 3	SESIÓN 4	SESIÓN 5	SESIÓN 6
Apertura de Sesión	17:00	21:00	01:00	04:00	08:00	12:00
Cierre de Sesión	18:45	21:45	01:45	04:45	08:45	12:45
Casación	19:30	22:30	02:30	05:30	09:30	13:30
Recepción desagregaciones de programa	19:50	22:50	02:50	05:50	09:50	13:50
Publicación PHF	20:45	23:45	03:45	06:45	10:45	14:45
Horizonte de Programación (Periodos Horarios)	28 horas (21-24)	24 horas (1-24)	20 horas (5-24)	17 horas (8-24)	13 horas (12-24)	9 horas (16-24)

La Figura 3.4^[15] muestra cómo es la secuencia temporal de los mercados. Por otro lado, la Figura 3.5^[15] muestra las diversas sesiones del mercado intradiario que tienen lugar.

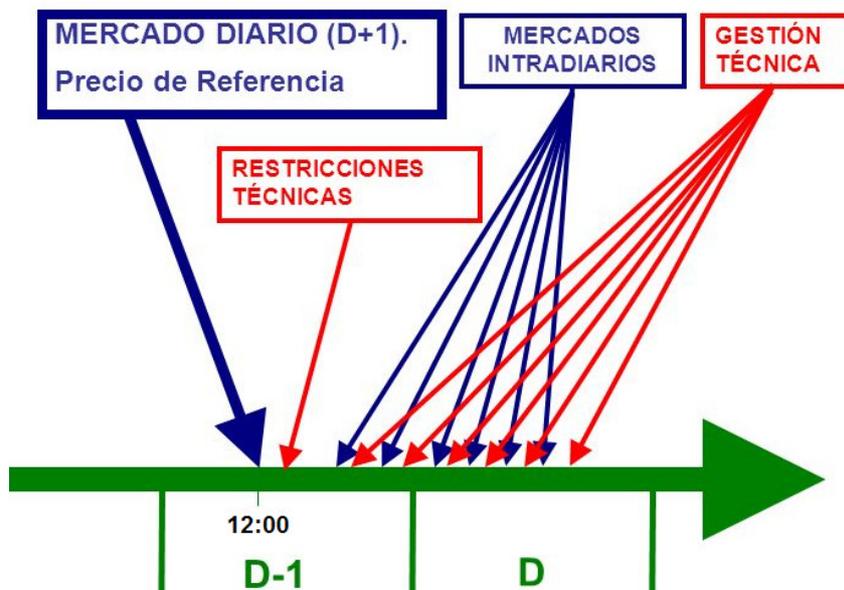


Figura 3.4. Secuencia temporal de mercados.

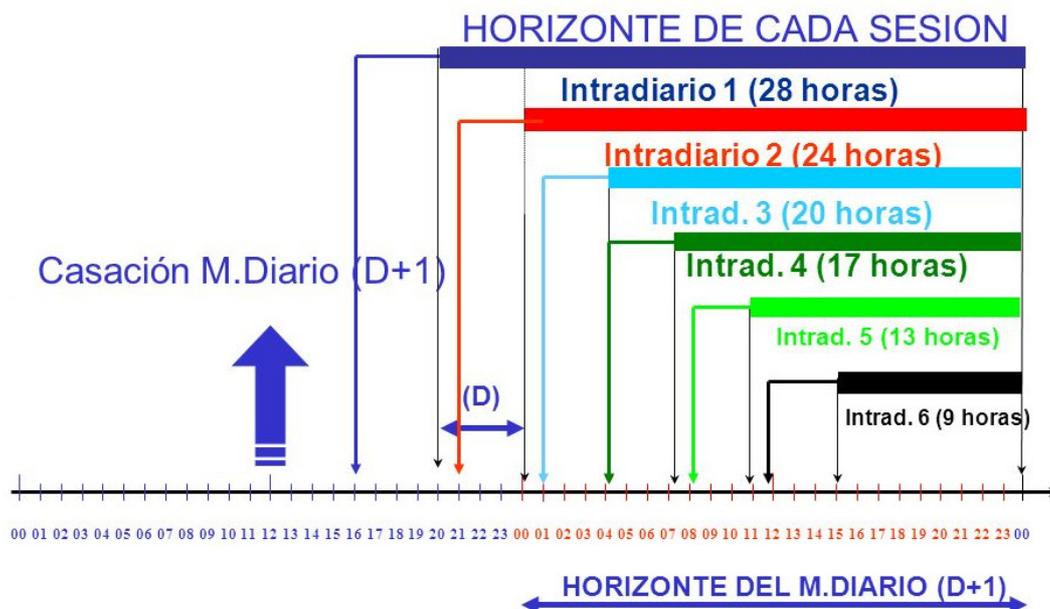


Figura 3.5. Sesiones del mercado intradiario.

3.2.1. Ofertas de Venta

Podrán presentar ofertas de venta de energía eléctrica todos los agentes habilitados para presentar ofertas de venta de energía eléctrica en el mercado diario y que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente o ejecutado un contrato bilateral, que no hubieran participado por estar indisponibles y quedaran posteriormente disponible y aquellos agentes que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente sobre la que se abra sesión de mercado intradiario o hubieran ejecutado un contrato bilateral físico. Dichos agentes sólo pueden participar en los mercados intradiarios en los periodos horarios que se correspondan con los incluidos en la sesión de mercado diario en la que participaron o no lo hicieron por estar indisponibles.

Las ofertas de venta presentadas al operador del mercado pueden ser simples o incluir condiciones complejas según su contenido. Las ofertas simples son ofertas de venta de energía, que los vendedores presentan para cada periodo horario y unidad de venta o de adquisición de la que sean titulares; estas ofertas simples expresan un precio y cantidad de energía, con un precio creciente en cada tramo. Las ofertas de venta que incluyen condiciones complejas son aquellas que, cumpliendo los requisitos exigidos para las ofertas simples, incorporan algunas de las condiciones complejas siguientes:

- Gradiente de Carga: Similar a lo descrito en el apartado 3.1.2.
- Ingresos Mínimos: Similar a lo descrito en el apartado 3.1.2.
- Condición de Aceptación Completa en la Casación del Tramo Primero de la Oferta de Venta: Permite a las ofertas de venta fijar un perfil para el conjunto de todas las horas del mercado intradiario que solo puede resultar casado en el caso de serlo en el primer tramo de todas las horas. Esto permite ajustar los programas de dichas unidades de producción o adquisición a un nuevo perfil o, en caso de no ser posible en una parte, dejar el programa previo sin modificación de algunas de las horas de forma individual. Se usa esta opción cuando la programación de unas horas solo es posible si lo son también en otras, como puede ser para adelantar el proceso de arranque o parada, evitar embotellamiento de caldera, entre otros.
- Condición de Aceptación Completa en Cada Hora en la Casación del Tramo Primero de la Oferta de Venta: Implica que solo será programado, en una hora determinada, el primer tramo en caso de ser casado en su totalidad, siendo retirados todos los tramos de dicha hora y no siendo retirada la oferta realizada para el resto de las horas. Esta opción es útil para la programación de grupos que producen (mínimo técnico) o consumen (consumo de bombeo) un valor mínimo o nada. También puede ser igualmente útil para que los consumidores expresen una situación similar.

- Condición de Número Mínimo de Horas Consecutivas con Aceptación Completa del Primer Tramo de la Oferta de Venta: Se podría aplicar cuando la unidad de producción o adquisición debe producir o dejar de consumir de forma consecutiva al menos un número de horas. También sería aplicable a un consumidor que, por ejemplo, no puede poner en funcionamiento una fábrica por un número de horas inferior al especificado en la oferta.
- Condición de Energía Máxima: Permite a unidades de oferta, con limitación en la disponibilidad de energía, ofertar en todas las horas pero limitando el valor casado a un máximo global de energía. Esta condición es necesaria debido a la volatilidad de los precios del mercado intradiario entre horas, que no permiten conocer las horas en las que pueden casar las unidades de producción o adquisición y, sin embargo, tiene un límite en la energía que pueden vender, como puede ser el caso de las unidades de generación de bombeo.

Las ofertas de venta para cada sesión de mercado intradiario deben ser tales que el programa final resultante de la aceptación completa de la oferta más el programa previo de la unidad de venta o adquisición respete las limitaciones realizadas por los operadores del sistema para el horizonte de programación o, si no las cumple previamente a la realización de las ofertas, se aproxime al cumplimiento de éstas.

3.2.2. Ofertas de Compra

Podrán presentar ofertas de compra o de adquisición de energía eléctrica en el mercado intradiario aquellos agentes habilitados para presentar ofertas de venta en el mercado diario y que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente o que hubieran ejecutado un contrato bilateral, aquellos que no hubieran participado por estar indisponibles y quedaran posteriormente disponible y aquellos agentes de entre los habilitados para presentar ofertas de adquisición en el mercado diario que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente sobre la que se abra sesión de mercado intradiario o que hayan ejecutado un contrato bilateral físico. Los agentes sólo podrán participar en los mercados intradiarios en aquellos periodos horarios que se correspondan con los incluidos en la sesión de mercado diario en la que participaron o no lo hicieron por estar indisponibles.

Las ofertas de adquisición presentadas al operador del mercado pueden ser simples o incluir condiciones complejas. Las ofertas simples son ofertas de compra de energía que los compradores presentan para cada periodo horario y unidad de producción o de adquisición de la que sean titulares; estas ofertas simples expresan un precio y una cantidad de energía, con precio decreciente en cada tramo. Las ofertas de compra que incluyen condiciones complejas son aquellas que, cumpliendo los requisitos exigidos para las ofertas simples, incorporan algunas de las condiciones complejas siguientes: gradiente de carga, aceptación completa en casación del tramo primero de la oferta de

compra, aceptación completa en cada hora en la casación del tramo primero de la oferta de compra, condición de mínimo número de horas consecutivas de aceptación parcial o completa del tramo primero de oferta de compra, pagos máximos y energía máxima.

Estas condiciones son las mismas que pueden utilizar las ofertas de venta excepto en el caso de la condición de pago máximo, que equivale a la de ingreso mínimo aplicado a las compras de energía, de forma que no serán casadas en caso de ser el coste superior a una valor fijo más uno variable por kWh casado.

Las ofertas de adquisición para cada sesión de mercado intradiario deben ser tales que el programa final resultante de la aceptación completa de la oferta más el programa previo de la unidad de producción respete las limitaciones declaradas por el operador del sistema para el horizonte de programación, o si no las cumple previamente, se aproxime al cumplimiento de éstas.

3.2.3. *Proceso de Casación*

El operador del mercado realizará la casación de las ofertas de compra y de venta de energía eléctrica por medio del método de casación simple o compleja, según concurren ofertas simples o incorporen condiciones complejas.

- **Método de Casación Simple:** Obtiene de forma independiente el precio marginal y el volumen de la energía eléctrica que se acepta para cada oferta de compra y de venta para cada periodo horario de programación.
- **Método de Casación Compleja:** Obtiene el resultado de la casación partiendo del método de casación simple al añadirle la condición de gradiente de carga para así obtener una Casación Simple Condicionada. Mediante un proceso de tipo iterativo se ejecutan varias casaciones simples condicionadas hasta que todas las unidades de venta y de adquisición casadas cumplan las condiciones complejas declaradas, siendo ésta solución la primera solución final provisional.

Mediante otro proceso iterativo se obtendrá la primera solución final definitiva, que respetará la capacidad máxima de interconexión internacional con los sistemas eléctricos externos al Mercado Ibérico. En el caso de congestión en la interconexión entre España y Portugal, se repetirá el proceso descrito previamente, realizándose una separación de mercados, de manera que se obtenga un precio para cada zona del Mercado Ibérico, sin que exista congestión interna entre ambos sistemas eléctricos.

En ambos métodos se asegurará que no sea casada ninguna oferta que implique el no cumplimiento de las limitaciones impuestas por los operadores del sistema o, en el caso de que no se puedan cumplir, se asegurará que las ofertas casadas permitan acercarse a su cumplimiento.

4. Operación del Sistema Eléctrico Español

El operador del sistema eléctrico español es Red Eléctrica España (REE), tanto en la Península Ibérica como en Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla. La operación del sistema eléctrico comprende aquellas actividades necesarias para garantizar en todo momento la seguridad y la continuidad del suministro eléctrico, así como la correcta coordinación entre el sistema de producción y la red de transporte de electricidad, asegurando que la energía producida por los generadores sea transportada hasta las redes de distribución con las condiciones de calidad exigibles en aplicación de la normativa vigente.

Una de los aspectos que caracteriza la energía eléctrica es que no puede almacenarse en grandes cantidades. Esto supone que, para el correcto funcionamiento del sistema, la producción de las centrales de generación debe igualarse al consumo de forma precisa e instantánea, debiendo existir un equilibrio entre la generación y la demanda en tiempo real para evitar desequilibrios, que se traducen en desvíos de frecuencia respecto al valor nominal de 50 Hz.

La función del operador del sistema consiste en garantizar ese equilibrio en el sistema eléctrico español. Para ello, realiza las previsiones de la demanda de energía eléctrica y gestiona en tiempo real las instalaciones de generación y transporte, logrando así que la producción programada en las centrales coincida en cada instante con la demanda de los consumidores. En el caso de que difiera, envía las órdenes oportunas a las centrales para que ajusten sus producciones aumentando o disminuyendo la generación de energía, de forma que se mantengan márgenes de generación suficientes para hacer frente a posibles pérdidas sobrevenidas de generación o cambios en el consumo previsto.

Por otro lado, REE gestiona en el sistema eléctrico peninsular los mercados de servicios de ajuste, que son mercados mediante los que se adecúan los programas de producción (establecidos libremente por los agentes en el mercado diario o con contrato bilateral y, posteriormente, en el mercado intradiario), a los requisitos de calidad, de fiabilidad y de seguridad del sistema eléctrico. Los servicios de ajuste o mercados de ajuste se dividen en tres tipos de actuaciones:

- **Solución de Restricciones Técnicas:** Permite resolver congestiones ocasionadas por las limitaciones de la red de transporte sobre la programación prevista para el día siguiente y las que surjan en tiempo real. En el procedimiento de operación para desvíos de REE (P.O. 3.2. Resolución de Restricciones Técnicas)^[17] se desarrolla todo el procedimiento a seguir regular estos servicios.
- **Asignación de los Servicios Complementarios:** Sistema de control de frecuencia, de potencia y de tensión para garantizar la calidad y seguridad del suministro.
- **Gestión de Desvíos:** Resuelve desajustes entre oferta/demanda casi en tiempo real.

En los sistemas no peninsulares de Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla, para garantizar el equilibrio constante entre generación y demanda en tiempo real, REE lleva a cabo un despacho económico de las unidades de generación.

4.1. Solución de Restricciones Técnicas

Después de cada una de las sesiones de los mercados diario e intradiario, y teniendo en cuenta los contratos bilaterales cuya ejecución diaria le ha sido comunicada, el operador del sistema ejecuta el proceso de solución de restricciones técnicas. Para ello, analiza los programas de las unidades de producción y los intercambios internacionales previstos con el fin de garantizar que el suministro de energía eléctrica se pueda realizar con las condiciones adecuadas de seguridad, de calidad y de fiabilidad y, en su caso, que se hayan resuelto previamente todas las posibles restricciones técnicas identificadas.

Las centrales de generación deben presentar previamente al operador del sistema las ofertas específicas de energía a subir y a bajar para ser usadas en el proceso de solución de restricciones técnicas, proceso que consta de dos fases:

1.- Se redespachan unidades de generación y/o consumo de bombeo para aliviar las posibles restricciones técnicas existentes, contemplando los escenarios del caso base y también los resultantes de un fallo simple y los correspondientes a fallo múltiple, líneas con doble circuito con longitud superior a 30 km y fallo consecutivo de grupo generador y línea de interconexión de área. Los redespachos a subir se liquidan en base al precio de la oferta específica de restricciones, mientras que los redespachos a bajar son liquidados en base al precio del mercado diario, es decir, que se produce una anulación del programa de redespacho a la baja.

2.- Se realizan nuevas reprogramaciones de unidades de generación y de consumo mediante bombeo con el objetivo de equilibrar los programas globales de generación y de demanda. En esta fase de “cuadre” se aplica el orden de mérito de las ofertas específicas de restricciones a subir y a bajar, siempre que éstas no originen nuevas restricciones. Los redespachos a subir se liquidan en base al precio de la oferta específica de energía a subir, mientras que los redespachos a bajar son liquidados en base al precio de la oferta específica de restricciones a bajar.

Actualmente, en el proceso de solución de restricciones técnicas del Programa Base de Funcionamiento se garantiza la disponibilidad de la reserva de potencia necesaria en el sistema y, en su caso, su programación mediante la convocatoria de gestión de desvíos y/o asignación de ofertas de regulación terciaria. En los últimos años, el gran incremento de la producción de origen renovable, asociada a fuentes primarias intermitentes como el viento, está aumentando y potenciando las situaciones de falta de reserva de potencia en el sistema, tanto a subir como a bajar, como consecuencia de las diferencias entre las previsiones de producción y la energía que finalmente se produce.

El impacto de las situaciones de insuficiente reserva de potencia a subir y/o bajar en el sistema eléctrico es cada vez más significativo. Sin embargo, este mecanismo presenta el inconveniente de que tienen carácter local y de que la retribución de las centrales que prestan este servicio es exactamente el precio que ha ofertado, lo cual supone un gasto superior al que se obtendría en un mercado marginalista.

4.2. Asignación de Servicios Complementarios

Los servicios complementarios, que son ofrecidos por los generadores y gestionados por el operador del sistema, tienen como fin que el suministro se realice en condiciones de seguridad y fiabilidad en todo momento, así como que se resuelvan los desequilibrios entre la generación y la demanda en tiempo real. Existen tres servicios complementarios básicos:

1.- Regulación Primaria: Su objetivo es la corrección automática (en 30 segundos) de los desequilibrios instantáneos de frecuencia por medio de los reguladores de velocidad y de la propia inercia de las máquinas o instalaciones de generación. Este servicio es obligatorio y no tiene una remuneración adicional.

2.- Regulación Secundaria: Permite al operador del sistema disponer de reserva de capacidad muy flexible (debe responder en 30 segundos en caso de contingencia) para resolver desequilibrios significativos entre generación y demanda. Cada día el operador del sistema estima la reserva de banda de regulación (MW) necesaria para asegurar el suministro en condiciones de fiabilidad en caso de existir desequilibrios en tiempo real y convoca el mercado correspondiente después de la celebración del mercado diario y el de restricciones.

Las empresas generadoras, de forma voluntaria, presentan sus ofertas de capacidad disponible. Con todas estas ofertas, se asigna la banda de regulación requerida entre ellas con un criterio de mínimo coste. El coste marginal de la banda de potencia para cada hora marca el precio con el que se remunera toda la capacidad asignada en este mercado. El servicio de reserva secundaria remunera no sólo la banda de potencia, sino también la energía eventualmente utilizada, valorada al precio de sustitución de la energía terciaria.

Este servicio de regulación secundaria es gestionado por “zonas de regulación”, es decir, por agrupaciones de centrales con capacidad de prestar el servicio con una exigencia de respuesta con constante de tiempo de 100 segundos. En la actualidad existen diez zonas de regulación en el sistema eléctrico español, aunque no todas las unidades de generación forman parte de una zona de regulación, quedando limitada su participación en este servicio a aquellas que cumplen los requisitos establecidos en los Procedimientos de Operación del Sistema.

3.- Regulación Terciaria: Es el mecanismo cuyo objetivo es que pueda restituirse la reserva de banda en caso de que se haga uso de la banda secundaria por causa de una contingencia. Este servicio tiene un carácter obligatorio para las unidades de producción que puedan ofrecerlo, de manera que todas las unidades de generación que puedan variar su producción en un tiempo no superior a 15 minutos y mantener esta variación durante 2 horas deben ofrecer toda su capacidad excedentaria (aquella no contratada en otros mercados o servicios) al Operador del Sistema.

El mercado de esta energía terciaria se celebra a última hora del día anterior al del despacho. En él, todos los generadores envían ofertas por la variación máxima de su potencia a subir y a bajar. El precio de la energía terciaria utilizada a subir o a bajar es el precio marginal resultante de las ofertas realizadas por los generadores frente a una demanda (establecida por el Operador del Sistema según sus requerimientos) a subir o bajar respectivamente. Al contrario que en el caso de la reserva secundaria, los generadores sólo reciben ingresos si este servicio es utilizado por el operador del sistema.

4.3. Gestión de Desvíos

La gestión de desvíos es el mecanismo que utiliza el operador del sistema para resolver desequilibrios entre la oferta y la demanda que puedan identificarse unas pocas horas antes del despacho, es decir, tras la celebración de cada mercado intradiario.

Durante la operación normal, los agentes de producción comunican al operador del sistema las previsiones de desvíos debidos a distintas causas. A todo ello se le une las variaciones en la previsión de producción eólica que realiza el operador del sistema. En caso de que el conjunto de los desvíos previstos durante el periodo entre dos mercados intradiarios supere los 300 MW en media horaria, hace que el operador del sistema convoque el “mercado de gestión de desvíos”.

Dicho mercado de gestión de desvíos consiste en pedir ofertas a los generadores en el sentido opuesto a los desvíos previstos en el sistema: si se considera que el sistema está corto con el programa de generación existente, se piden ofertas de mayor producción a los agentes productores para generar más energía (incluyendo al bombeo por reducir su consumo de energía) y, en caso opuesto, cuando en el sistema existe un programa largo de producción respecto a la demanda y, por tanto, se considera que sobra energía, se piden ofertas a los generadores por reducir su programa de producción (incluyendo al bombeo por aumentar su consumo de energía).

El operador del sistema tiene a su disposición en tiempo real (15 minutos anteriores al despacho), además de los servicios de regulación y de los mecanismos de resolución de restricciones en tiempo real, unos mecanismos de emergencia a través de los cuales se podría obligar a determinadas unidades de generación a modificar su producción para un caso de extrema necesidad.

5. Liquidación de los Desvíos

Si definimos un desvío como la diferencia entre la energía medida y la programada, la liquidación de los desvíos dependerá si el desvío es a favor o en contra del sistema. Por otro lado, se desarrolla la necesidad neta del balance del sistema para poder determinar el precio que se aplicará al desvío.

La liquidación puede ser de dos tipos: liquidación consolidada del desvío por sujeto de liquidación, que dependerá del sentido del desvío total de las unidades de programación del sujeto, o la liquidación de cada unidad de programación por separado.

Finalmente, se desarrolla el coste del desvío dependiendo de si es a favor o en contra del sistema y la posibilidad de no tener coste por desvío de algunas instalaciones. En el procedimiento de operación de RRE (P.O. 3.3. Gestión de Desvíos Generación-Consumo)^[17] se desarrolla el procedimiento a seguir para la liquidación de los desvíos.

5.1. Desvíos

El desvío de una unidad de programación se calcula de la siguiente forma:

$$DSV_{h,up} = MED_{h,up} - PHO_{h,up} \quad (5.1)$$

$$PHO_{h,up} = PHF_{h,up} - RTTR_{h,up} \quad (5.2)$$

$$DSV_{h,up} = MED_{h,up} - (PHF_{h,up} - RTTR_{h,up}) \quad (5.3)$$

$DVV_{h,up}$ = Desvío de la unidad “up” de la hora “h”.

$MED_{h,up}$ = Producción medida de la unidad “up” de la hora “h”.

$PHO_{h,up}$ = Programa horario operativo de la unidad “up” de la hora “h”. Se calcula como la diferencia entre el programa horario final del mercado ($PHF_{h,up}$) y la reducción, en su caso, de energía por restricciones en tiempo real por congestión en las líneas de evacuación ($RTTR_{h,up}$).

$PHF_{h,up}$ = Programa horario final del mercado de la unidad “up” de la hora “h” tras la última sesión del mercado intradiario. Se calcula como la diferencia entre la producción horaria medida y el programa horario final operativo, el cual es la diferencia entre el programa final del mercado y la reducción por restricciones en tiempo real.

$RTTR_{h,up}$ = Energía reducida en la hora “h” por restricciones en tiempo real, en valor positivo.

5.2. Necesidad Neta del Balance del Sistema

La necesidad neta del balance del sistema en cada hora se usa para determinar el precio a aplicar a los desvíos, como se detalla más adelante. La necesidad neta del balance del sistema para cada hora se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$NNBS_h = \sum_{t,s} EB_{t,h,s} \quad (5.4)$$

$NNBS_h$ = Necesidad neta de balance del sistema en la hora “h”.

$EB_{t,h,s}$ = Energía de balance del tipo “t” en la hora “h” y en el sentido “s”. El valor de t representa la energía de gestión de desvíos, la energía de regulación terciaria y la de regulación secundaria. El valor de s representa si hay que subir o bajar la producción. El valor de $EB_{t,h,s}$ será positivo si el sentido es mayor producción y será negativo si el sentido es menor producción.

5.3. Liquidación del Desvío Consolidado por Sujeto de Liquidación

El sujeto de liquidación es la empresa que se encarga de los cobros, pagos y prestación de garantías que se derivan del proceso de liquidación del operador del sistema.

La liquidación del desvío consolidado por sujeto de liquidación dependerá del sentido de la suma total de los desvíos de las unidades de programación de dicho sujeto. De esta manera, esta liquidación varía si el sentido es favorable o contrario al sistema. El desvío consolidado es favorable al sistema cuando el desvío sigue el sentido de la necesidad de balance del sistema, es decir, cuando la necesidad del sistema sea reducir producción y el desvío consolidado sea a bajar o cuando la necesidad sea aumentar producción y el desvío consolidado sea a subir; en el resto de casos el desvío será contrario al sistema, tal y como se puede apreciar en la Figura 5.1^[18].

Sentido del Desvío	NECESIDAD DEL SISTEMA	
	< 0 Menor Producción	> 0 Mayor Producción
A SUBIR Mayor Producción Menor Consumo	CONTRARIOS	FAVORABLES
A BAJAR Menor Producción Mayor Consumo	FAVORABLES	CONTRARIOS

Figura 5.1. Desvíos consolidados favorables y contrarios al sistema.

El desvío consolidado por el sujeto de liquidación se calcula sumando los desvíos de todas sus unidades programación:

$$DSV_{h,sl} = \sum_{up} (MED_{h,up} - PHO_{h,up}) \quad (5.5)$$

$DSV_{h,sl}$ = Desvío consolidado de las unidades “up” del sujeto de liquidación “sl” en la hora “h”.

El importe económico del desvío consolidado anterior se calcula aplicando el precio general de desvíos que corresponda al sentido de dicho desvío consolidado:

$$DSV_{h,sl} > 0 \Rightarrow IMP_{h,sl} = DSV_{h,sl} \cdot PGDSVS_h \quad (5.6)$$

$$DSV_{h,sl} < 0 \Rightarrow IMP_{h,sl} = DSV_{h,sl} \cdot PGDSVB_h \quad (5.7)$$

$IMP_{h,sl}$ = Valor € del desvío consolidado del sujeto de liquidación “sl” a la hora “h”.

$PGDSVS_h$ = Precio general de desvíos a subir en la hora “h”.

$PGDSVB_h$ = Precio general de desvíos a bajar en la hora “h”.

El precio general de desvíos a subir en la hora “h” ($PGDSVS_h$) se calcula de una forma diferente según si la necesidad neta del balance del sistema en dicha hora es positiva o es negativa:

$$NNBS_h < 0 \Rightarrow PGDSVS_h = \min \left(\frac{\sum_t (EB_{t,h,bajar} \cdot PREB_{t,h,bajar})}{\sum_t (EB_{t,h,bajar})}, PMD_h \right) \quad (5.8)$$

$$NNBS_h > 0 \Rightarrow PGDSVS_h = PMD_h \quad (5.9)$$

$PREB_{t,h,bajar}$ = Precio marginal energía de balance a bajar de tipo “t” a la hora “h”.

PMD_h = Precio del mercado diario en la hora “h” (€/MWh).

El precio general de desvíos a bajar en la hora “h” ($PGDSVB_h$) se calcula igualmente de una forma diferente según si la necesidad neta del balance del sistema en dicha hora es positiva o es negativa:

$$NNBS_h > 0 \Rightarrow PGDSVB_h = \max \left(\frac{\sum_t (EB_{t,h,subir} \cdot PREB_{t,h,subir})}{\sum_t (EB_{t,h,subir})}, PMD_h \right) \quad (5.10)$$

$$NNBS_h < 0 \Rightarrow PGDSVB_h = PMD_h \quad (5.11)$$

$PREB_{t,h,subir}$ = Precio marginal energía de balance a subir de tipo "t" a la hora "h".

PMD_h = Precio del mercado diario en la hora "h" (€/MWh).

Este cálculo del precio de los desvíos consolidados se expresa esquemáticamente de la misma forma que los tipos de desvíos consolidados (favorables o contrarios al sistema), lo cual se puede observar en la Figura 5.2^[18].

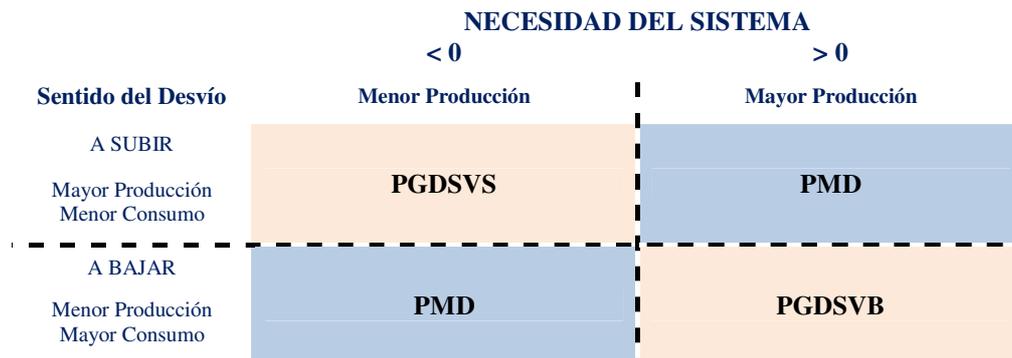


Figura 5.2. Precios de los desvíos consolidados.

5.4. Liquidación del Desvío por Unidad Programación

Para determinar el importe económico de la liquidación del desvío de cada unidad de programación, se asigna el importe del desvío consolidado por sujeto de liquidación a cada una de sus unidades de programación siguiendo los siguientes criterios:

- 1.- Si el desvío de la unidad es favorable:

$$DSV_{h,sl} = \sum_{up} (MED_{h,up} - PHO_{h,up}) \quad (5.12)$$

2.- Si el desvío de la unidad es contrario y el desvío consolidado es favorable o cero:

$$IMP_{h,up} = DSV_{h,up} \cdot PMD_h \quad (5.13)$$

3.- Si el desvío de la unidad es contrario y el desvío consolidado es contrario:

$$IMP_{h,up} = DSV_{h,up} \cdot PAC_{h,sl,s} \quad (5.14)$$

$IMP_{h,up}$ = Valor € del desvío de la unidad de programación “up” en la hora “h”.

PMD_h = Precio del mercado diario en la hora “h” (€/MWh).

$PAC_{h,sl,s}$ = Precio apantallado de los desvíos contrarios en el sentido “s” de aquellas unidades de programación del sujeto de liquidación “sl” en la hora “h”.

El precio apantallado de desvíos contrarios de unidades del sujeto de liquidación puede calcularse sumando los desvíos de las unidades del sujeto a subir y a bajar de una forma separada:

$$DSVS_{h,sl} = \sum_{up} |DSV_{h,up}| \quad \text{en caso de } DSV_{h,up} > 0 \quad (5.15)$$

$$DSVB_{h,sl} = \sum_{up} |DSV_{h,up}| \quad \text{en caso de } DSV_{h,up} < 0 \quad (5.16)$$

$$DSV_{h,up} = DSVS_{h,sl} - DSVB_{h,sl} \quad (5.17)$$

· Si el desvío consolidado del sujeto a es subir ($DSVS_{h,sl} \geq DSVB_{h,sl}$) y además es en contra, el precio apantallado a subir se calcula del siguiente modo:

$$PAC_{h,sl,subir} = PAS_{h,sl} = PGDSVS_h + (PMD_h - PGDSVS_h) \cdot \frac{DSVB_{h,sl}}{DSVS_{h,sl}} \quad (5.18)$$

· Si el desvío consolidado del sujeto a es bajar ($DSVS_{h,sl} \leq DSVB_{h,sl}$) y además es en contra, el precio apantallado a subir se calcula del siguiente modo:

$$PAC_{h,sl,subir} = PAB_{h,sl} = PGDSVB_h + (PMD_h - PGDSVB_h) \cdot \frac{DSVS_{h,sl}}{DSVB_{h,sl}} \quad (5.19)$$

Dado que los cálculos anteriores pueden presentar alguna dificultad de comprensión, se realiza un cuadro esquemático que muestra los precios dependiendo del sentido de la necesidad neta del sistema y de los desvíos totales del sujeto de liquidación, el cual se muestra en la Figura 5.3^[18].



Figura 5.3. Precios del desvío total del sujeto de liquidación.

Se puede comprobar que el beneficio del apantallamiento para los desvíos contrarios de las unidades de programación de un sujeto de liquidación, independientemente del sentido, depende del ratio entre la suma de los desvíos a favor ($DSVF_{h,up}$) y la suma de los desvíos en contra ($DSVC_{h,up}$) de sus unidades:

$$IBA_{h,sl} = \frac{DSVF_{h,up}}{DSVC_{h,up}} \quad (5.20)$$

- Si el valor de $IBA_{h,sl}$ es mayor o igual a la unidad (apantallamiento total), el precio apantallado de los desvíos contrarios será igual al precio del mercado diario.
- Si el valor de $IBA_{h,sl}$ es menor que la unidad (apantallamiento medio), el precio apantallado será mejor que el precio general de los desvíos contrarios.
- Si el valor de $IBA_{h,sl}$ es igual a cero (apantallamiento nulo), el precio apantallado de los desvíos contrarios será igual al precio general de los desvíos contrarios.

La reducción del coste de los desvíos puede ser posible si se agrupan los productores en la cartera de un sujeto de liquidación como un representante en nombre propio o un comercializador. Esta reducción es posible gracias a que, al incluirse una instalación en la cartera de un sujeto de liquidación, la normativa considera como unidad básica de liquidación de desvíos la cartera de instalaciones del sujeto, con lo que se reduce siempre el importe del desvío y, por tanto, el coste.

Esto es así puesto que se suman los desvíos de todas las instalaciones representadas, lo que permite sumar, por lo tanto, los desvíos positivos con los desvíos negativos y compensarse o “apantallarse” entre ellos, produciendo un desvío total de la cartera inferior a la suma de los desvíos absolutos individuales de cada instalación. El repartir “aguas abajo” el desvío de la cartera entre las unidades que provocaron dicho desvío genera un ahorro en costes entre un 45% y 85%, que es variable según la precisión de la previsión del desvío consolidado del sujeto.

La consolidación, apantallamiento o “neteo” de los desvíos, como comúnmente se le designa, debido a la inclusión en una cartera de un representante, ha hecho posible que los generadores en régimen especial puedan disponer de las mismas ventajas derivadas de la economía de escala que poseen las grandes empresas eléctricas, facilitando así la inversión en energías renovables.

5.5. Coste del Desvío

El coste del desvío a bajar es la pérdida de ingresos por haber cobrado en el mercado una energía finalmente no producida que ha generado un pago al operador del sistema como desvío a un precio de desvío superior o igual al precio del mercado. Por otro lado, el coste del desvío a subir es la pérdida de ingresos por haber cobrado a precio de desvío una energía que podría haberse vendido en el mercado a un precio superior.

Tomando como referencia el precio del mercado diario, el coste general de desvíos a subir ($CGDSVS_h$) y a bajar ($CGDSVB_h$) se calcula de la siguiente forma:

$$CGDSVS_h = PMD_h - PGDSVS_h \quad (5.21)$$

$$CGDSVB_h = PGDSVB_h - PMD_h \quad (5.22)$$

a) Desvíos en Contra: El coste depende de si se trata de un desvío a subir o a bajar. Si el desvío es en contra a subir y es mayor que cero, el coste es el Precio del Mercado Diario (PMD) menos el Precio del Desvío a Subir ($PDSVS$); siendo su precio el Precio del Desvío a Subir ($PDSVS$). Si el es desvío en contra a bajar y es menor que cero, su coste es el Precio del Desvío a Bajar ($PDSVB$) menos el Precio Medio Diario (PMD); siendo su precio el Precio del Desvío a Bajar ($PDSVB$). Para una unidad de programación, el coste del desvío depende del precio de desvío apantallado liquidado.

b) Desvíos a Favor: Tanto si el desvío es a subir como a bajar, el coste del desvío será nulo, siendo su precio el Precio del Mercado Diario (PMD).

En la Figura 5.4^[18] se muestra el esquema de coste de los desvíos para ambos sentidos, donde se puede observar cómo cuando el desvío producido es a favor del sistema no se asocia coste alguno.



Figura 5.4. Costes de los desvíos.

5.6. Exención del Coste del Desvío

Según el Artículo 34.2 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo^[19], “estarán exentas del pago del coste de los desvíos aquellas instalaciones que, habiendo elegido la opción a) del artículo 24.1, no tengan la obligación de disponer de equipo de medida horaria de acuerdo con el Reglamento de puntos de medida de los consumos y tránsitos de energía eléctrica aprobado por el Real Decreto 2018/1997, de 26 de diciembre.”

Según el Reglamento de puntos de medida, RD 1110/2007^[20], las instalaciones que no tienen obligación de disponer de equipo de medida horaria y que, por tanto, están exentas del coste del desvío, son las que poseen una potencia nominal que sea menor o igual a las 15 kVA.

El precio del desvío de aquellas unidades de programación donde se agrupan este tipo de instalaciones es siempre el precio del mercado diario (*PMD*) con independencia de su sentido. Así, el coste del desvío será siempre nulo.

El coste del desvío de las instalaciones exentas lo asume la demanda nacional como menor cobro del excedente de la liquidación de los desvíos.

6. Parque Eólico Experimental de Sotavento

Para realizar el presente proyecto se va a emplear como planta modelo en el estudio que se va a realizar el Parque Eólico Experimental Sotavento, el cual se encuentra emplazado en la comunidad autónoma de Galicia, más concretamente en “A Serra da Loba”, entre los términos municipales de Xermade (Lugo) y de Monfero (A Coruña), como se puede comprobar en la Figura 6.1^[21]. Dicho parque eólico se encuentra a una altitud de 600-700 metros sobre el nivel del mar.

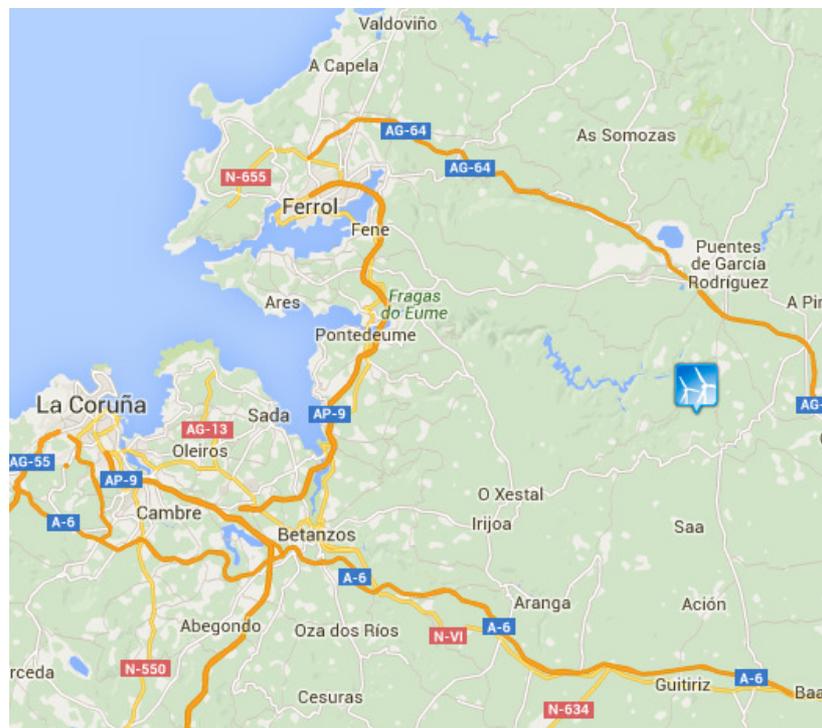


Figura 6.1. Mapa de situación del parque eólico experimental Sotavento.

Los datos técnicos más relevantes del parque eólico son los siguientes:

- Número de Aerogeneradores: 24
- Tecnologías Presentes: 5
- Modelos de Aerogenerador Empleados: 9
- Potencia Nominal del Parque: 17,56 MW
- Generación Anual Media: 33.364 MWh
- Velocidad Media del Viento: 6,41 m/s
- Dirección del Viento Predominante: Eje Este-Oeste

La Figura 6.2^[21] muestra la distribución existente de los distintos aerogeneradores en el parque eólico. Cada aerogenerador está identificado por un número, de manera que a través de la Tabla 2 se puede conocer las características de cada uno de ellos.

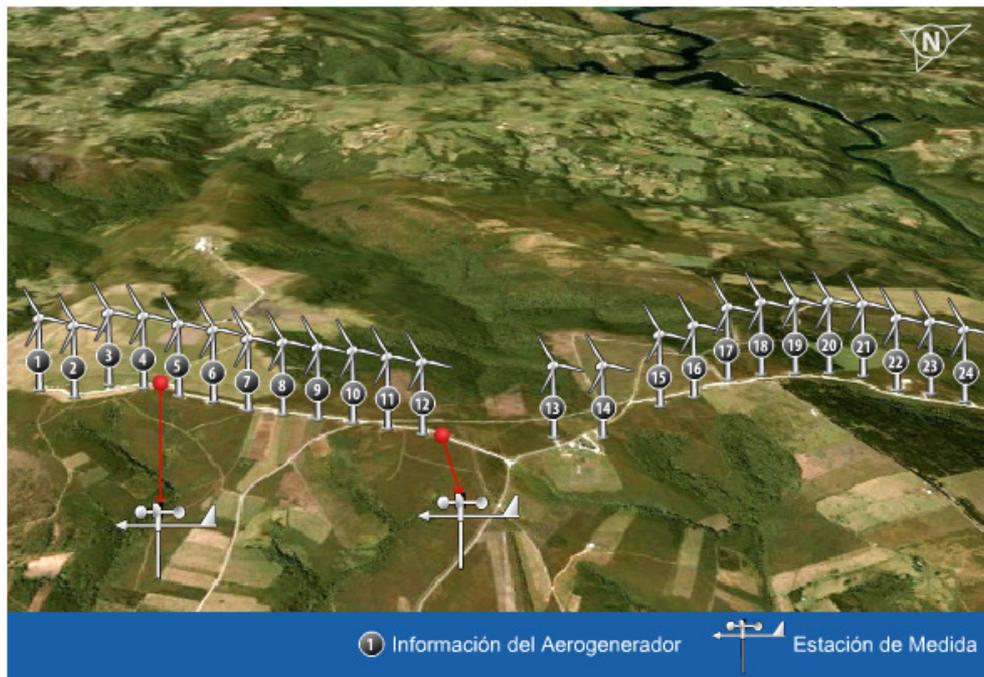


Figura 6.2. Distribución de aerogeneradores del parque eólico de Sotavento.

Tabla 2. Características de los aerogeneradores del parque eólico Sotavento.

Tipo Aerogenerador	Potencia Unitaria (kW)	Diámetro Rotor (m)	Altura Torre (m)	Paso Palas	Velocidad Generador	Generación	Nº
Neg Micon NM-48 750	750	48	45	Fijo	Fija	Asíncrona	2,8,13,20
Gamesa G-47	660	47	45	Variable	Variable	Asíncrona	3,7,14,19
Made AE-46	660	46	45	Fijo	Fija	Asíncrona	6,10,17,23
Izar-Bonus MK-IV	600	44	40	Fijo	Fija	Asíncrona	5,9,18,22
Ecotecnia 44/640	640 (2 x 320)	44	46	Fijo	Fija	Asíncrona	4,11,15,21
Neg Micon NM-52 900	900	48	45	Fijo	Fija	Asíncrona	12
Made AE-52	800	52	50	Variable	Variable	Síncrona	16
Made AE-61	1.320	61	60	Fijo	Fija	Asíncrona	24
Izar-Bonus 1,3 MW	1.300	62	49	Variable	Fija	Asíncrona	1

6.1. Estrategia de Funcionamiento

La estrategia de funcionamiento está dividida en tres aspectos: proceso de arranque del aerogenerador, funcionamiento normal y el proceso de parada.

El proceso de arranque del aerogenerador se inicia cuando la turbina detecta viento en cualquier dirección por los sensores de velocidad de viento (anemómetros de turbina). A través de los motores correspondientes, el controlador realiza las siguientes órdenes al aerogenerador:

- Si el viento tiene una velocidad de 2-3 m/s envía la orden de posicionarse frente al viento, lo que se denomina orientación de la turbina.
- Si el viento supera los 3 m/s envía la orden de desactivar los frenos para permitir el giro de la turbina por el efecto únicamente del empuje del viento. Además, se envía la consigna de posición de las palas progresivamente de 90° - 0° (paso variable).
- Cuando la velocidad de giro del molino llega a la de sincronismo del generador solicitado (1500 rpm) se conecta dicho generador a la red de forma suave, contando para ello con electrónica de potencia consistente en bancos de tiristores. Al realizar la conexión (que dura entre 3 y 4 segundos), se conecta directamente el generador a la red mediante un interruptor.
- Una vez el generador se conecta a la red, éste envía energía al sistema nacional. La velocidad entonces es constante y limitada únicamente por la frecuencia de la red.
 - *Paso Fijo*: Cuando el viento es demasiado elevado, el diseño aerodinámico de las palas de paso fijo incrementa las turbulencias del flujo de aire, limitando con ello la potencia.
 - *Paso Variable*: El control del aerogenerador se realiza mediante la actuación en el ángulo de paso, capturando o limitando la potencia extraída del viento. La velocidad de generación puede ser variable.
 - *Turbinas de Doble Devanado*: La finalidad es optimizar la energía generada para diferentes rangos de velocidad de viento, seleccionándose un generador u otro en función del mismo.

El proceso de parada del aerogenerador se produce cuando ocurre uno de los siguientes motivos:

- *Vientos Altos*: Cuando el viento supera un límite (25 m/s) o cuando se detecta un error en la lectura de los sensores de viento.
- *Vientos Bajos*: Se inicia la secuencia de parada si se detecta poca generación o si se detectan vientos muy bajos.

- *Error de Funcionamiento*: Se detecta un error de funcionamiento por la información que indican los sensores.
- *Parada Manual*: Se realiza siempre bajo la supervisión del personal de operación y del personal de mantenimiento.

Cuando se produce la parada de la turbina se distinguen los siguientes procedimientos a llevar a cabo:

- *Parada Suave*: En aerogeneradores de paso fijo el controlador envía una orden al sistema de captación para desplegar los aerofrenos; simultáneamente desconecta el generador, revisa la disminución de las rpm y emplea los frenos de manera suave. Al transcurrir varios segundos, aplica una presión de frenada cada vez mayor hasta conseguir la detención total del aerogenerador. En aerogeneradores de paso variable se envía la orden a los actuadores del calaje de palas (pitch) aumentando los grados hasta los 90°; simultáneamente se desconecta el generador y realiza de igual forma un incremento paulatino de presión en el circuito secundario de frenada.
- *Parada de Emergencia*: Se produce ante errores importantes, ante peligro para las personas o para la integridad de la turbina. Se aplican los frenos con la máxima presión desde el primer momento.
- *Cambio en el Devanado del Generador*: No se llega a realizar una parada, sólo una disminución de la velocidad de giro para el caso de pasar del generador grande al pequeño; en caso contrario, la turbina se desacopla y permite el embalamiento con el viento hasta alcanzar la nueva velocidad de sincronismo.

6.2. Datos Monitorizados

En las instalaciones destinadas al análisis del Parque Eólico Sotavento se monitorizan los principales parámetros que permiten el estudio y análisis de sistemas reales.

Todos estos datos conforman una extensa base de datos que convierten al Parque Eólico Experimental de Sotavento en un centro de referencia y dinamizador de numerosos estudios tecnológicos, previo acuerdo y convenios de colaboración con las universidades, empresas y fundaciones. El listado de variables monitorizadas es el siguiente:

1) Torres Anemométricas:

- Velocidad y dirección del viento a dos alturas.
- Presión y temperatura del aire a nivel inferior.

- Densidad del aire.
- Radiación solar.

2) Aerogeneradores Datos SCADA Nativo:

- Potencia eléctrica generada (diez-minutal).
- Velocidad de viento (diez-minutal).
- Energía generada acumulada (diez-minutal).

3) Analizador de Redes en cada Aerogenerador:

- Tensión por fase y trifásica.
- Intensidad por fase y trifásica.
- Potencia eléctrica por fase y trifásica.
- Energía Exportada.
- Energía Importada.
- Frecuencia de red.

4) Regulador de Reactiva Aerogenerador:

- Capacidad real de las baterías de condensadores.
- Estado de las baterías de condensadores.
- Operaciones realizadas en condensadores.
- Tiempo de conexión de cada condensador.

5) Analizador de Redes en Subestación:

- Tensión por fase y trifásica.
- Intensidad por fase y trifásica.
- Potencia eléctrica por fase y trifásica.
- Energía Exportada
- Energía Importada.
- Frecuencia de red.

6) Regulador de Reactiva en Subestación:

- Capacidad real de las baterías de condensadores.

- Estado de las baterías de condensadores.
- Operaciones realizadas en condensadores.
- Tiempo de conexión de cada condensador.

7) Contador y Registrador de Energía: *Medias horaria y cuarto horaria.*

- Energía Exportada.
- Energía Importada.
- Energía reactiva inductiva importada.
- Energía reactiva inductiva exportada.
- Energía reactiva capacitiva importada.
- Energía reactiva capacitiva exportada

6.3. Objetivos del Parque Eólico

Uno de los principales objetivos por los cuales se proyectó y se construyó el Parque Eólico Experimental de Sotavento es la promoción y la realización de cualquier tipo de proyectos de investigación, de experimentación y de demostración en el campo de las energías renovables.

Estos estudios se realizarán con el fin de promocionar y de optimizar el uso de este tipo de fuentes energéticas, que posibilitarán un futuro sostenible del planeta. La gran cantidad y variedad de variables monitorizadas en tiempo real, cuya lista se recoge en el apartado anterior, permitirá el establecimiento de una completa base de datos históricos a la que podrá acceder cualquier interesado desde la plataforma web del parque eólico. De esta manera, esta instalación eólica se convertirá en una referencia para todo tipo de estudios de investigación y desarrollo en el ámbito de las energías renovables en nuestro país.

El mecanismo que da origen a los proyectos pretende dar respuesta principalmente a las siguientes cuestiones:

- Resolver las problemáticas del sector de las energías renovables. El sistema de la generación y de la acumulación de energía en forma de hidrógeno constituiría un ejemplo de proyecto con esta pretensión.
- Preguntas o propuestas, planteadas desde organismos, universidades o por los propios visitantes del parque eólico. La vivienda bioclimática demostrativa es un claro ejemplo de ello.

7. Baterías para Almacenamiento de Energía

Una batería es un sistema de almacenamiento de energía empleando procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente casi en su totalidad, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces.

La unidad básica de una batería se denomina “celda”, reservándose el nombre batería a la unión de dos o más celdas conectadas en serie, en paralelo o en ambas formas para conseguir la capacidad y la tensión deseada. La celda está formada por los siguientes componentes: electrodos (cátodo (+) y ánodo (-)), electrolito (sustancia que contiene iones en su composición orbitando libremente, lo que le ayuda a comportarse como un conductor eléctrico) y separadores (para realizar una separación de los componentes de su interior).

La energía eléctrica es almacenada o liberada mediante reacciones electroquímicas que transportan electrones entre electrodos, que se encuentran interiormente conectados por un electrolito (soluciones líquidas, polímeros conductores sólidos, gel), para llevar cabo reacciones específicas de reducción/oxidación. Frecuentemente se utilizan catalizadores para acelerar las tasas de reacción a niveles aceptables.

El principio de funcionamiento de una batería está basado básicamente en un proceso reversible llamado reducción-oxidación, donde uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro componente se reduce (gana electrones). Por lo tanto, se trata de un proceso en el que los componentes no se consumen, sino que únicamente cambian su estado de oxidación; por otro lado, dichos componentes pueden retornar a su estado original en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son el cierre del circuito externo durante el proceso de descarga y la aplicación de una corriente externa durante el proceso de carga.

La capacidad de una celda es la cantidad total de electricidad producida en la reacción electroquímica, la cual se suele medir en amperios-hora (Ah). Se define como *capacidad teórica* al producto del número de moles que intervienen en la reacción completa de descarga (x), del número de electrones que intervienen en la reacción (n) y del número de Faraday ($F = 96500$ C). Sin embargo, la *capacidad real* de la batería siempre resulta inferior a la capacidad teórica puesto que la utilización de los materiales activos nunca llega a ser del 100%.

En la práctica, la capacidad de una batería se calcula descargando dicha celda a una intensidad determinada hasta alcanzar un valor especificado de la tensión en bornes que se denomina tensión de corte.

De esta forma, el valor de la capacidad es el producto de dicha intensidad de descarga (A) y la duración de la descarga (horas). Por este motivo, la capacidad de la batería se mide en miliamperios-hora (mAh) o en amperios-hora (Ah).

Los ciclos de carga/descarga definirán la vida útil de las baterías. A medida que una batería es descargada y cargada, su capacidad sufre alteraciones, de manera que, tras un cierto número de ciclos, la batería pierde calidad y no consigue completar con éxito las reacciones químicas. La carga en exceso puede también ser perjudicial para su vida útil.

Las baterías también sufren un efecto denominado como “auto-descarga” cuando no se utilicen puesto que, a pesar de que no se empleen, la energía almacenada en su interior irá disminuyendo progresivamente con el paso del tiempo de forma espontánea.

Otro de los efectos que sufren las baterías es el llamado “efecto memoria”. Consiste en un fenómeno que reduce la capacidad de la batería con cargas incompletas. Se produce cuando se realiza la carga de una batería sin llegar a haber sido descargada del todo, lo que genera la creación de una especie de cristales en el interior que va a debilitar los electrodos y hace que la batería pierda parte de su capacidad real.

Existe una gran variedad de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica. En el presente apartado se realizará una breve descripción de las cinco tecnologías que se utilizan con más frecuencia en aplicaciones de alta potencia actualmente, estudiando sobretodo sus principales parámetros como son capacidad y precio.

7.1. Batería de Ión-Litio

Las baterías de ión-litio están compuestas por un cátodo construido por óxido metálico de litio (Li_xCoO_2 , LiNiO_2 , LiMnO_4) y por un ánodo construido por material de carbono (Li_xC_6), donde el electrolito está formado por sustancias que contienen también litio tal y como LiPF_6 , LiAsF_6 .

Durante el proceso de carga, los átomos de litio existentes en el cátodo se transforman en iones que son conducidos hasta el ánodo de carbono a través del electrolito, donde se combinan con los electrones externos hasta quedar depositados como átomos de litio en el interior de las capas del ánodo carbono. Durante la descarga, el proceso que ocurre es el inverso. La Figura 7.1^[26] muestra el esquema de funcionamiento de esta tecnología.

Las características principales que presentan este tipo de baterías son las que se indican a continuación:

- Alta Densidad de Energía: 300-400 kWh/m³
- Alto Rendimiento: 94%
- Largo Ciclo de Vida: 4500 ciclos
- Mínimo Estado de Carga: 10%

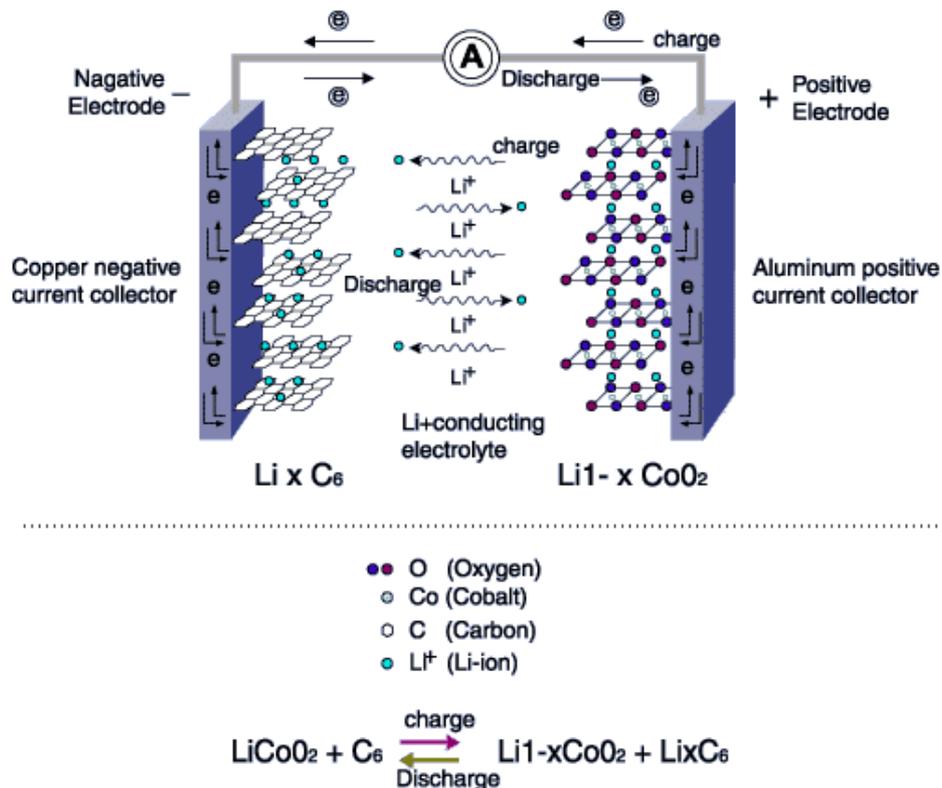


Figura 7.1. Funcionamiento de una batería de ión litio.

Debido a estas características, las baterías de litio son las más empleadas en artículos de electrónica de consumo. En la industria del coche eléctrico, estas baterías parten con una posición ventajosa frente al resto de tecnologías, lo cual supone un factor destacable ya que está previsto un importante desarrollo tecnológico a corto y medio plazo en esta industria.

Sin embargo, estas baterías presentan la necesidad de tener empaquetamiento especial y un circuito interno de protección ante sobrecargas, lo cual hace que se eleve el coste de inversión en torno a 530 €/kWh, donde los costes de operación y mantenimiento se encuentran cercanos a 3 €/kWh. En cualquier caso, es de esperar que se produzca una reducción en el coste de inversión a medida que avance su desarrollo tecnológico.

Entre los principales fabricantes de esta tecnología destacamos a “*J & A Electronics*” (China), el cual cuenta con más de 10 años de experiencia. Entre sus productos están las baterías de ión-litio, las baterías de polímero de litio y las baterías de LiFePO_4 , de alta tasa de polímero de descarga ión-litio. Otro de los principales fabricantes a destacar es “*Shenzhen Napel Power Tech*”, creado en 2003 y que se encarga de la fabricación de las baterías de ión-litio, así como baterías VRLA y SLA (plomo-ácido), baterías de plomo-ácido común y baterías GEL.

Tabla 3. Características de una batería de ión litio ^{[22] [23]}.

Densidad de Energía	10,8 – 14,40 MJ/m ³
Rango de Energía	36 · 10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 – 10 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas – Minutos
Ciclos de Carga/Descarga	4500 ciclos
Rendimiento	94 %
Mínimo Estado de Carga	10 %
Coste de Instalación	530 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	3 €/kWh

Uno de los proyectos más actuales que incluyen la utilización de este tipo de tecnología es el denominado “*Proyecto Almacena*”, desarrollado por Red Eléctrica. Este proyecto consiste en la instalación de un sistema de almacenamiento de energía a través de una batería prismática de ión-litio, con una potencia de en torno a 1 MW y una capacidad de al menos 3 MWh, con el objetivo de evaluar las capacidades y las características técnicas que presenta actualmente este tipo de instalaciones como herramienta para mejorar la eficiencia de la operación de los sistemas eléctricos.

El sistema de almacenamiento fue instalado a finales del año 2013 en la subestación de Carmona 400/220kV y está formado por el equipo de almacenamiento electroquímico, el sistema convertidor, los sistemas de comunicación y control, así como una aplicación de usuario. El sistema de almacenamiento se ha instalado en el interior de un contenedor de 16 metros de largo que contiene 30 “racks” de celdas prismáticas de ión-litio, lo que se puede contemplar en la Figura 7.2 ^[27].

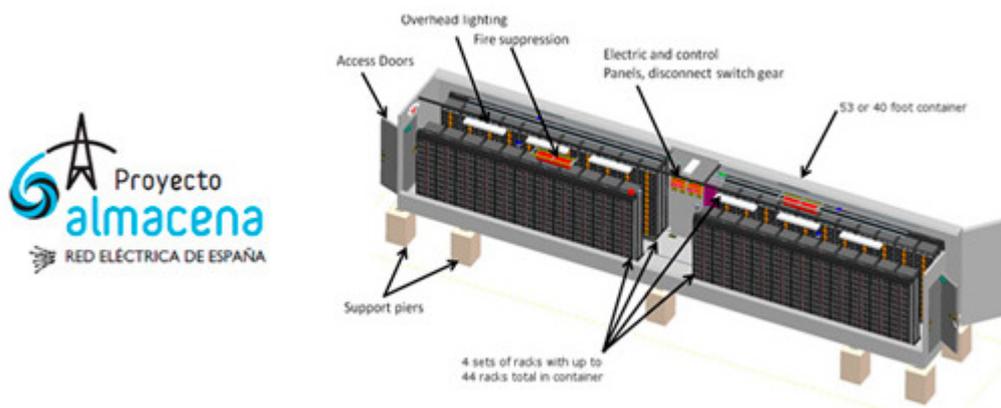


Figura 7.2. Batería de ión-litio empleada en el Proyecto Almacena de REE.

7.2. Batería de Plomo-Ácido

Las baterías de plomo-ácido están compuestas por dos tipos de electrodos de plomo que se encuentran en forma de sulfato de plomo II (PbSO_4) si el sistema está descargado, los cuales se encuentran incrustados en una matriz de plomo metálico (Pb). El electrolito es una disolución de ácido sulfúrico en agua. La Figura 7.3 muestra el funcionamiento de una batería de plomo-ácido^[29].

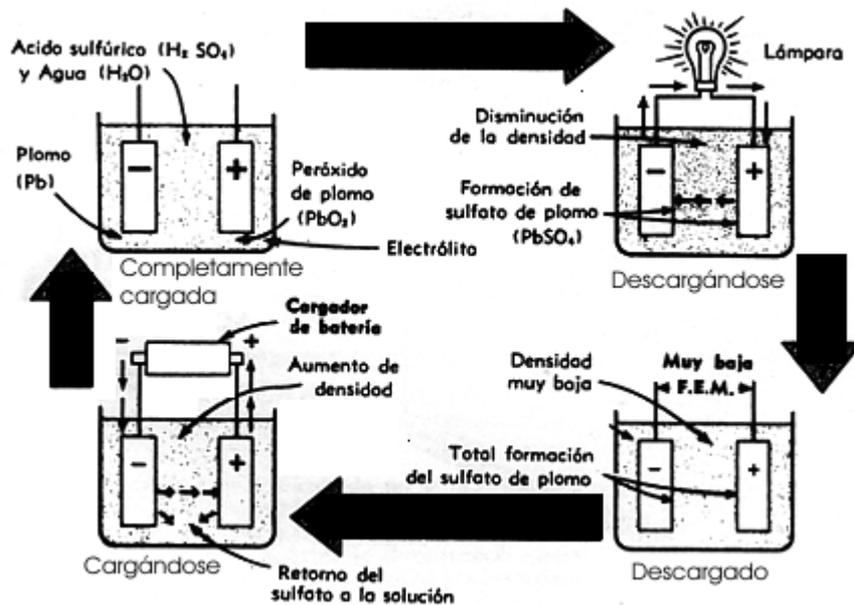
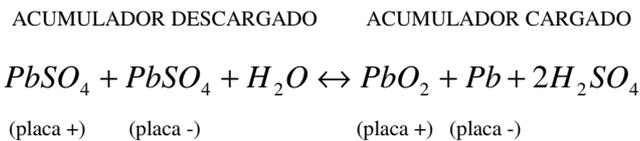


Figura 7.3. Funcionamiento de una batería de plomo-ácido.

Durante la descarga de la batería, la corriente generada causa un cambio de condición a través de la reacción que hace que el bióxido de plomo (PbO_2) de la placa positiva, al combinarse con el ácido sulfúrico (H_2SO_4), forme sulfato de plomo (PbSO_4) y hace que el oxígeno liberado del bióxido de plomo, al combinarse con el hidrógeno liberado del ácido sulfúrico forme agua (H_2O). El plomo (Pb) de la placa negativa se combina con el ácido sulfúrico formando sulfato de plomo (PbSO_4). En consecuencia, la densidad del electrolito disminuye como lo hace la tensión, hasta agotarse la reserva energética.

Cuando el acumulador se carga, la materia activa de la placa positiva está constituida por dióxido de plomo (PbO_2) y la materia activa de la placa negativa está constituida por plomo metálico en estado esponjoso (Pb). El electrolito en este caso es una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y agua (H_2O). Durante la carga, la corriente recibida provoca la reacción inversa a la de descarga, regresando así a la condición inicial de dióxido de plomo en la placa positiva, plomo esponjoso en la placa negativa y ácido sulfúrico en el electrolito aumentando su densidad. La tensión de la batería aumenta hasta un valor que genera la separación del hidrógeno y oxígeno liberado de la placa positiva y negativa.

Las reacciones que tienen lugar son las que se muestran a continuación. De izquierda a derecha se muestra las reacciones que tienen lugar en el acumulador durante la carga y de derecha a izquierda se muestra las reacciones que tienen lugar en la descarga.



Las baterías de plomo-ácido son las más maduras comercialmente a nivel mundial. En consecuencia, presentan un mayor desarrollo tecnológico y un menor coste de inversión. Sin embargo, esta tecnología presenta algunos inconvenientes como la necesidad de unos complejos requisitos de mantenimiento, así como que la energía que pueden descargar no es fija, sino que depende del mínimo estado de carga admisible por cada batería.

Las baterías avanzadas de plomo-ácido están consiguiendo paliar estos inconvenientes con el objetivo de aplicarlas en sistemas para la integración de energías renovables en el sistema eléctrico. Alcanzan un rendimiento del 90%, con un estado mínimo de carga del 20%. Su costes de adquisición ascienden a unos 360 €/kWh, mientras que sus costes de operación y mantenimiento están en torno a 2 €/kWh. Se encuentran todavía en fase de desarrollo.

Entre los principales fabricantes de esta tecnología destacamos a “*Yuasa Battery*”, el cual se centra en la fabricación de baterías para uso industrial, telecomunicaciones, UPS y otras aplicaciones de gran potencia. Otro de los principales fabricantes a destacar es “*Exide Technologies*”, el cual fabrica una gran variedad de baterías para aplicaciones de potencia con capacidades de entre 50 y 5000 Ah y una vida útil de 25 años.

Tabla 4. Características de una batería de plomo-ácido ^{[22][23]}.

Densidad de Energía	60 – 180 MJ/m ³
Rango de Energía	144·10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 – 10 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas – Minutos
Ciclos de Carga/Descarga	2500 ciclos
Rendimiento	90 %
Mínimo Estado de Carga	20 %
Coste de Instalación	360 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	2 €/kWh

Uno de los proyectos más actuales que incluyen la utilización de este tipo de tecnología es el llevado a cabo por la empresa “*Duke energy Reneables*”, en el que instaló 36 MW de almacenamiento de energía y su correspondiente sistema de control en la planta eólica Notrees en el oeste de Texas (EEUU) como se puede apreciar en la Figura 7.4^[30]. Dicho sistema estuvo operativo por completo en el mes de diciembre de 2012.



Figura 7.4. Sistema de almacenamiento con baterías de plomo-ácido en Texas.

7.3. Batería de Sodio-Sulfuro

Los materiales activos en este tipo de baterías son el azufre fundido como cátodo y el sodio fundido como ánodo. Dichos electrodos se encuentran separados por un material cerámico en estado sólido que sirve de electrolito, a través de éste pasan únicamente los iones de sodio con carga positiva. La Figura 7.5 muestra las partes de una batería como la descrita^[31].

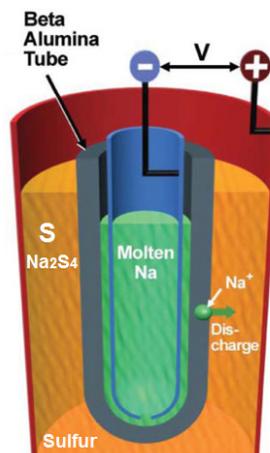


Figura 7.5. Partes de una batería de sodio-sulfuro.

Durante la descarga los electrones salen del sodio metal, dando lugar a la formación de iones de sodio con carga positiva que pasan a través del cerámico al electrodo positivo. Los electrones que salen del sodio metal se mueven a través del circuito y vuelven de nuevo a la batería a través del electrodo positivo, donde son absorbidos por el azufre fundido para formar polisulfuro. Los iones de sodio con carga positiva desplazados al electrodo positivo equilibran el flujo de carga de los electrones. Durante la carga, el proceso es el inverso del descrito. Este funcionamiento se muestra en la Figura 7.6 ^[32].

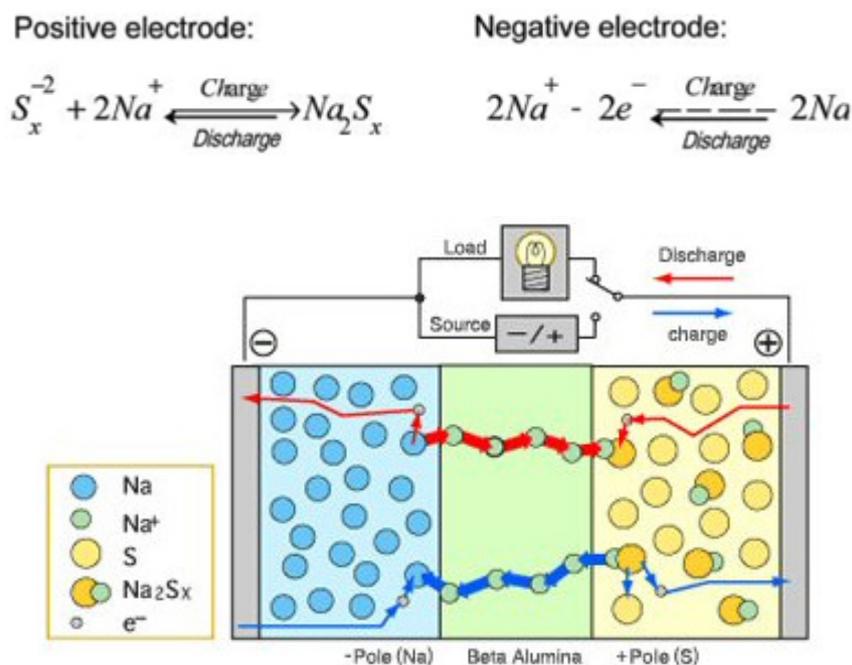


Figura 7.6. Funcionamiento de una batería de sodio-sulfuro.

Estas baterías necesitan un aporte de calor para mantenerse a temperaturas superiores a 300°C, lo cual supone que los sistemas encargados de aportar este calor se consideran parte integrante de la propia batería. Tienen un estado mínimo de carga del 10%, con un rendimiento del 80 %, y con un total de 4500 ciclos equivalentes como vida útil. Sus costes de adquisición están en los 285 €/kWh y los costes de operación y mantenimiento están en torno a los 3 €/kWh.

Cabe destacar que esta tecnología aún se encuentra en una fase de desarrollo. Empresas japonesas como TEPCO y NGK Insulators llevan 25 años desarrollando esta tecnología. Actualmente el único fabricante de este tipo de baterías es la empresa “NSK Insulators”, de manera que no existen muchas instalaciones que utilicen esta tecnología por ahora. La mayor instalación de baterías de sodio sulfura se encuentra actualmente en un parque eólico de 51 MW en Japón, la cual tiene una capacidad de 12 MWh (2MW en 6 horas), la cual se muestra en la Figura 7.7 ^[32].

Tabla 5. Características de una batería de sodio-sulfuro ^[22] ^[23].

Densidad de Energía	540 MJ/m ³
Rango de Energía	172,8 · 10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 – 10 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas
Ciclos de Carga/Descarga	4000-5000 ciclos
Rendimiento	80 %
Mínimo Estado de Carga	10 %
Coste de Instalación	285 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	3 €/kWh



Figura 7.7. Instalación de 12 MWh de baterías de sodio-sulfuro en Japón.

7.4. Batería de Redox de Vanadio

Una batería de flujo es aquella en la que el electrolito, que contiene una o más especies electroactivas, fluye a través de la celda electroquímica que se encarga de convertir la energía química en electricidad. Puede almacenarse más cantidad de electrolito en unos tanques externos y bombearse dentro de los *stacks* de celdas. Estas baterías se recargan rápidamente sustituyendo el electrolito o revertiendo la reacción redox. Por lo tanto, la capacidad energética del sistema está determinada por el tamaño de los tanques y la potencia por el tamaño del *stack*, siendo ambos parámetros independientes y escalables.

Las baterías redox de vanadio son las más desarrolladas tecnológicamente dentro de las baterías de flujo. La energía se almacena mediante iones cargados que se encuentran en dos tanques de electrolito separados, de forma que uno de ellos contiene electrolito para las reacciones de electrodo positivo y el otro para las reacciones de electrodo negativo. Estas baterías emplean pares redox de vanadio disueltos en mezclas diluidas de ácido sulfúrico: en el electrodo negativo se encuentra el par V^{2+}/V^{3+} y en el positivo el par V^{4+}/V^{5+} . La Figura 7.8 muestra este proceso de funcionamiento ^[33].

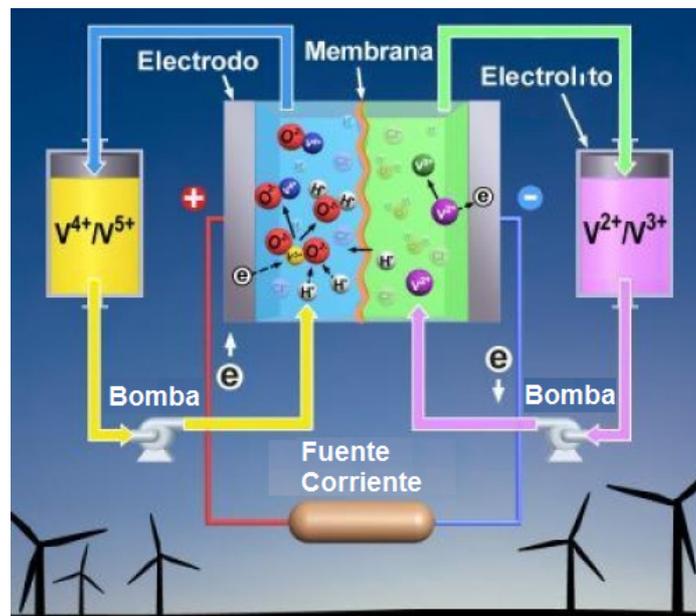


Figura 7.8. Funcionamiento de una batería redox de vanadio.

Cuando se necesita descargar energía de la batería, el electrolito fluye hacia una celda redox con electrodos generándose la corriente. Esta reacción electroquímica se invierte cuando se aplica una sobretensión, como en las baterías convencionales, permitiendo al sistema efectuar cargas y descargas repetidamente.

Los sistemas de baterías redox de vanadio pueden diseñarse para suministrar energía en un rango de tiempo que va desde las 2 horas hasta las 8 horas. Los fabricantes de este tipo de baterías estiman una vida media del sistema de unos 20 años, mientras que la vida media de los electrolitos alcanza los 25 años.

Este tipo de baterías redox de vanadio tienen un rendimiento aproximadamente del 90% y pueden llegar a alcanzar una profundidad de descarga del 100%. Su número de ciclos equivalentes a lo largo de la vida útil está alrededor de los 20.000 ciclos, una cifra muy alta comparada con las baterías estudiadas anteriormente. Sin embargo, los costes de adquisición se sitúan alrededor de los 700 €/kWh y los costes de operación y de mantenimiento tienen valores cercanos a los 10 €/kWh.

Para proyectos que requieran una capacidad de almacenamiento del orden de los MWh hay que tener en cuenta que el tamaño de los tanques de electrolito necesarios tiende a ser muy grande. Además, debe destacarse que es necesario mantener los electrolitos a 300 °C para que el proceso pueda desarrollarse correctamente.

Tabla 6. Características de una batería redox de vanadio ^[22] ^[23].

Densidad de Energía	54-65 MJ/m ³
Rango de Energía	36·10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 – 100 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas
Ciclos de Carga/Descarga	20.000 ciclos
Rendimiento	90 %
Mínimo Estado de Carga	5 %
Coste de Instalación	700 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	10 €/kWh

Actualmente esta tecnología, a pesar de estar en pleno desarrollo, se está comenzando a integrar en los llamados “sistemas en isla” en India, donde se pretende suministrar la energía eléctrica únicamente a través de paneles fotovoltaicos sin necesidad de conexión a la red eléctrica. Este proyecto se puso en marcha en el año 2012.

La Figura 7.9 muestra el aspecto de los contenedores de las baterías redox de vanadio que se están empleando para dicho objetivo en India, cuya fabricación corre a cargo de la empresa “American Vanadium”.



Figura 7.9. Aspecto de las baterías redox de vanadio utilizadas en India.

7.5. Batería de Redox de Zinc-Bromo

Las baterías redox de Zinc-Bromo son otro tipo de baterías de flujo, tal y como lo era el anterior tipo de batería estudiado. En la Figura 7.10 se muestra cómo funciona este tipo de sistemas de almacenamiento de energía.

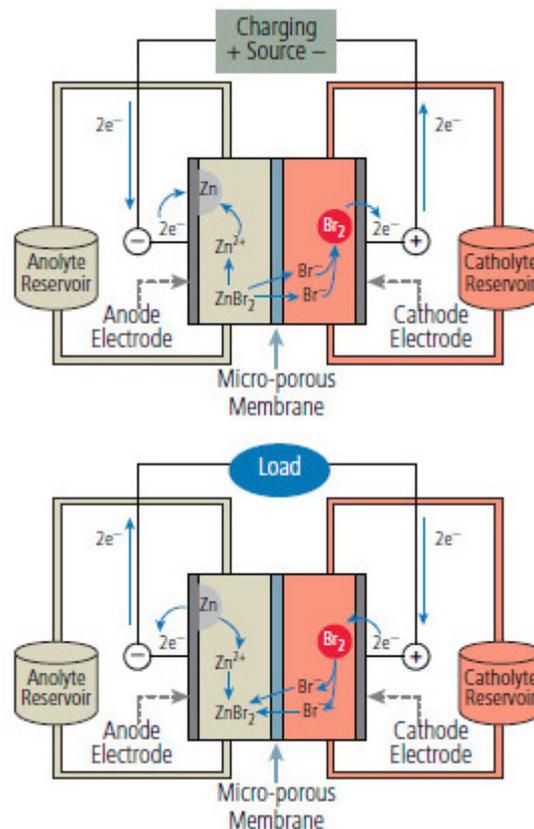


Figura 7.10. Funcionamiento de una batería redox de zinc-bromo.

En cada celda de una batería de zinc-bromo fluyen dos electrolitos diferentes a través de electrodos en dos compartimientos separados por una membrana porosa.

Durante el proceso de descarga, el zinc se carga positivamente (Zn^{2+}) y el bromo pasa a ser bromuro (Br^-), del cual se obtiene el bromuro de zinc ($ZnBr_2$). El proceso químico que se utiliza para generar esta corriente eléctrica incrementa las concentraciones de iones cargados tanto de zinc como de bromuro en ambos tanques de electrolito.

Durante el proceso de carga, el zinc se deposita en una fina capa al lado del electrodo, mientras que el bromo se desprende como una solución diluida al otro lado de la membrana, reaccionando con los otros compuestos en solución (aminas) para formar un compuesto denso y viscoso que precipita al fondo del tanque.

Las baterías redox zinc-bromo están menos desarrolladas tecnológicamente que las de vanadio. Se caracterizan por presentar un rendimiento alrededor del 75% y una vida útil de 12000 ciclos equivalentes al 90% de descarga máxima. El coste de operación se sitúa en torno a los 385 €/kWh y el coste de mantenimiento alrededor de los 13 €/kWh.

Entre los principales fabricantes de esta tecnología destacamos a “RedFlow”, el cual se centra en la fabricación de baterías de flujo de zinc-bromuro cuyas características son la capacidad de carga/descarga profundas diarias, ideal para el almacenamiento y traslado de las energías renovables intermitentes, para gestionar picos de carga en la red y para el apoyo fuera de la red sistemas de energía (tipo "isla").

Tabla 7. Características de una batería redox de zinc-bromo ^{[22][23]}.

Densidad de Energía	72-108 MJ/m ³
Rango de Energía	36·10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 – 100 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas
Ciclos de Carga/Descarga	12.000 ciclos
Rendimiento	75 %
Mínimo Estado de Carga	10 %
Coste de Instalación	385 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	13 €/kWh

En el mes de febrero de 2016, “Jofemar Energy”, la división de la Corporación Jofemar especializada en eficiencia y almacenamiento energético, ha concluido el proyecto “Flow Grid”, que comenzó en 2012, con la presentación de la primera versión de sus baterías de flujo Zn-Br de 10 y 60 kWh. Se trata de un proyecto de investigación y desarrollo cuyo objetivo era desarrollar las baterías de flujo redox Zn-Br para almacenamiento energético y su posterior integración en Smart-Grids y aplicaciones estacionarias.

Las baterías que fabrica Jofemar Energy son sistemas de almacenamiento energético que actúan como estabilizadores de la red, garantizando la calidad y la fiabilidad en el suministro y proporcionando un soporte a la operación de la red. Además, pueden evitar problemas de sobrecargas y compensar la variabilidad de los recursos renovables y su integración en la red. Con un coste estimado de 200 €/kWh, son totalmente configurables y adaptables a la demanda o especificaciones de los clientes, reciclables y favorables medioambientalmente, además de fácilmente integrables en el entorno. Son baterías de bajo coste y emplean materiales reciclables y respetuosos con el medioambiente. Puede verse el aspecto que presentan estos módulos en la Figura 7.11 ^[36].



Figura 7.11. Módulos de batería de flujo de zinc-bromo de Jofemar Energy.

4.6. Resumen Características de Distintas Tecnologías de Baterías

Se ha estudiado hasta cinco tipos de tecnologías para el almacenamiento de energía en forma de baterías, cada una de las cuales presentan unas determinadas características de uso y unos costes de instalación y mantenimiento diferentes. Todas estas características se recogen en una sola tabla en la que poder realizar la comparación entre cada una de las tecnologías estudiadas.

Tabla 8. Tabla resumen de las características de las baterías estudiadas.

	Ión-Litio	Plomo - Ácido	Sodio - Sulfuro	Redox Vanadio	Redox Zn-Br
Densidad de Energía (MJ/m ³)	10,8-14,4	60 – 180	540	54-65	72-108
Rango de Energía (MJ)	36·10 ³	144·10 ³	172,8·10 ³	36·10 ³	36·10 ³
Rango de Potencia (MW)	0,1 – 10	0,1 – 10	0,1 – 10	0,1 – 100	0,1 – 100
Tiempo Carga y Descarga	H - min	H - min	Horas	Horas	Horas
Ciclos de Carga/Descarga	4500	2500	4500	20.000	12.000
Rendimiento (%)	94 %	90 %	80 %	90 %	75 %
Mínimo Estado de Carga (%)	10 %	20 %	10 %	5 %	10 %
Coste de Instalación (€/kWh)	530	360	285	700	385
Coste Mantenimiento (€/kWh·año)	3	2	3	10	13

Debemos señalar que el rendimiento que se indica en las tablas del presenta apartado es el correspondiente al producto del rendimiento de carga y descarga de la batería, del rendimiento del inversor y del rectificador (que se consideran integrados en la batería) y del rendimiento del transformador conectado a la red (incluyendo pérdidas en cables).

Por otro lado, debemos definir como el mínimo estado de carga aquel estado de carga de la batería por debajo del cual puede sufrir daños estructurales.

De esta manera, cuando se realicen en los siguientes apartados los cálculos pertinentes, se tomarán en consideración dichos valores para que el estudio refleje la mayor realidad posible.

8. Estudio de Costes de Desvíos de Energía

El estudio del presente proyecto tiene como objetivo principal la realización de un análisis económico para determinar si resultará viable la instalación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica en un parque eólico para hacer frente a los excesos y defectos de producción de energía con respecto al horizonte temporal programado, los cuales se van a traducir en unos costes asociados a los desvíos de energía que hay que realizar en los casos en los que la producción de energía no coincida con la previsión que se haya realizado.

Para la realización del estudio debemos fijar un horizonte temporal en el que realizar el análisis. Se plantea la posibilidad de elegir como horizonte temporal un día completo, pero se desestima puesto que dicho horizonte temporal no llega a ser representativo ya que, entre otros aspectos, no reflejaría que la demanda de energía varía según si se trata de un día laborable o de un fin de semana. Por lo tanto, se decide ampliar el horizonte temporal a una semana completa, donde poder reflejar con mayor realidad la variación de la demanda de energía en el mercado.

La elección de la semana que se tomará de base para realizar el estudio se obtiene de forma aleatoria, pero siempre teniendo en cuenta que debe ser cercana a la fecha en la que se realiza este estudio para que presente la mayor realidad posible. Por ello se toma como semana de referencia para el presente estudio la comprendida entre las 0:00 horas del lunes 21 de Marzo de 2016 y las 0:00 horas del lunes 28 de Marzo de 2016.

Una vez definido el horizonte temporal objeto de estudio, se realiza una búsqueda de los datos de producción de energía del Parque Eólico Experimental Sotavento durante dicha semana^[21]. La web “www.sotaventogalicia.com” dispone de un servicio de base de datos de una gran variedad de magnitudes en su apartado “*Datos en Tiempo Real*” que es accesible para cualquier interesado. En dicho apartado existe una sección en la que se encuentra una base de datos con históricos de los días anteriores, seleccionaremos por lo tanto en dicho apartado el periodo de tiempo correspondiente a la semana comprendida entre las 0:00 horas del lunes 21 de Marzo de 2016 y las 0:00 horas del lunes 28 de Marzo de 2016.

Los datos que facilita dicha página web pueden presentarse en formato diezminutal, en formato horario o en formato diario. Elegiremos el formato diezminutal para que nuestro estudio se ajuste lo máximo posible a la realidad.

Una vez elegido el periodo horario correspondiente, la página web nos muestra datos de una gran cantidad de magnitudes relacionadas con la producción de energía en dicho parque eólico durante dicho periodo de tiempo: rosa de las velocidades del viento y su frecuencia, gráficas de velocidades de viento y dirección del viento, gráficas de energía producida, entre otros. En la parte final se encuentra todos los datos anteriores recogidos en una tabla, valores que emplearemos para realizar el estudio.

De todas las magnitudes presentadas en dicha página web, tomaremos los datos de la producción real de energía eléctrica que tuvo lugar en dicha semana. La Figura 8.1 refleja la gráfica proporcionada por la web^[21] en la que se puede ver la energía producida durante la semana comprendida entre las 0:00 horas del lunes 21 de Marzo de 2016 y las 0:00 horas del lunes 28 de Marzo de 2016. Los valores numéricos de esta gráfica pueden consultarse en el Anexo V del presente documento.



Figura 8.1. Energía producida en la semana de estudio en el parque eólico.

Una vez obtenidos los datos de la producción de energía en el parque eólico, se procede a realizar la búsqueda de la energía que estaba prevista generar en ese periodo de tiempo. Para ello, dentro de la sección “*Datos en Tiempo Real*” existe otro apartado denominado “*Predicción*”, donde se accede a gráficas que muestran la diferencia entre la energía prevista producir (azul) y la producción que realmente tuvo lugar (roja). La Figura 8.2 muestra la gráfica citada para la semana objeto de estudio^[21]. Destacar que los datos de predicción de producción de energía se realizan para una semana vista a partir del día y la hora en la que se seleccione de comienzo de la gráfica. En caso de que este comienzo sea anterior a una semana de la fecha actual, aparecerá también la producción real.

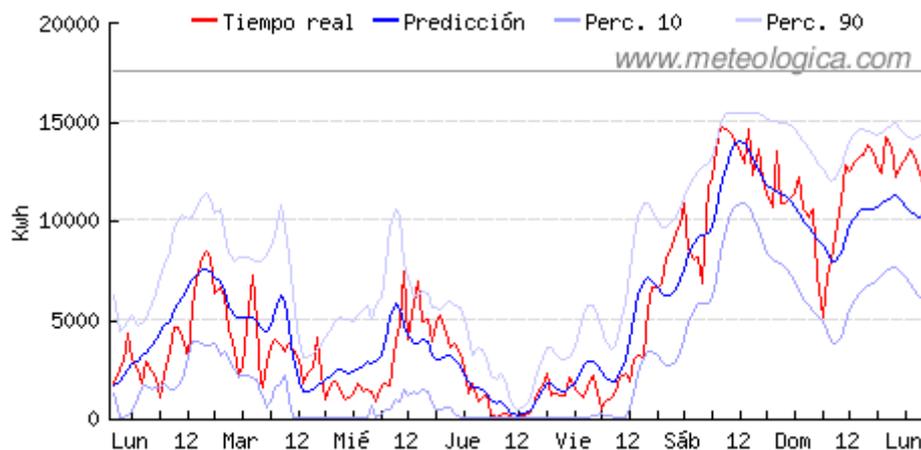


Figura 8.2. Energía prevista y real producida en la semana de estudio.

Los datos de la gráfica de la Figura 8.2 sobre la predicción de energía y la producción de energía real pueden consultarse en el Anexo V. En base a dichos datos se construye una hoja de cálculo en Excel para poder presentar una gráfica con mayor precisión que la que se ha presentado anteriormente y para poder realizar los cálculos pertinentes. En la Figura 8.3 se muestra la gráfica obtenida con el software Excel, en la que trasladan los datos anteriores de la gráfica de la Figura 8.2 que compara la previsión de energía a producir y la energía real producida durante la semana de estudio.

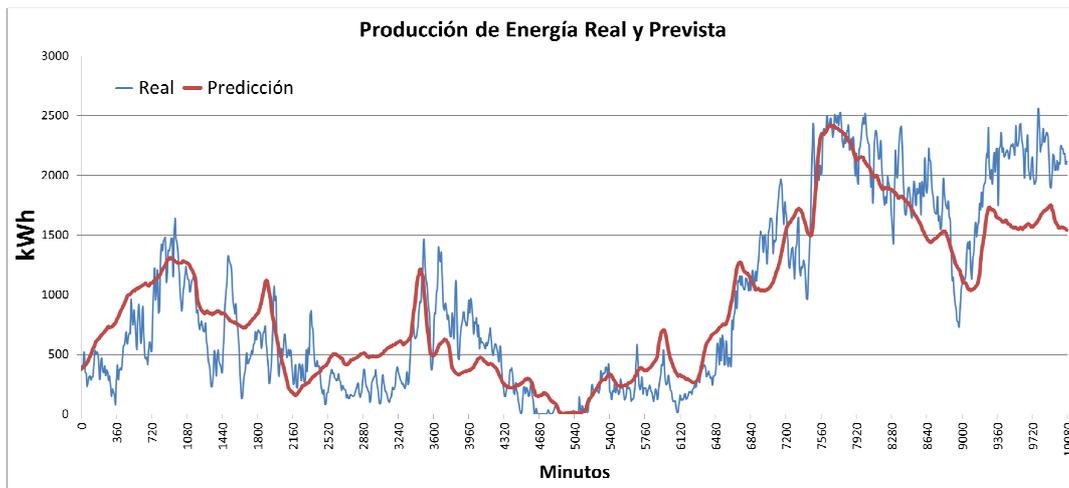


Figura 8.3. Producción de energía real y prevista en la semana de estudio.

Como se puede apreciar en la gráfica de la Figura 8.3, no existe prácticamente ninguna coincidencia temporal entre la energía prevista y la realmente producida. La Figura 8.4 muestra las cantidades de energía en la que difieren la predicción y la realidad a lo largo de la semana de estudio ($E_{Real} - E_{Prevista}$). Destacar que el valor promedio de los desvíos no es nulo, se sitúa en un valor de 6,4 kWh, como indica la línea continua roja.

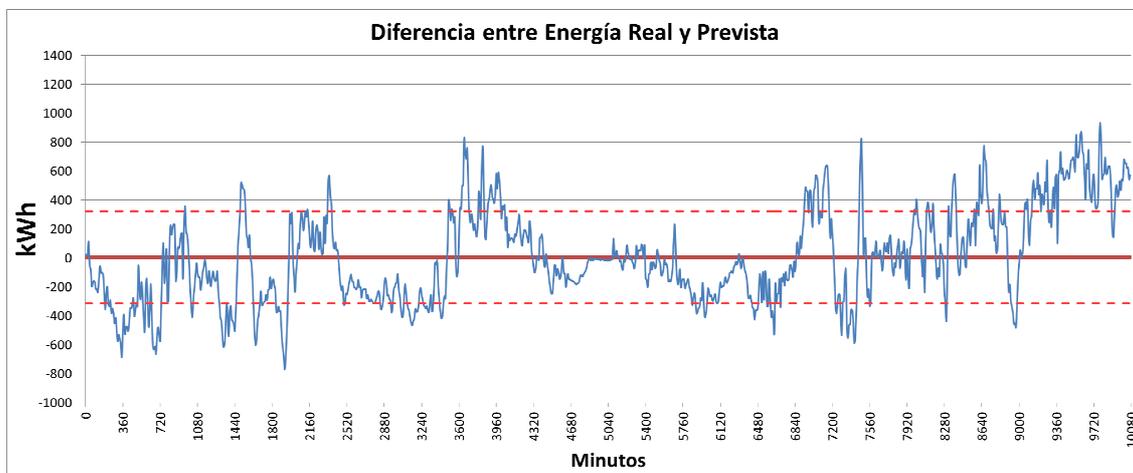


Figura 8.4. Diferencia entre energía real y prevista en la semana de estudio.

En la gráfica de la Figura 8.4 se comprueba que existen tramos en los que la diferencia entre la energía real y la prevista es negativa, de forma que se necesita más energía para cubrir la previsión realizada, y tramos en los que es positiva, de forma que sobra energía respecto a la previsión realizada. El valor máximo positivo se sitúa en 934,19 kWh y el valor máximo negativo en -768,48 kWh, el valor medio es de 6,4 kWh y la desviación típica resulta ser de 318,95 kWh.

El parque eólico presenta sus ofertas al operador del mercado con la energía que éste prevea que vaya a producir al día siguiente. Una vez realizada la sesión correspondiente del mercado diario, se establecen los precios de la energía por hora y al parque eólico le corresponderá como beneficio el producto de la energía que haya ofertado y el precio de dicha energía para cada una de las horas en las que haya presentado oferta y el mercado la haya aceptado.

Dado que a lo largo del transcurso del día en cuestión la energía que realmente se llega a producir es diferente a la previsión realizada, existen penalizaciones para el productor de energía para una producción superior a la prevista como para una inferior. Este tipo de penalizaciones se traducen en una serie de pagos al operador de mercado y cobros de menor cuantía por parte del operador de mercado que, consecuentemente, reducirá el beneficio final obtenido.

8.1. Procedimiento de Cálculo de Costes de los Desvíos de Energía

La forma en la que se van a calcular los costes de los desvíos de energía se detalla en este apartado. Para ello, debemos de tener en cuenta que dichos costes dependerán de la necesidad que tenga el sistema eléctrico en su conjunto, ya que su cálculo es diferente si el sistema eléctrico necesita una mayor energía que la programada o si, por el contrario, necesita una menor energía que la programada.

a) **CASO I:** El sistema eléctrico necesita una energía superior a la programada.

En caso de que el sistema eléctrico necesite que la producción aumente para cubrir la mayor demanda existente respecto a la prevista, si nuestra planta de generación de energía eléctrica está produciendo una energía superior a la prevista, esta energía será pagada al precio del mercado diario y, por consiguiente, esta situación no representa pérdidas de ingresos para la planta de producción.

Por el contrario, si la planta de generación de energía eléctrica está produciendo una energía inferior a la prevista, habrá una penalización que pagar por esa diferencia de energía entre la prevista y la real producida (que es menor) a un precio superior al del mercado diario, lo cual conlleva un coste para la planta de producción.

Si consideramos que la cantidad de energía que ha sido prevista producir es “ x ” y la cantidad de energía realmente producida es “ y ” (la cual es menor que la prevista), si el precio del desvío a bajar es “ $PDSVB$ ” (que será mayor que el precio del mercado diario “ PMD ”), el coste que supone dicho desvío para la planta se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\text{Coste} = (PDSVB - PMD) \cdot (x - y) \quad (8.1)$$

b) CASO II: El sistema eléctrico necesita una energía inferior a la programada.

En el caso de que el sistema eléctrico necesite que la producción disminuya puesto que la demanda existente es menor que la prevista, si nuestra planta de generación de energía eléctrica está produciendo una energía inferior a la prevista, esta energía que falta hasta la prevista no estará penalizada, de forma que el operador de mercado nos pagará la cantidad de energía que estemos produciendo al precio del mercado diario (contra menos energía produzcamos, menos ingresos obtendremos). Por lo tanto, esta situación no representa coste alguno para la planta de producción.

Por el contrario, si la planta de generación de energía eléctrica está produciendo una energía superior a la prevista, habrá una penalización que consiste en que el operador de mercado nos pagará por ese excedente de energía respecto al previsto a un precio inferior al del mercado diario, lo cual conlleva una pérdida de ingresos en la planta, es decir, un coste para la planta.

Si consideramos que la cantidad de energía que ha sido prevista producir es “ x ” y la cantidad de energía realmente producida es “ z ” (la cual es mayor que la prevista), si el precio del desvío a subir es “ $PDSVS$ ” (el cual será menor que el precio del mercado diario “ PMD ”), la pérdida de ingresos o coste que supone dicho desvío para la planta se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\text{Coste} = (PMD - PDSVS) \cdot (z - x) \quad (8.2)$$

Cabe destacar que la forma en la que se ha explicado cómo calcular los precios de los desvíos sigue el procedimiento que se describe en el apartado 5.5 del presente proyecto, titulado como “*Costes de los Desvíos*”, donde la Figura 5.4 puede servir como referencia para entender el presente procedimiento.

En el siguiente apartado se describirá la forma en la que se han obtenido los datos que son necesarios para realizar el cálculo de los costes de los desvíos para la semana que es objeto de estudio del presente proyecto. Además se identificarán todas las variables que se han mencionado en las expresiones 8.1 y 8.2, ya que la denominación de las mismas varía según la bibliografía y datos que consultemos.

8.2. Obtención de los Datos y Cálculo de Costes de los Desvíos de Energía

Los datos para la realización de este estudio se obtendrán de Red Eléctrica de España (REE) a través de su *Sistema de Información del Operador del Sistema* (e-sios), ya que según la legislación vigente el operador de mercado está obligado a hacer públicos los resultados de los mercados o los procesos de operación del sistema. Dentro de la página web del Sistema de Información del Operador del Sistema (www.esios.ree.es) existe una base de datos histórica con información acerca de una gran cantidad de variables que es accesible a todo el público.

Para poder acceder a la información entraremos en la sección “*mercados y precios*” de la web del *e-sios*^[37], donde aparecerá una serie de gráficas a tiempo real de las distintas variables que pueden tener mayor interés. En el apartado “*análisis*” de dicha sección se accede a la información histórica de la/s variable/s que se deseen consultar en el periodo de tiempo que se indique. Los valores de las variables pueden ser mostrados por horas, por días, por meses o por años. El resultado se da en forma de una gráfica, cuyos datos pueden ser descargados en formato numérico para su lectura en un fichero con formato CSV o XLS.

En nuestro caso, las variables que nos interesan son el precio de los desvíos a subir y el precio de los desvíos a bajar, así como el precio del mercado diario. En esta plataforma se nombran estas magnitudes de forma algo diferente ya que al precio del desvío a subir se le denomina como “*Precio de Cobro Desvíos a Subir*”, al precio del desvío a bajar se le denomina como “*Precio de Pago Desvíos a Bajar*” y al precio del mercado diario como “*Precio Mercado SPOT Diario España*”. Otra de las magnitudes que también interesa conocer es el sentido de los desvíos contrarios al sistema, la cual se denomina “*Sentido de los Desvíos Contrarios al Sistema*”.

El significado de cada una de las variables que se van a utilizar es el que se describe a continuación:

- **Precio de Cobro Desvíos a Subir:** El precio que cobra el productor de energía por la energía en exceso producida (con respecto a la prevista) cuando el sistema eléctrico necesita disminuir la energía total; dicho precio será inferior o igual al precio del mercado diario, de manera que habrá una pérdida de ingresos para esa energía excedente producida y que se podría haber vendido a precio de mercado diario.
- **Precio de Pago Desvíos a Bajar:** Es el precio que paga el productor de energía por la energía en defecto producida (con respecto a la prevista) cuando el sistema eléctrico necesita aumentar la energía total; dicho precio es superior al precio del mercado diario. Esto supone un coste puesto que esta energía no producida se ha cobrado a precio de mercado diario y se paga a un precio mayor al no producirla.

- **Precio Mercado SPOT Diario España:** Es el precio del mercado diario de la energía, el cual se paga a los productores de energía eléctrica por generarla.
- **Sentido de los Desvíos Contrarios al Sistema:** Indica el sentido contrario a la necesidad del sistema eléctrico en su conjunto. En el caso de que el sistema tenga la necesidad de aumentar la energía, el desvío de sentido contrario al sistema será una producción de energía inferior a la prevista, con lo que se indica con un -1. En el caso de que el sistema tenga la necesidad de disminuir la energía, el desvío de sentido contrario al sistema será una producción de energía superior a la que se ha previsto, con lo que se indica con un +1.

En la plataforma web^[37] se seleccionan las cuatro variables anteriores para los días que conforman la semana objeto de estudio. La gráfica que obtenemos como resultado es la que se muestra en la Figura 8.5. Se puede comprobar que un 54,17 % de la semana de estudio existe una necesidad -1 en el sistema (necesidad de aumentar la energía) y que un 45,83 % existe una necesidad 1 en el sistema (necesidad de disminuir la energía). Los datos de cada una de las variables pueden consultarse en las tablas del Anexo V.

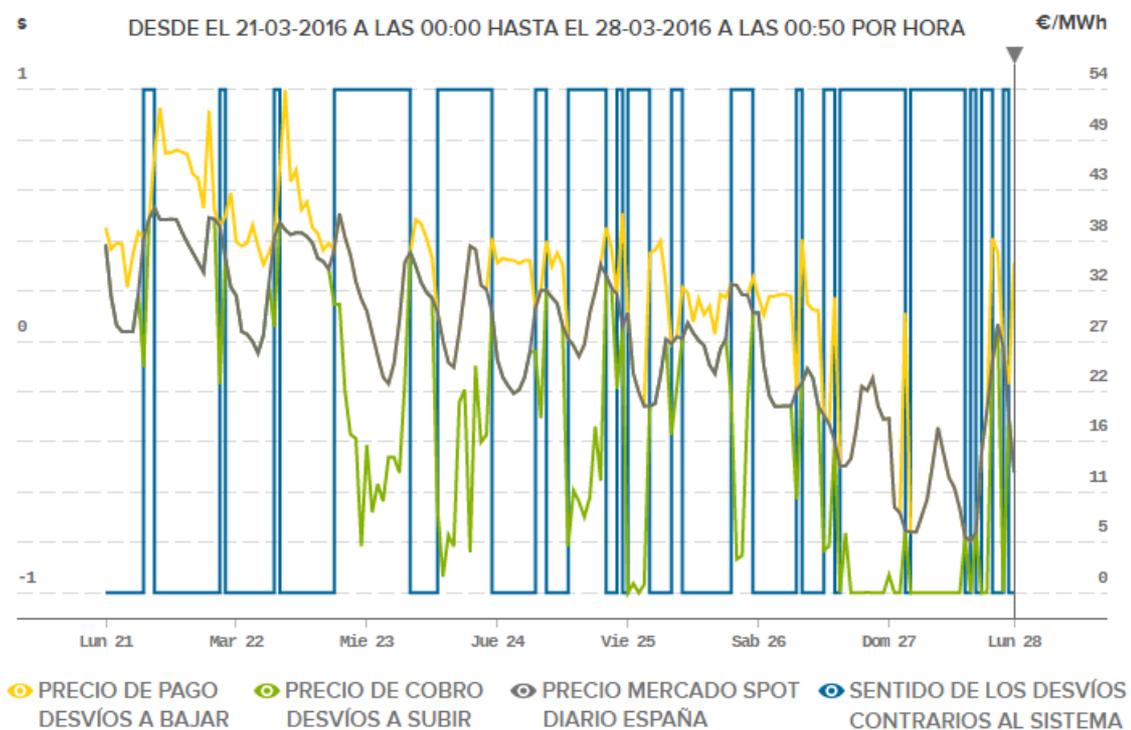


Figura 8.5. Precio de Pago Desvíos a Bajar, Precio de Cobro Desvíos a Subir, Precio Mercado SPOT Diario España y Sentido de los Desvíos Contrarios al sistema en la semana de estudio.

En la gráfica anterior podemos observar cómo cuando el sentido del desvío contrario al sistema es -1, que se corresponde con que el sistema tiene la necesidad de aumentar la energía disponible, el precio de pago de desvíos a bajar es superior al precio del mercado diario mientras que el precio de cobro de desvíos a subir es igual al precio del mercado diario; esto es así puesto que si existe un defecto de energía con respecto a la prevista en una central de producción, el productor debe pagar por no llegar a producirla un precio superior al que ha cobrado por ella previamente.

En el caso contrario, cuando el sentido del desvío contrario al sistema es +1, que se corresponde con que el sistema tiene la necesidad de disminuir la energía disponible, el precio de cobro de desvíos a subir es inferior al precio del mercado diario mientras que el precio de pago de desvíos a bajar es igual al precio del mercado diario; esto se debe a que, si existe un exceso de energía respecto a la prevista en una central de producción, el productor cobrará por ella un precio inferior al precio de mercado diario y se obtienen las consiguientes pérdidas de ingresos al no venderla al precio de mercado diario al que podía aspirar.

Los datos de los precios horarios que se han obtenido de la plataforma web del *e-sios* se han tabulado para periodos de tiempo diezminutales para que se puedan relacionar con los valores de energía prevista y energía real producida de los que partíamos.

Se ha construido una gráfica con dichos valores diezminutales de precio en la que poder visualizar, de forma algo más clara que la Figura 8.5 anterior, la evolución de los precios de la energía durante la semana de estudio que se ha tomado como referencia, lo cual se muestra en la Figura 8.6.

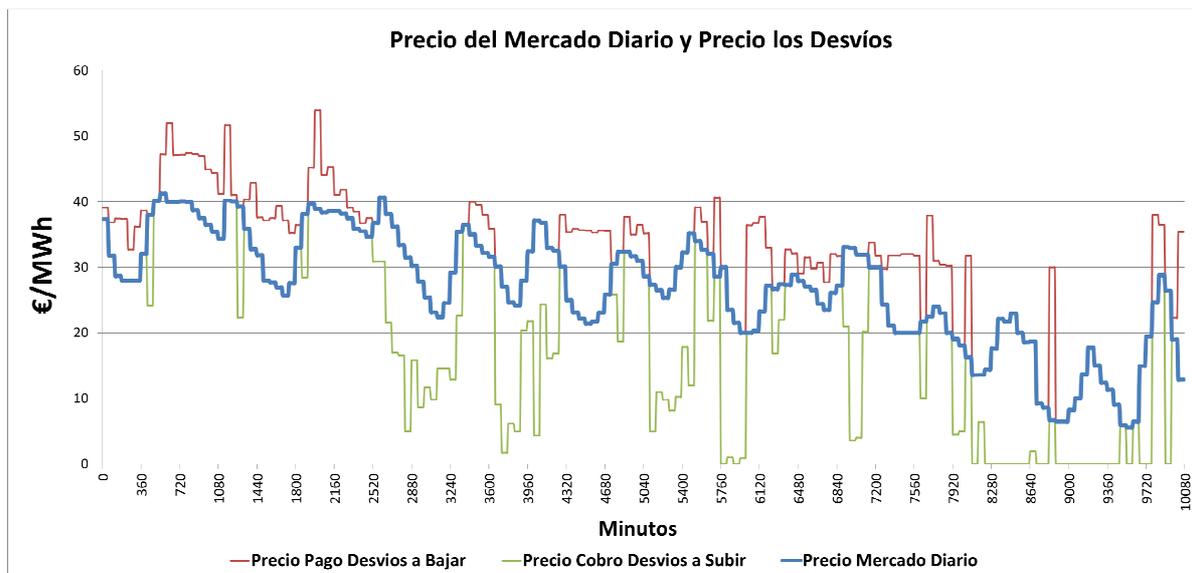


Figura 8.6 Precio de Pago Desvíos a Bajar, Precio de Cobro Desvíos a Subir y Precio Mercado SPOT Diario España en la semana de estudio.

Atendiendo al sentido de los desvíos contrarios al sistema, se realiza un estudio de qué parte de la energía a desviar se encuentra a favor de las necesidades del sistema (por lo que no supone coste para el productor de energía) y qué parte de energía se encuentra en contra de las necesidades del sistema (y supone un coste para el productor de energía). Los resultados de dicho estudio se reflejan en la gráfica de la Figura 8.7. Se comprueba que existe una mayor número de desvíos en contra (59,52%) que de desvíos a favor del sistema (40,48%). En términos de energía, se comprueba que existe una mayor cantidad de energía en contra (159.623,39 kWh) que de energía a favor (100.304,62 kWh).

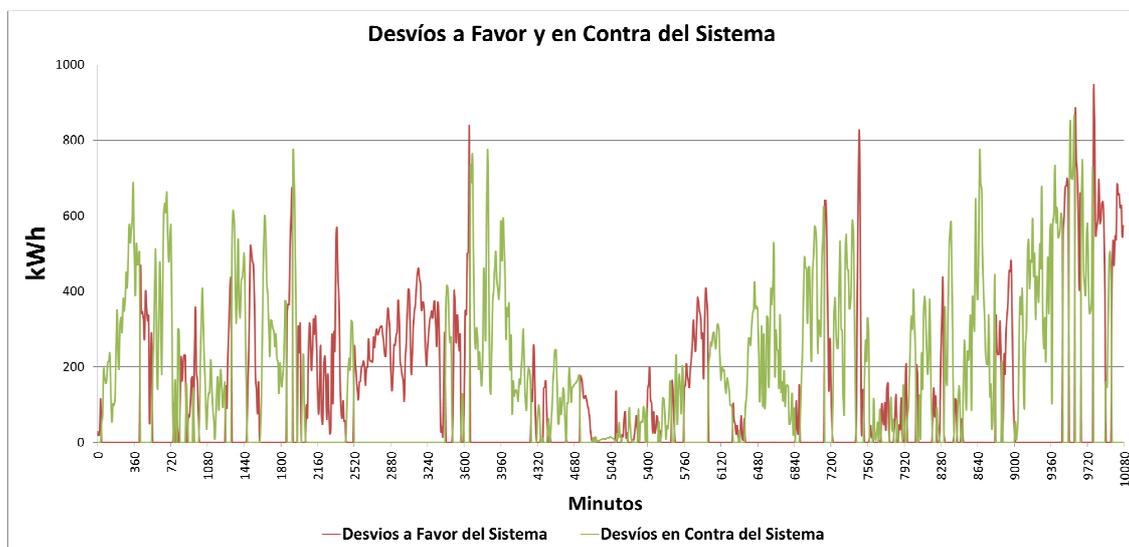


Figura 8.7. Desvíos a favor y en contra del sistema en la semana de estudio.

Los desvíos en contra del sistema son los que conllevan un coste para el productor de energía eléctrica. El valor de dicho coste dependerá de si el desvío en contra es a bajar o es a subir, ya que los precios varían significativamente si consideramos uno u otro. En la gráfica de la Figura 8.8 se comprueba qué parte de dichos desvíos en contra del sistema corresponden a desvíos a bajar y qué parte corresponden a desvíos a subir. Para calcular el coste que supondrá realizar dichos desvíos se emplearán las expresiones 8.1 y 8.2.

En la Figura 8.8 se puede comprobar que existe una mayor cantidad de desvíos a bajar (57,83%) que desvíos a subir (42,17%). El valor medio de la energía en desvíos a bajar es de 228,05 kWh y el valor medio de la energía en desvíos a subir es de 318,14 kWh. La desviación típica de los desvíos a subir es de 204,58 kWh y la de los desvíos a bajar es de 165,35 kWh.

En la Figura 8.9 se muestran los costes de los desvíos en contra del sistema a subir y a bajar por separado. En caso de producirse, el valor medio de los costes de los desvíos a bajar es de 1,80 € y su desviación típica de 1,60 €, mientras que el valor medio de los costes de los desvíos a subir es de 5,03 € y su desviación típica de 3,80 €; estos valores de coste incurrido se producen para cada intervalo de 10 minutos de duración.

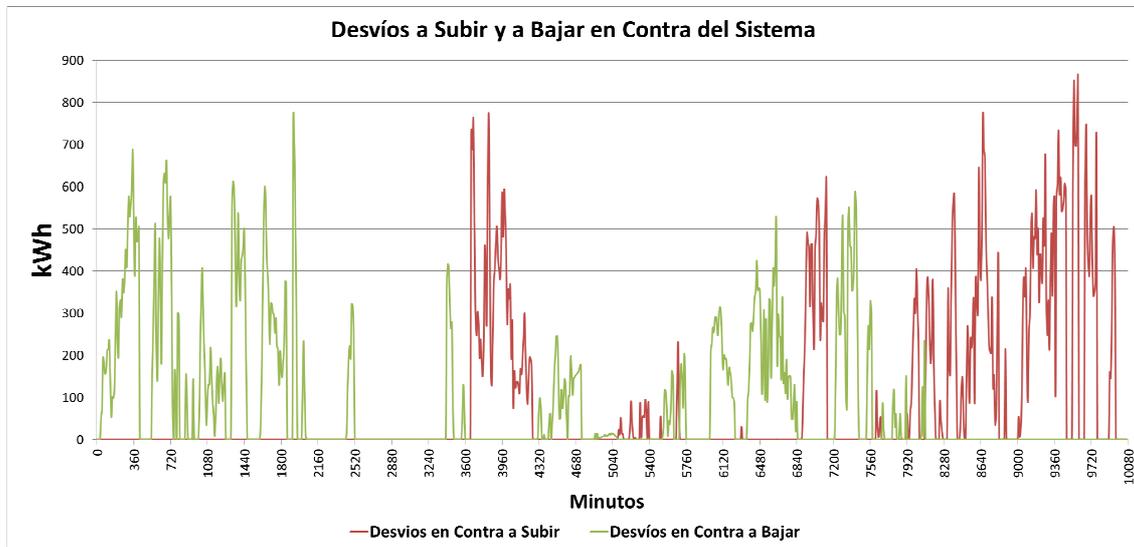


Figura 8.8. Desvíos a en contra del sistema a subir y a bajar en la semana de estudio.

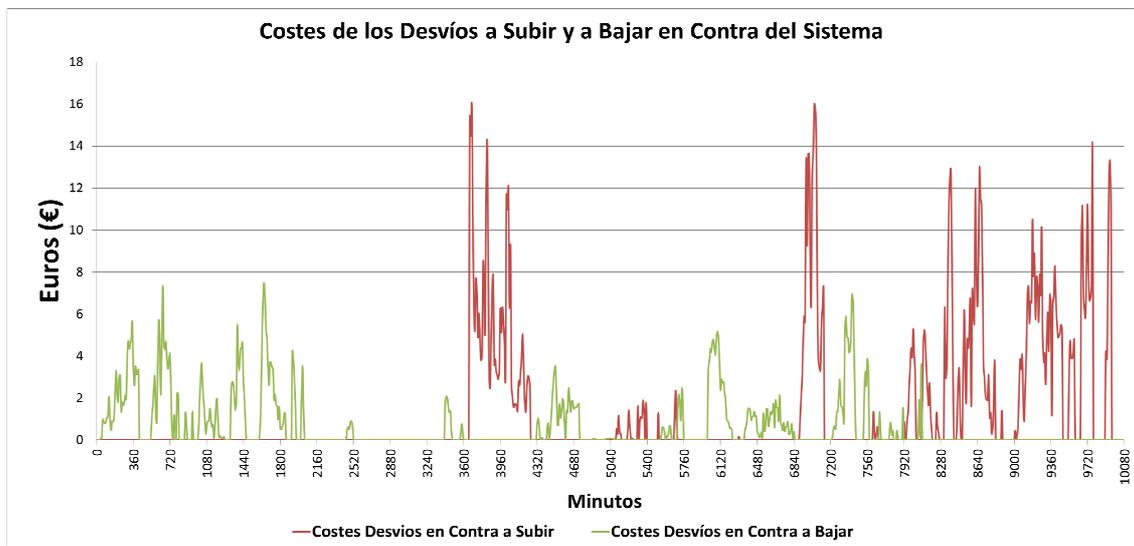


Figura 8.9. Costes de los desvíos a en contra del sistema a subir y a bajar en la semana de estudio.

Como resultado de dichos costes, los valores de unidades monetarias, en este caso €, obtenidos se recogen en la gráfica de la Figura 8.10. En ella se puede comprobar que los costes de los desvíos en contra a subir son mucho más importantes que los costes de los desvíos en contra a bajar en términos monetarios. Por ello, si se desea realizar un ahorro de costes, se debe de investigar la forma en la que poder suplir esta falta de producción de energía mediante sistemas auxiliares de almacenamiento de energía como pueden ser las baterías. Este aspecto es el objetivo principal de análisis del presente proyecto.

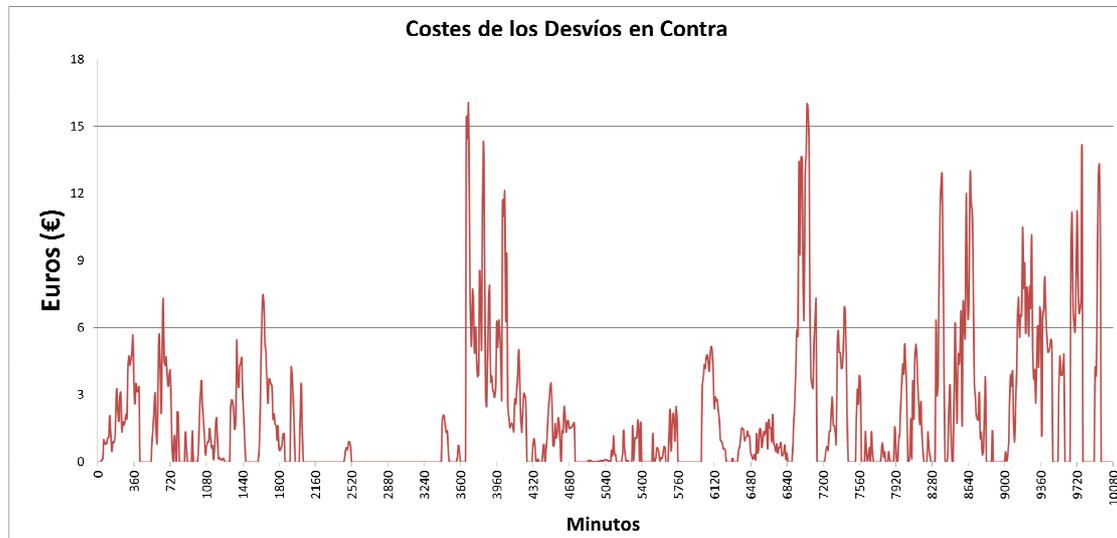


Figura 8.10. Costes de los desvíos en contra del sistema en la semana de estudio.

Si realizamos la suma de todos los costes, la cifra asciende a un total de 1.899,02 € en una semana. Si extrapolamos este valor a las 52 semanas que tiene el año, el valor de los costes totales por los desvíos llegarán a alcanzar una cifra alrededor de los 98.750 €.

Se quiere intentar detallar el proceso de cálculo de los costes de los desvíos a través de la gráfica de la Figura 8.11. Para ello, se ha elegido una franja de cuatro horas en la que se contemplan todos los casos que podemos encontrar a lo largo del periodo de tiempo estudiado, del Miércoles 23/03/2016 entre las 11 y las 15 horas.

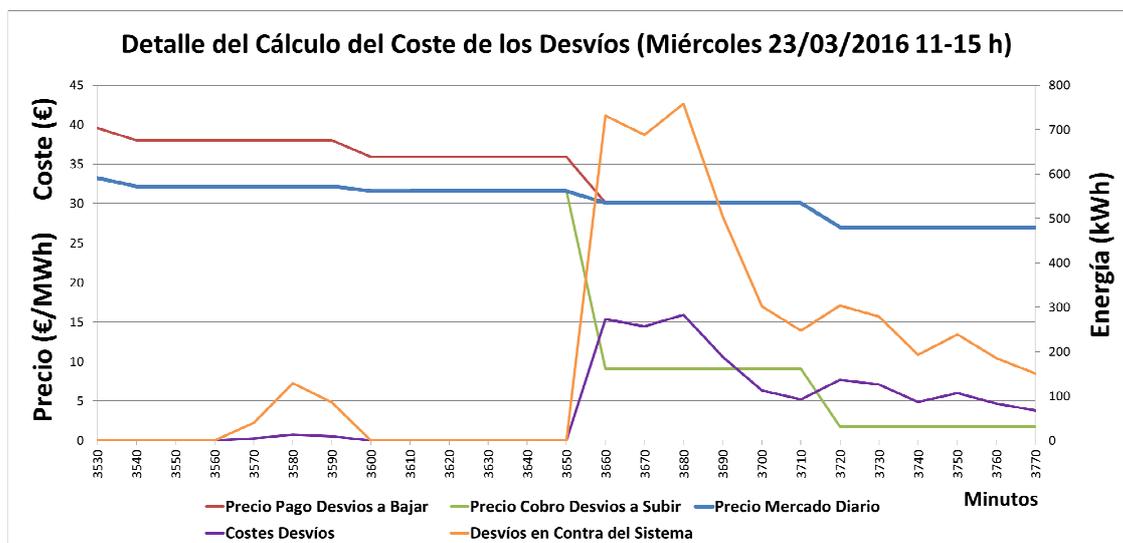


Figura 8.11. Detalle del cálculo de los costes de los desvíos de energía.

En la primera parte de la gráfica se muestra que el precio del pago del desvío a bajar es superior al precio del mercado diario, lo que indica que el sistema necesita un aumento de la energía producida. En aquel tramo horario en el que existe un desvío de energía contrario al sistema (un defecto en la energía producida), el coste de dicho desvío será igual al producto de la energía a desviar y la diferencia entre el precio del desvío a bajar y el precio del mercado diario. Se puede observar que durante ese periodo horario en el que existe dicho desvío el precio del desvío a bajar varía, con lo también lo hace el coste de dicho desvío.

En la segunda parte de la gráfica se produce una inversión de la necesidad del sistema, de manera que ahora éste necesita un descenso de la energía producida y, por lo tanto, el precio de cobro de la energía a subir es menor que el precio del mercado diario. En este instante, toda aquella energía que se produce por encima de la previsión realizada se va a cobrar al precio del desvío a subir, con lo cual se produce una pérdida de beneficios al estar vendiendo la energía producida a un precio mucho más barato. El cálculo del coste asociado a dicho desvío de energía se obtiene multiplicando el valor de la energía a desviar y la diferencia entre el precio del mercado diario y el precio del desvío a subir, lo cual representa ese margen de precio que se pierde. Se puede comprobar que, a medida que varía el valor del desvío, el coste asociado a él lo hace en la misma proporción, tal y como se puede comprobar en la última parte de la gráfica.

Se quiere poner como ejemplo, asimismo, la misma gráfica anterior pero extendida a un día completo. En la Figura 8.12 se muestra dicha gráfica ampliada para todo el día del Miércoles 23/03/2016.

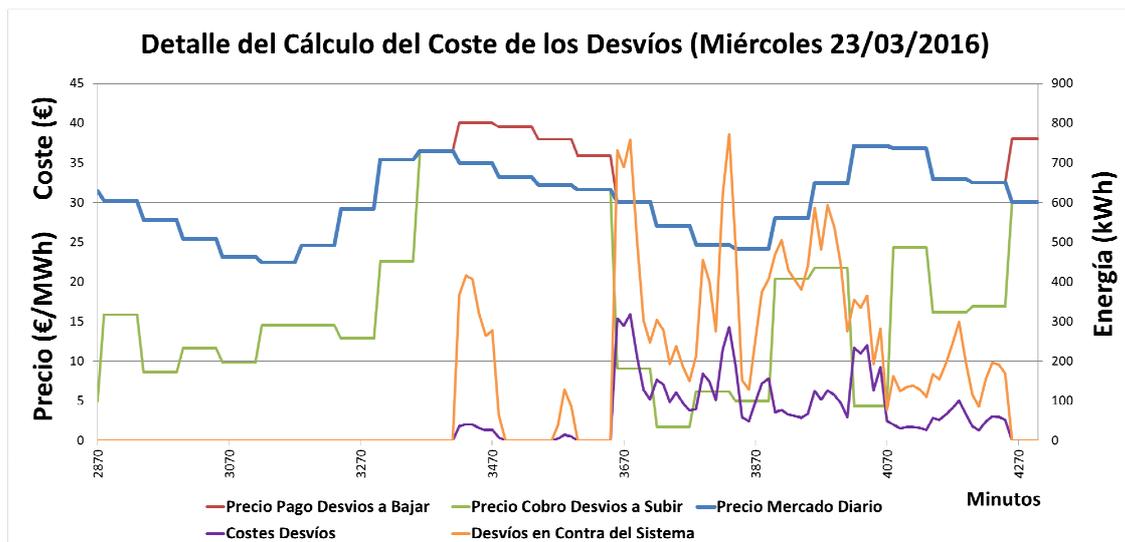


Figura 8.12. Detalle del cálculo de los costes de los desvíos de energía para el día 23/03/2016.

Como finalización de este apartado, se muestra una tabla a modo de resumen con los valores medios, máximos y desviaciones típicas de las energías correspondientes a los desvíos en contra del sistema tanto a subir como a bajar obtenidos en la semana en la que se ha realizado estudio.

Tabla 9. Tabla resumen de los valores de desvíos durante la semana de estudio.

	Valor Medio (kWh)	Valor Máximo (kWh)	Desviación Típica (kWh)	Intervalo de Tiempo (min)
<i>Desvíos a Subir</i>	318,14	855,36	204,58	10
<i>Desvíos a Bajar</i>	228,05	768,48	165,35	10

9. Estudio del Uso Baterías Almacenamiento

El estudio realizado en el apartado anterior pone de manifiesto que existen unos costes asociados a la energía desviada en contra del sistema que pueden ser reducidos de dos formas, bien consiguiendo que la energía producida se acerque mucho a la energía que se ha previsto producir, o bien reduciendo la energía en tramos en los que se tenga que realizar un desvío en contra del sistema al no coincidir con la producción que prevista.

En el primero de los casos se debería de realizar la predicción de la velocidad del viento con la mayor exactitud posible, lo cual, a pesar de que existen numerosos métodos de predicción meteorológica y software de predicción meteorológica, los resultados que se obtienen no llegan a ser todo lo exactamente necesarios. En esto influye notablemente la gran variabilidad de los vientos, así como de los modelos meteorológicos de una hora con respecto a la siguiente, sobretodo en estaciones del año como primavera y otoño. En zonas de interior el error relativo medio de las predicciones de viento que se comete a lo largo del año es del 18%, con valores máximos de hasta 40% (aunque en zonas de costa estos valores casi se triplican)^[38]. Es por todo ello por lo que, a pesar de que se sigue investigando la forma de conseguir la reproducción de modelos meteorológicos más fiables, las predicciones siguen sin ajustarse a la realidad con la precisión deseada.

El segundo de los casos contemplaría la inexactitud propia de las previsiones e intenta paliarla en la medida de lo posible mediante la acumulación de la energía sobrante a lo largo del día y su posterior entrega en periodos de baja producción respecto a lo previsto a través de sistemas de almacenamiento como son las baterías.

El objetivo de estas baterías sería acumular la energía sobrante en aquellos momentos en donde la producción de energía en el parque eólico supere la producción prevista y el sistema necesite reducir la energía producida, de manera que se evitaría los costos de los desvíos en contra del sistema a subir. Por otro lado, en aquellos momentos en los que la producción de energía sea inferior a la prevista y el sistema necesite aumentar la energía producida, la energía que se ha ido almacenando en la batería se iría entregando para que se haga frente a ese defecto de producción y evitar de esta manera los costos de los desvíos en contra del sistema a bajar.

Evidentemente, la adquisición, la instalación y el mantenimiento de estos sistemas de almacenamiento de energía suponen un desembolso económico importante que puede llegar a no ser económicamente rentable, ya que el coste asociado a los desvíos en contra del sistema que vaya a suprimir puede ser que no lleguen a superar todos los costes que se asocian dichos sistemas de almacenamiento.

El objetivo del presente apartado es el estudio del coste de la instalación de sistemas de almacenamiento de energía para distintos valores de capacidad y el estudio de la cantidad de desvíos en contra del sistema pueden llegar a cubrir y el coste de los que no, de forma que se compruebe si es realmente rentable realizar dicha inversión económica. Para ello, se estudiarán distintos valores de capacidad del sistema de baterías a instalar y distintos porcentajes de carga de partida en cada caso.

En primer lugar debemos de calcular la diferencia de energía que existe, por cada hora, entre la energía que se ha previsto producir y la energía que realmente se ha producido. Estos valores se han graficado y su resultado se puede comprobar en la Figura 9.1.

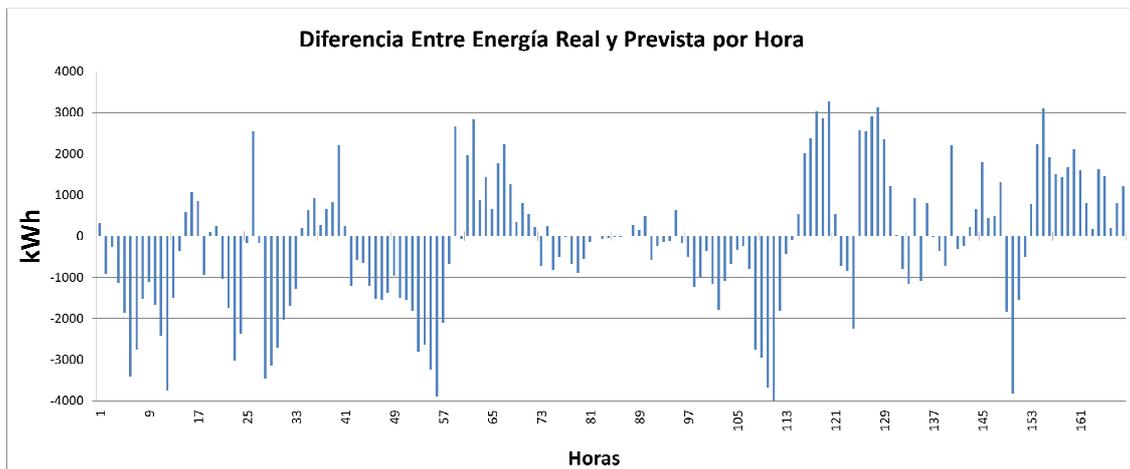


Figura 9.1. Diferencia entre energía real y prevista por hora en la semana de estudio.

Esta energía, que a veces resulta en defecto y otras en exceso, es la que se pretende almacenar con un sistema de baterías. Se comprueba en la Figura 9.1 que los extremos no son simétricos, puesto que falta más energía que la que sobra (el valor medio tiene un valor de -181,82 kWh, siendo el valor de la desviación típica de 1.630,47 kWh). Otro dato que se puede obtener es que el tramo horario con mayor diferencia de energía entre la real y la prevista es de alrededor de los 4 MWh, con lo que se estudiará la viabilidad de instalar un sistema de almacenamiento de 4, 3, 2 y 1 MWh respectivamente.

Para llevar a cabo el estudio se empleará los datos obtenidos en el cálculo de los costes de los desvíos de producción realizados en la planta en la semana de estudio descritos en el apartado 8 del presente documento, así como todas las características técnicas y las características económicas descritas en el apartado 7 del presente documento.

Para describir la operación del parque eólico al instalar el sistema de almacenamiento con baterías se definirán los siguientes conceptos básicos:

- Estado Inicial de Carga de la Batería: Se define como la cantidad de energía que contiene la batería al inicio de cada intervalo de tiempo. Este valor estará acotado entre el valor del mínimo estado de carga de la batería y la capacidad máxima de la batería. Para calcular el estado inicial de carga en un instante de tiempo i se tomará el estado final de carga de la batería del instante de tiempo anterior $i + 1$.

$$\text{Estado Inicial}_i = \text{Estado Final}_{i-1} \quad (9.1)$$

- Estado Final de Carga de la Batería: Se define como la cantidad de energía que contiene la batería al final de cada intervalo de tiempo. Este valor estará acotado entre el valor del mínimo estado de carga de la batería y la capacidad máxima de la batería. Para calcular el estado final de carga en un instante de tiempo i se debe de realizar un balance de energía entre la energía inicial de carga, la energía entrante y la energía saliente en dicho intervalo de tiempo i .

$$\text{Estado Final}_i = \text{Estado Inicial}_i + \text{Energía}_{in,i} - \text{Energía}_{out,i} \quad (9.2)$$

- Energía Entrante en la Batería: Se define como la cantidad de energía que almacena la batería durante cada intervalo de tiempo. Este valor estará acotado entre un valor mínimo nulo y un valor máximo correspondiente a la diferencia entre la capacidad máxima y el mínimo estado de carga de la batería.

Para cualquier intervalo de tiempo sólo se almacenará energía en la batería en el caso de que se cumplan los siguientes aspectos:

- El estado de carga inicial de la batería es menor que su capacidad máxima.
- El desvío en dicho intervalo de tiempo es positivo (exceso de producción).
- El coste del desvío a subir es inferior al precio del mercado diario.

En ese caso la batería almacenará una carga igual al desvío correspondiente hasta que se acumule todo el desvío o hasta que se llegue a su capacidad máxima, en este último caso el resto de la energía no almacenada deberá desviarse y supondrá un coste para el productor de energía.

- Energía Saliente de la Batería: Se define como la cantidad de energía que descarga la batería durante cada intervalo de tiempo. Este valor estará acotado entre un valor mínimo nulo y un valor máximo correspondiente a la diferencia entre la capacidad máxima y el mínimo estado de carga de la batería.

Para cualquier intervalo de tiempo sólo se descargará energía de la batería en el caso de que se cumplan los siguientes aspectos:

- El estado de carga inicial de la batería supera su mínimo estado de carga.
- El desvío en dicho intervalo de tiempo es negativo (defecto de producción).
- El coste del desvío a bajar es superior al precio del mercado diario.

En ese caso la batería descargará una carga igual al desvío correspondiente hasta que se entregue toda la energía del desvío o hasta que llegue a su mínimo estado de carga, en este último caso el resto de la energía no aportada por la batería deberá desviarse y supondrá un coste para el productor de energía.

Para alcanzar con un sistema de almacenamiento en forma de baterías una determinada capacidad de almacenamiento, debe tenerse en cuenta una serie de factores que limitan el valor de ésta en su funcionamiento:

- Capacidad Operativa: Es la cantidad de energía que una batería puede realmente llegar a acumular y a entregar en su funcionamiento.
- Capacidad Nominal: Es la cantidad de energía que cualquier batería puede llegar a acumular y a entregar si se comportase como un dispositivo ideal sin pérdidas.
- Rendimiento (η): Cociente entre la energía realmente intercambiada y la energía necesaria para poder llevar a cabo dicho intercambio en el sistema de baterías.
- Mínimo Estado de Carga: Estado de carga de una batería por debajo del cual ésta puede sufrir daños estructurales, de manera que no se aconseja superarse durante el uso de ésta.

$$Capacidad_{op} = Capacidad_{nom} \cdot \eta \cdot (1 - \text{Mínimo Estado Carga}) \quad (9.3)$$

Dado que cada tipo de batería estudiada en el apartado 7 tiene valores específicos de rendimiento y de mínimo estado de carga, para alcanzar una capacidad operativa con un valor determinado deberá multiplicarse su capacidad nominal por un factor que se puede calcular con la expresión 9.3 anterior. En la Tabla 9 se recogen los valores de dichos factores para cada uno de los tipos de baterías estudiados.

Tabla 10. Factor de disminución de la capacidad nominal para alcanzar una determinada capacidad operativa en servicio.

	Ión-Litio	Plomo - Ácido	Sodio - Sulfuro	Redox Vanadio	Redox Zn-Br
Rendimiento (%)	94 %	90 %	80 %	90 %	75 %
Mínimo Estado de Carga (%)	10 %	20 %	10 %	5 %	10 %
Factor de Multiplicación	0,846	0,72	0,72	0,855	0,675

Por otro lado, otro de los factores que es imprescindible calcular para el estudio de la viabilidad económica es la vida útil del sistema de baterías. Esta vida útil suele medirse a través del número equivalente de ciclos completos que ésta puede llegar a realizar. Un ciclo completo es aquel en el que la carga se produce desde el mínimo estado de carga admisible hasta la capacidad máxima de la batería y en el que la descarga se produce desde la capacidad máxima hasta el mínimo estado de carga admisible.

Para poder modelar este parámetro en nuestro estudio económico se ha decidido que la forma en la que se va a calcular es a través de un parámetro que indique la profundidad de la descarga de la batería en cada intervalo de tiempo considerado.

$$\text{Profundidad Descarga}_i = \frac{\text{Estado Inicial}_i - \text{Estado Final}_i}{\text{Capacidad}_{\text{nom}} - \text{Mínimo Estado Carga}} \quad (9.4)$$

Con la expresión 9.4 se calcula la profundidad de la descarga durante un intervalo de tiempo en tanto por uno. Si se quisiera expresar en tanto por ciento sólo sería necesario multiplicar por 100 el resultado obtenido.

Para calcular los ciclos completos de carga y de descarga en un determinado periodo de tiempo habrá de sumarse las profundidades de descarga obtenidas durante todos los intervalos de tiempo considerados (en tanto por uno) y dividirlos entre dos, ya que se ha definido como ciclo completo de carga y descarga aquel en el que se produce una carga y una descarga completa de la batería.

$$\text{Ciclos Completos} = \sum \text{Profundidad Descarga}_i / 2 \quad (9.5)$$

Conociendo los ciclos completos que tienen lugar en un periodo de tiempo, así como el número máximo de ciclos completos que la batería puede llegar a realizar en su vida útil, se puede determinar la vida útil de dicha batería.

En nuestro caso de estudio, el periodo de tiempo de referencia es de una semana, con lo que una vez calculados los ciclos completos de carga y descarga que sufrirá la batería en la semana de estudio, se puede extrapolar dicho resultado para obtener el número de semanas de vida útil de dicha batería. Si este dato de vida útil lo transformamos a años, podemos calcular el número de años que tendrá la vida útil de la batería.

El coste total del sistema de almacenamiento tendrá dos sumandos, uno de ellos será el coste de instalación del sistema de almacenamiento y otro es el coste de mantenimiento que tenga dicho sistema de almacenamiento a lo largo de su vida útil.

El coste de instalación del sistema de almacenamiento, considerando que la inversión se abona por completo el mismo año de la instalación, se calcula como el producto de la capacidad nominal del sistema de almacenamiento a instalar y el precio de la instalación por kWh de la tecnología de almacenamiento considerada.

El coste de mantenimiento del sistema de almacenamiento se considera que sufrirá un aumento anual que se estima del 2 %. Además, dado que se originarán pagos anuales y cada año el valor del dinero se deprecia, debemos de actualizar los valores de los pagos a realizar cada año al momento de la inversión para poder comparar con mayor realidad la viabilidad del estudio económico que se realiza. La expresión que se va a utilizar en el presente estudio para actualizar el valor de los pagos al momento de la inversión es la que viene dada por la expresión 9.6, donde cada una de las magnitudes que intervienen son las siguientes:

$$\text{Coste Mto Total} = \sum_{n=0}^N \left[\text{Coste Mto Anual Base} \cdot \frac{(1 + \Delta cm)^n}{(1 + d)^n} \right] \quad (9.6)$$

Coste Mto Total = Coste de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la batería.

Coste Mto Anual Base = Coste de mantenimiento durante el primer año del empleo del sistema de almacenamiento.

Δcm = Tasa anual de aumento del coste de mantenimiento prevista.

d = Tasa de descuento del precio del dinero prevista.

N = Número de años de vida útil del sistema de almacenamiento.

El cálculo del coste total de mantenimiento se va a realizar considerando que la tasa anual de aumento del coste de mantenimiento será constante a lo largo del periodo de tiempo estudiado.

En cuanto a dicho periodo de tiempo, se tomará como referencia el número de años de vida útil del sistema de almacenamiento siempre que sea menor de 25 años; en caso de que sea superior a esta cifra, se realizará el estudio para los primeros 25 años y se considerará este resultado como referencia, de manera que para calcular el coste total se extrapolará simplemente multiplicándolo por el número de veces que cabe un periodo de 25 años en la vida útil del sistema de almacenamiento.

Una vez obtenido el coste total del sistema de almacenamiento objeto de estudio, si se divide entre el número de semanas de su vida útil se obtendría el coste semanal de dicha instalación. Este coste semanal del sistema de almacenamiento deberá de compararse con el coste semanal que suponen los desvíos de energía que dicho sistema cubre.

El ahorro de coste de los desvíos cubiertos por el sistema de almacenamiento se va a calcular para el periodo de tiempo de referencia, que es de una semana. El resultado que se obtenga se tomará como referencia semanal y se multiplicará por 52 para la obtención del ahorro total del coste de los desvíos cubiertos por el sistema de almacenamiento en un año. Este valor será la referencia de ahorro anual para el estudio económico.

Hay que tener en cuenta que el precio de la electricidad aumenta un cierto porcentaje a cada año que pasa, con lo cual el ahorro producido será cada año mayor que el anterior. Además, como cada año el valor del dinero se deprecia, hay que actualizar los valores de los ahorros obtenidos cada año al momento de la inversión para poder comparar con mayor realidad la viabilidad del estudio económico que se realiza. La expresión que se va a utilizar en el presente estudio para actualizar el valor de los ahorros al momento de la inversión es la que viene dada por la expresión 9.7, donde cada una de las magnitudes que intervienen son las siguientes:

$$\text{Ahorro Total} = \sum_{n=0}^N \left[\text{Ahorro Anual Base} \cdot \frac{(1 + \Delta pe)^n}{(1 + d)^n} \right] \quad (6.7)$$

Ahorro Total = Ahorro del coste de los desvíos a lo largo de la vida útil de la batería.

Ahorro Anual Base = Ahorro del coste de los desvíos durante el primer año del uso del sistema de almacenamiento.

Δpe = Tasa anual de aumento del precio de la energía eléctrica.

d = Tasa de descuento del precio del dinero prevista.

N = Número de años de vida útil del sistema de almacenamiento.

El cálculo del ahorro total del coste de los desvíos se va a realizar considerando que la tasa anual de aumento del precio de la energía eléctrica será constante a lo largo del periodo de tiempo estudiado y se estima en un 6 % ^[39].

En cuanto al periodo de tiempo, estudiado de la misma forma que antes, se toma como referencia el número de años de vida útil del sistema de almacenamiento siempre que sea menor de 25 años; en caso de que sea superior a esta cifra, se realizará el estudio para los primeros 25 años y se considerará este resultado como referencia, de forma que para calcular el coste total se extrapolará simplemente multiplicándolo por el número de veces que cabe un periodo de 25 años en la vida útil del sistema de almacenamiento.

Cabe destacar que tanto para el cálculo del coste de mantenimiento como el del ahorro del coste de los desvíos, tras la consulta de varios estudios económicos, se ha tomado una tasa de descuento del valor del dinero del 5% ^[40], la cual será constante a lo largo del periodo de tiempo en estudio.

Una vez obtenido el ahorro total del sistema de almacenamiento objeto de estudio, si se divide éste entre el número de semanas de su vida útil se obtendría el ahorro semanal conseguido con dicha instalación. Este ahorro semanal del sistema de almacenamiento (coste semanal que suponen los desvíos de energía que dicho sistema cubre) es el que se debe comparar con los costes semanales del sistema de almacenamiento obtenidos en el paso anterior.

En el caso de que el ahorro (coste de los desvíos de energía cubiertos) sea mayor que el coste del sistema de almacenamiento, la inversión resultará rentable; en caso de que el ahorro sea menor que el coste del sistema de almacenamiento, la inversión no resultará rentable y debe de ser desestimada.

En los siguientes subapartados se muestran los resultados del análisis económico que se ha realizado para las tecnologías de almacenamiento de energía consideradas y para diferentes capacidades operativas de almacenamiento.

9.1. Sistema de Almacenamiento de 4 MWh

Supongamos que instalamos un sistema de almacenamiento con capacidad para poder almacenar una energía de 4 MWh. Este sistema de almacenamiento estará encargado de almacenar toda aquella energía excedente de la producción de la planta con respecto a la prevista cuando el sistema eléctrico global necesite disminuir la producción de energía y estará encargado de aportar toda la energía almacenada cuando en la producción de la planta exista un defecto de producción de energía con respecto a la prevista y el sistema eléctrico global necesite aumentar la producción de energía.

Para realizar el estudio se tendrá en cuenta que el estado de carga inicial del sistema de baterías va a influir notablemente en la cantidad de desvíos en contra del sistema que se consiguen cubrir. Dado que toda batería tiene una capacidad máxima nominal y tiene un estado de mínima carga, el rango en el que se puede almacenar energía es menor que su capacidad nominal. Además, toda batería está afectada por un rendimiento, el cual hace que la cantidad de energía realmente almacenada y entregada sea menor que la prevista. Esto hace, como se ha mostrado en la Tabla 10, que la capacidad nominal del sistema de baterías sea un cierto porcentaje mayor que el esperado. Este rango desde la capacidad máxima del sistema de almacenamiento hasta su estado de mínima carga se asocia en el presente estudio a un rango de entre el 100% y 0% de carga respectivamente.

En primer lugar se estudia la evolución del estado de carga del sistema de baterías a lo largo de la semana de estudio en el proceso de cubrir los desvíos contrarios al sistema. Se realiza este estudio para porcentajes iniciales de carga que va desde el 100% hasta el 0% en intervalos de 25%. La Figura 9.2 muestra el resultado para el caso en estudio, en la que se puede ver cómo el porcentaje de carga de las baterías se acaba igualando una vez se realiza la descarga (de ahí el solape de las gráficas al pasar un cierto tiempo).

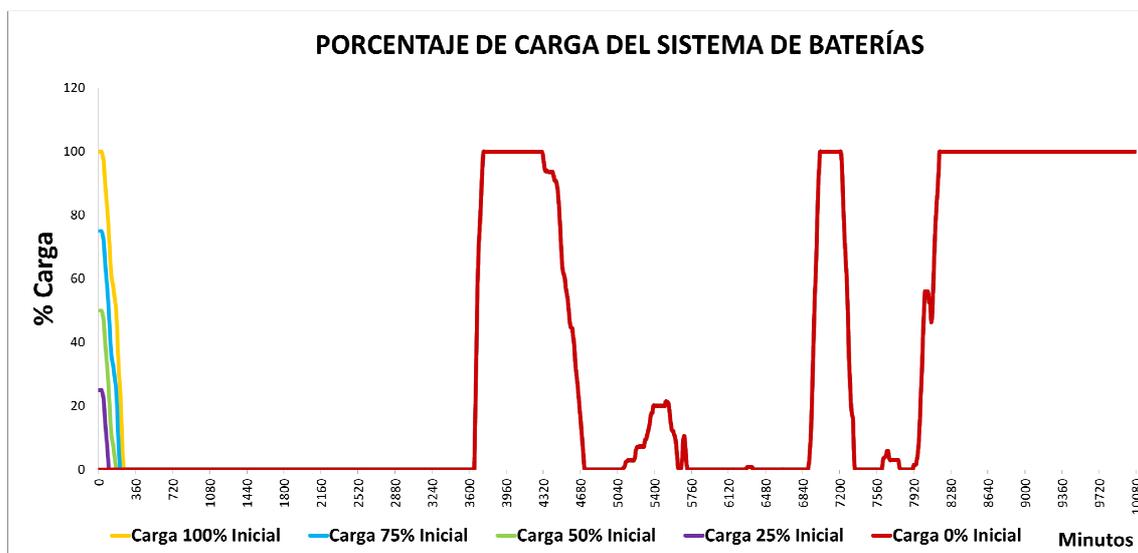


Figura 9.2. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio.

Como se puede apreciar en la Figura 9.2, dependiendo del estado de carga inicial de las baterías, la cantidad de ciclos completos de carga/descarga que tiene lugar va a variar en el periodo de tiempo que se ha estudiado. La gráfica de la Figura 9.3 muestra la cantidad de ciclos completos de carga/descarga para cada caso en concreto.

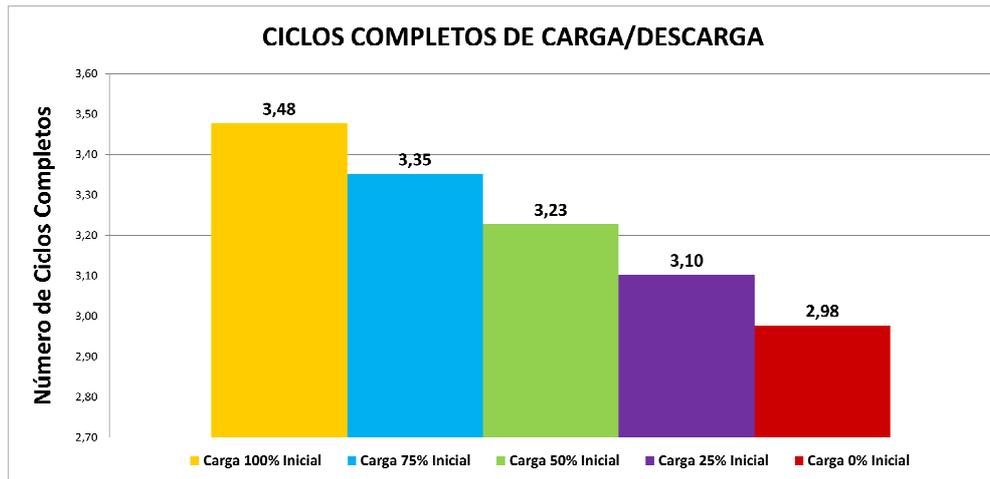


Figura 9.3. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio.

La instalación de este sistema de almacenamiento permite cubrir una serie de desvíos en contra del sistema a lo largo de la semana de estudio, como puede comprobarse en la Figura 9.4. Se comprueba cómo las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

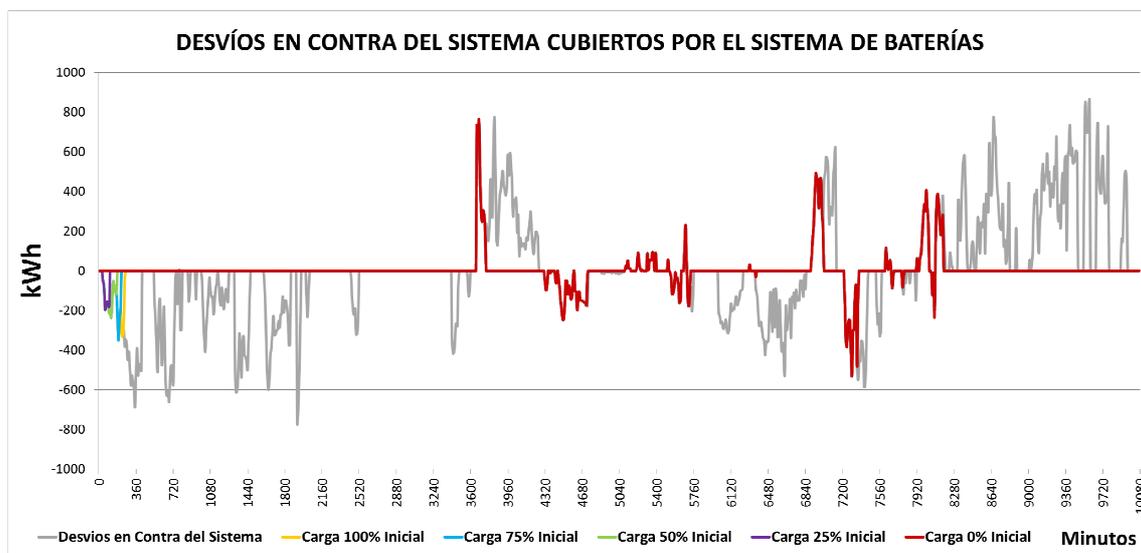


Figura 9.4. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías.

El espectro de la cantidad de energía de los desvíos en contra del sistema ordenado de mayor a menor y los correspondientes desvíos cubiertos por sistema de almacenamiento instalado se muestra en la Figura 9.5.

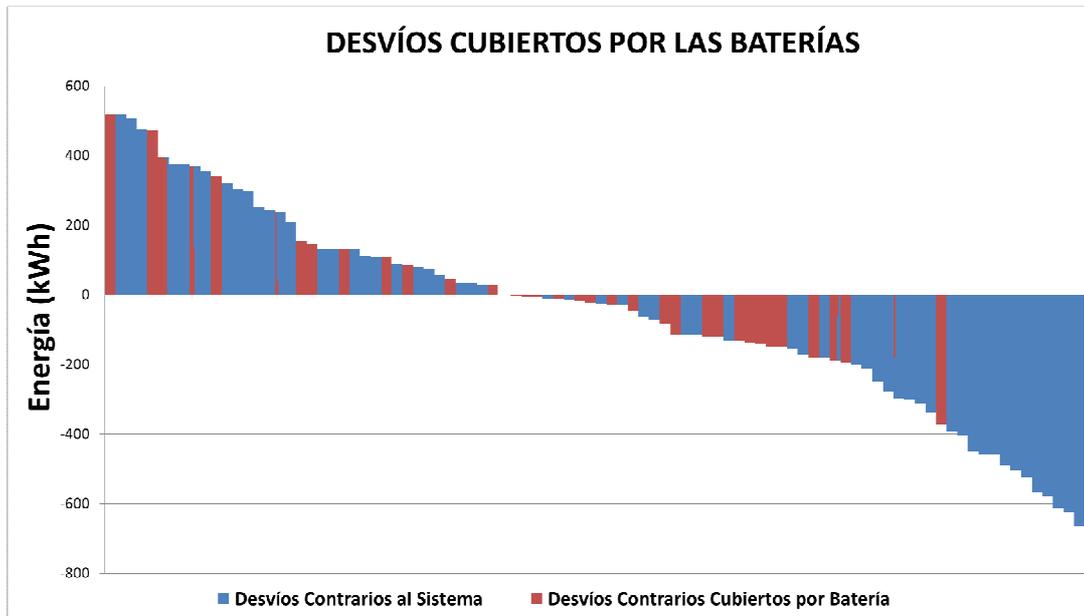


Figura 9.5. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Como se puede comprobar, la cantidad de desvíos que se consiguen cubrir con el este sistema de almacenamiento no llega a ser de gran volumen. En la Figura 9.6 se muestran los porcentajes de desvíos en contra del sistema cubiertos en términos de energía.

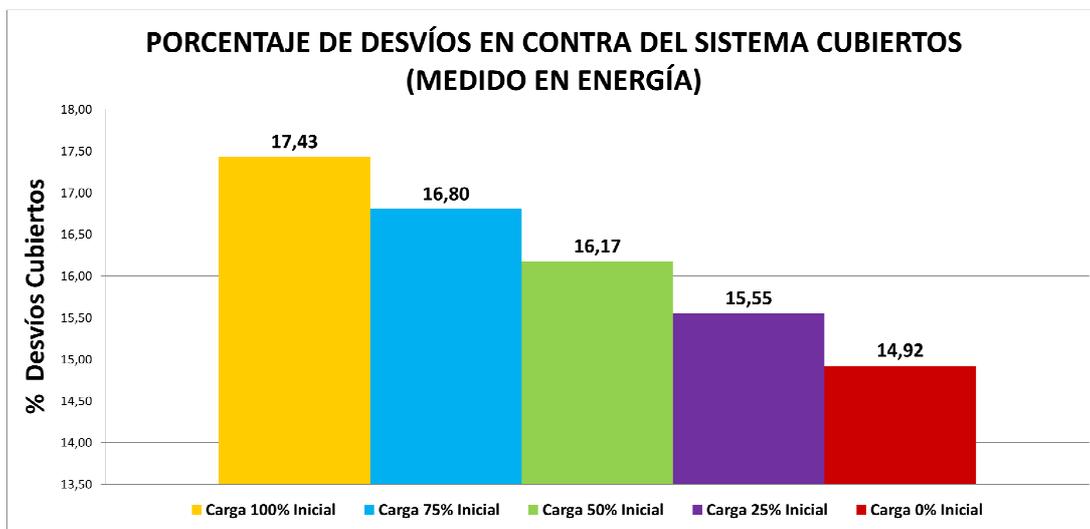


Figura 9.6. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Esta cantidad de desvíos en contra del sistema que se cubren suponen un cierto ahorro de costes en comparación con el total de costes incurridos anteriormente cuando no se poseía el sistema de almacenamiento. La Figura 9.7 muestra la comparativa entre costes anteriores sin el sistema de almacenamiento y costes cubiertos al instalar dicho sistema. De la misma forma que en la Figura 9.4, las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

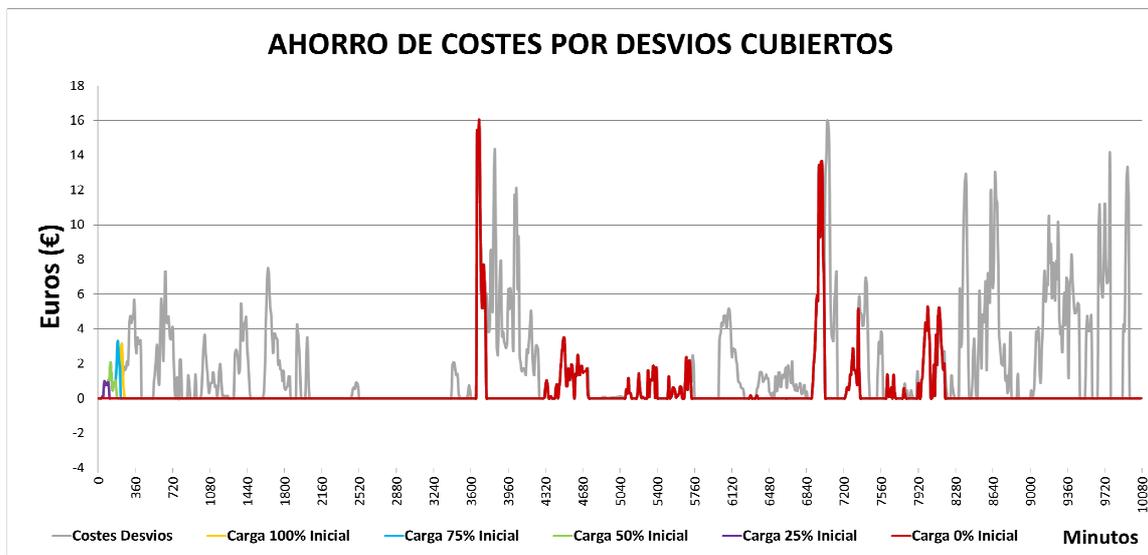


Figura 9.7. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

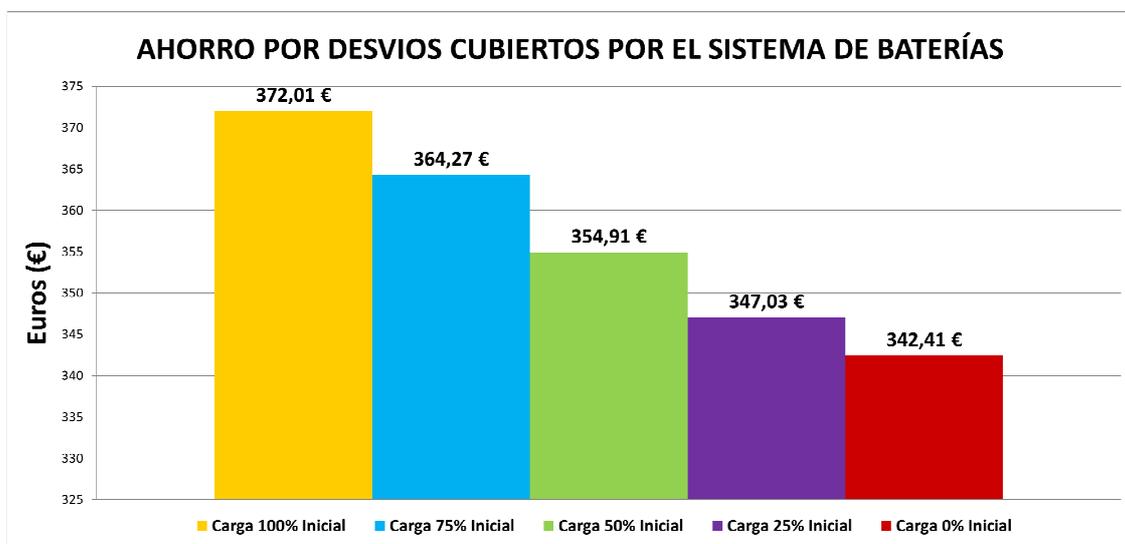


Figura 9.8. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Es importante señalar que la cantidad de dinero ahorrada depende en gran medida del estado inicial de carga del sistema de baterías, ya que en este caso, cuanto mayor energía almacenada tenga el sistema en su estado inicial, mayores desvíos en contra del sistema cubre y mayores ahorros se producen, tal y como muestra la Figura 9.8.

Para realizar el estudio de viabilidad económica para la instalación de un sistema de almacenamiento con capacidad para 4 MWh se debe tomar un valor de ahorro de costes semanal y un número de ciclos completos de carga/descarga semanal para tenerlos como referencia y poder extrapolarlos al resto de semanas del año.

Como el estado de carga inicial del sistema de almacenamiento irá variando según la semana del año, se decide realizar la media aritmética del ahorro en costes y de los ciclos completos de carga/descarga de los valores obtenidos para los diferentes estados iniciales de carga para tomarlos como referencia en el presente estudio.

$$\text{Ahorro Semanal} = \frac{372,01 + 364,27 + 354,91 + 347,03 + 342,41}{5} = 356,127 \text{ €}$$

$$\text{Ciclos Semanales} = \frac{3,4773 + 3,3523 + 3,2273 + 3,1023 + 2,9773}{5} = 3,2273 \text{ ciclos}$$

Los valores que se tomaran como referencia en el estudio de la instalación del sistema de almacenamiento será un ahorro semanal de unos 356,127 € y una cantidad de ciclos completos de carga/descarga igual a 3,2273.

Los resultados del estudio económico realizado se muestran en la Tabla 11, la cual se puede comprobar en la página siguiente.

Los resultados obtenidos permiten contrastar que, para este caso en particular de un sistema de almacenamiento de 4 MWh, ninguna de las tecnologías estudiadas resulta rentable ya que en el mejor de los casos se obtiene unas pérdidas semanales cercanas a los ochocientos euros.

Se puede observar cómo la tecnología sodio-sulfuro, que es la que menores costes de instalación tienen por su desarrollo tecnológico, no es la que menor cantidad de pérdidas presenta, sino que es la tecnología redox de vanadio la que menos pérdidas presenta. Esto se debe a que, a pesar de que ésta tiene gran coste de instalación y mantenimiento, su elevado número de ciclos de carga/descarga la hace una opción que podría ser bastante viable comparado con las otras tecnologías en caso de que el ahorro en los desvíos fuera suficiente. La tecnología de plomo ácido es la que mayores pérdidas presenta por su escasa vida útil debido al pequeño número de ciclos de carga/descarga que soporta, sin embargo su coste de instalación es el segundo más pequeño de todas las tecnologías de baterías que se han considerado en este estudio.

Tabla 11. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 4MWh.

	IÓN-LITIO	PLOMO ÁCIDO	SODIO SULFURO	REDOX VANADIO	REDOX ZN BR
Rendimiento (%)	94	90	80	90	75
Mínimo Estado de Carga (%)	10	20	10	5	10
Ciclos de Carga/Descarga	4500	2500	4500	20000	12000
Coste de Instalación (€/kWh)	530	360	285	700	385
Coste Mantenimiento (€/kWh·año)	3	2	3	10	13
Capacidad Operativa (kWh)	4000	4000	4000	4000	4000
Capacidad Nominal (kWh)	4728,13	5555,56	5555,56	4678,36	5925,93
Ciclos Completos por Semana	3,2273	3,2273	3,2273	3,2273	3,2273
Vida Útil (Semanas)	1394,35	774,64	1394,35	6197,10	3718,26
Vida Útil (Años)	26,81	14,90	26,81	119,18	71,51
Coste de Instalación (€)	2.505.910 €	2.000.000 €	1.583.333 €	3.274.854 €	2.281.481 €
Coste de Mantenimiento (€)	281.877 €	144.321 €	331.205 €	4.131.994 €	4.082.411 €
Costes Totales (€)	2.787.787 €	2.144.321 €	1.914.539 €	7.406.849 €	6.363.892 €
Costes Totales por Semana (€)	1.999,37 €	2.768,19 €	1.373,08 €	1.195,22 €	1.711,54 €
Ahorro Desvíos por Semana (€)	416,59 €	409,68 €	416,59 €	416,59 €	416,59 €
Beneficio Semanal (€)	-1.582,77 €	-2.358,51 €	-956,49 €	-778,63 €	-1.294,95 €
Beneficio Anual (€)	-82.304 €	-122.642 €	-49.737 €	-40.489 €	-67.337 €

9.2. Sistema de Almacenamiento de 3 MWh

Supongamos que instalamos un sistema de almacenamiento con capacidad para poder almacenar una energía de 3 MWh. Este sistema de almacenamiento estará encargado de almacenar toda aquella energía excedente de la producción de la planta con respecto a la prevista cuando el sistema eléctrico global necesite disminuir la producción de energía y estará encargado de aportar toda la energía almacenada cuando en la producción de la planta exista un defecto de producción de energía con respecto a la prevista y el sistema eléctrico global necesite aumentar la producción de energía.

Para realizar el estudio se tendrá en cuenta que el estado de carga inicial del sistema de baterías va a influir notablemente en la cantidad de desvíos en contra del sistema que se consiguen cubrir. Dado que toda batería tiene una capacidad máxima nominal y tiene un estado de mínima carga, el rango en el que se puede almacenar energía es menor que su capacidad nominal. Además, toda batería está afectada por un rendimiento, el cual hace que la cantidad de energía realmente almacenada y entregada sea menor que la prevista. Esto hace, como se ha mostrado en la Tabla 10, que la capacidad nominal del sistema de baterías sea un cierto porcentaje mayor que el esperado. Este rango desde la capacidad máxima del sistema de almacenamiento hasta su estado de mínima carga se asocia en el presente estudio a un rango de entre el 100% y 0% de carga respectivamente.

En primer lugar se estudia la evolución del estado de carga del sistema de baterías a lo largo de la semana de estudio en el proceso de cubrir los desvíos contrarios al sistema. Se realiza este estudio para porcentajes iniciales de carga que va desde el 100% hasta el 0% en intervalos de 25%. La Figura 9.9 muestra el resultado para el caso en estudio, en la que se puede ver cómo el porcentaje de carga de las baterías se acaba igualando una vez se realiza la descarga (de ahí el solape de las gráficas al pasar un cierto tiempo).

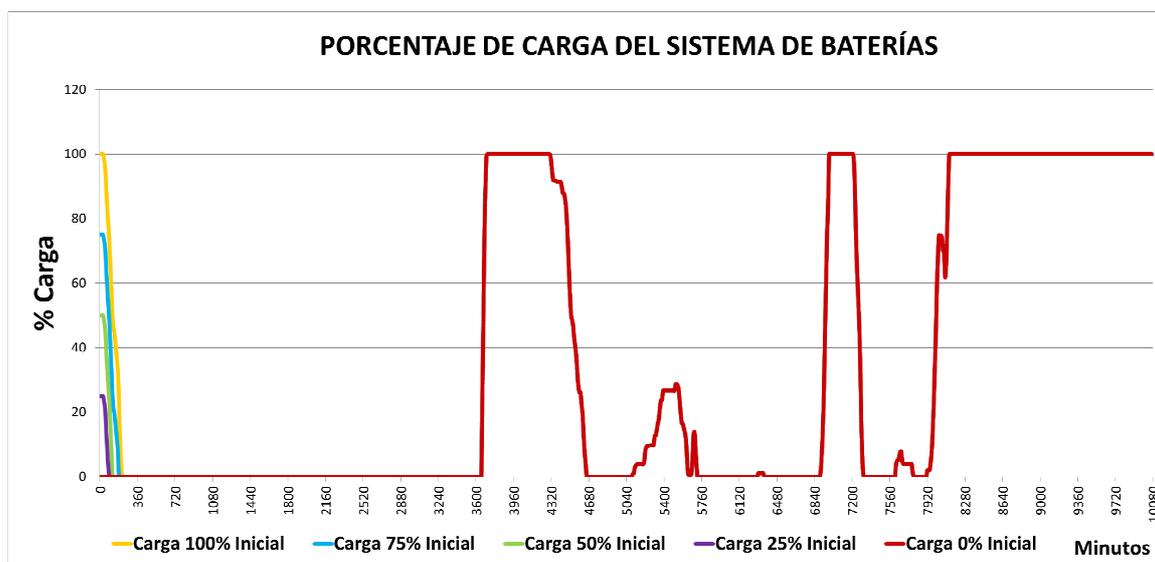


Figura 9.9. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio.

Como se puede apreciar en la Figura 9.9, dependiendo del estado de carga inicial de las baterías, la cantidad de ciclos completa de carga/descarga que tiene lugar va a variar en el periodo de tiempo que se ha estudiado. La gráfica de la Figura 9.10 muestra la cantidad de ciclos completos de carga/descarga para cada caso en concreto.

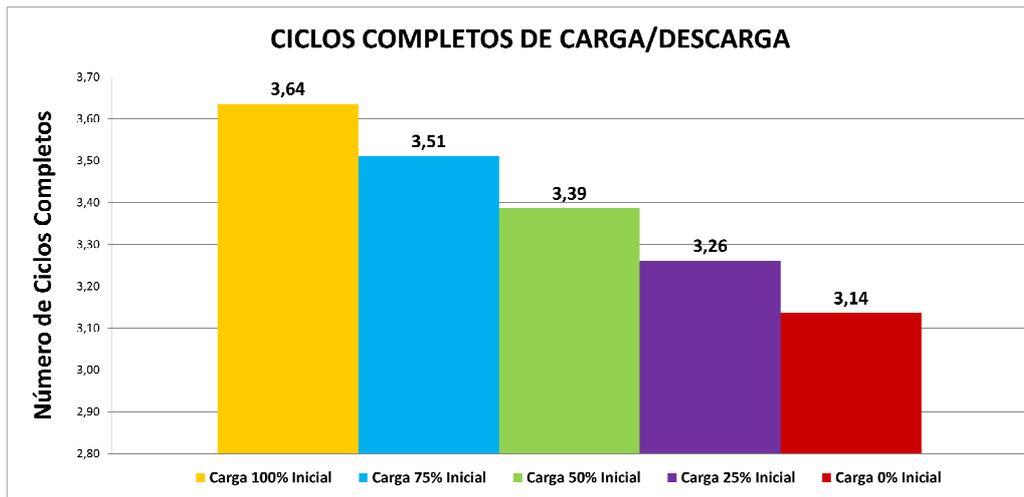


Figura 9.10. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio.

La instalación de este sistema de almacenamiento permite cubrir una serie de desvíos en contra del sistema a lo largo de la semana de estudio, los cuales son mostrados por la Figura 9.11. Se comprueba cómo las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

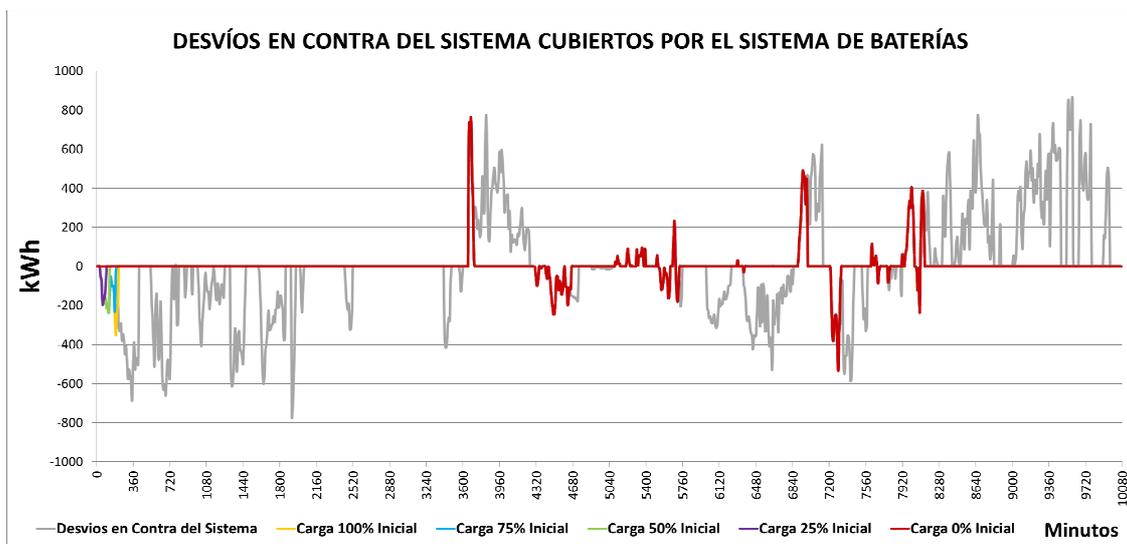


Figura 9.11. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías.

El espectro de la cantidad de energía de los desvíos en contra del sistema ordenado de mayor a menor y los correspondientes desvíos cubiertos por sistema de almacenamiento instalado se muestra en la Figura 9.12.

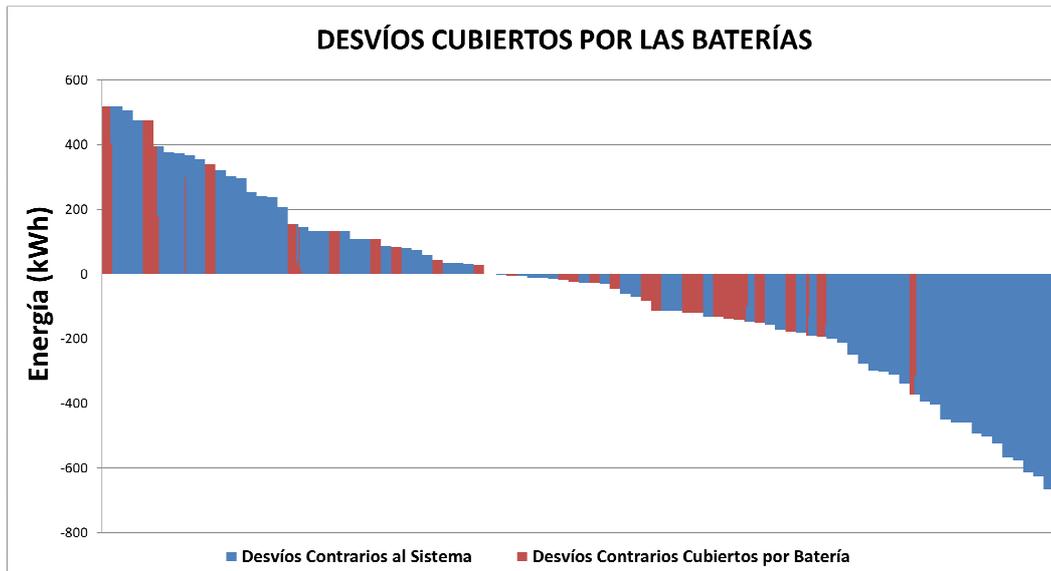


Figura 9.12. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Como se puede comprobar, la cantidad de desvíos que se consiguen cubrir con el este sistema de almacenamiento no llega a ser de gran volumen. En la Figura 9.13 se muestran los porcentajes de desvíos en contra del sistema cubiertos en términos de energía.

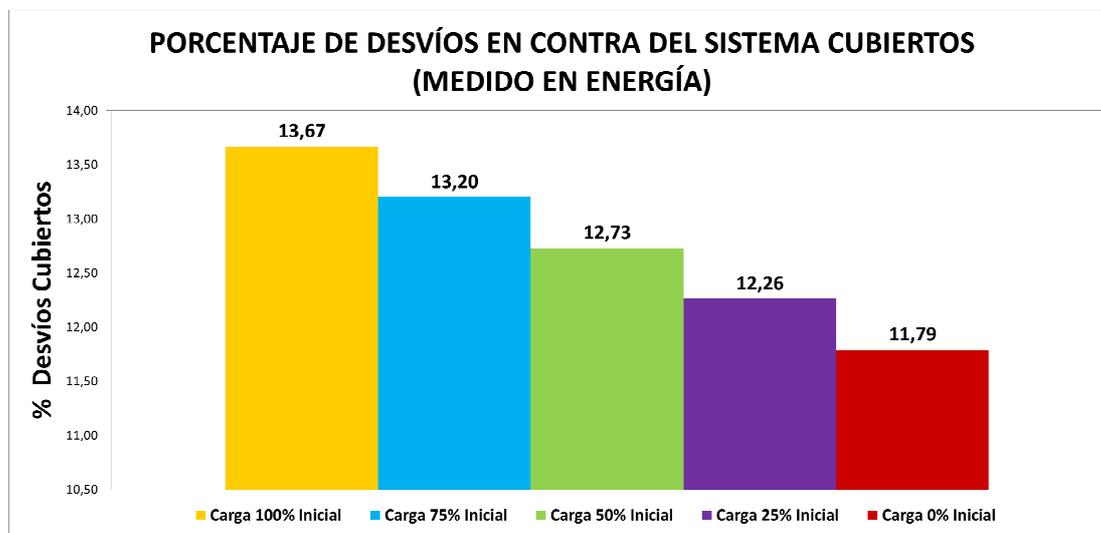


Figura 9.13. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Esta cantidad de desvíos en contra del sistema que se cubren suponen un cierto ahorro de costes en comparación con el total de costes incurridos anteriormente cuando no se poseía el sistema de almacenamiento. La Figura 9.14 muestra la comparativa entre costes anteriores sin el sistema de almacenamiento y costes cubiertos al instalar dicho sistema. De la misma forma que en la Figura 9.11, las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

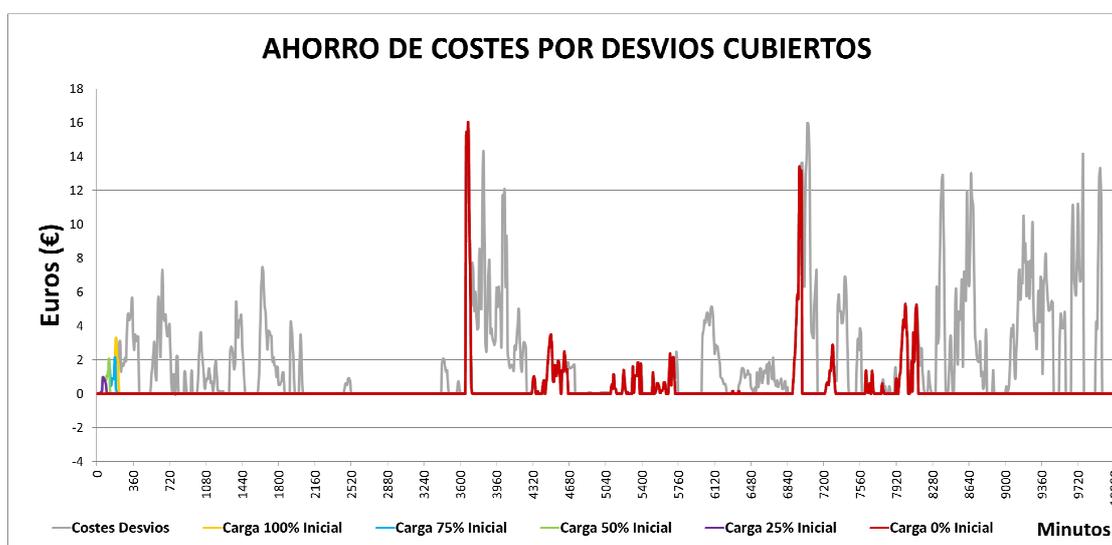


Figura 9.14. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

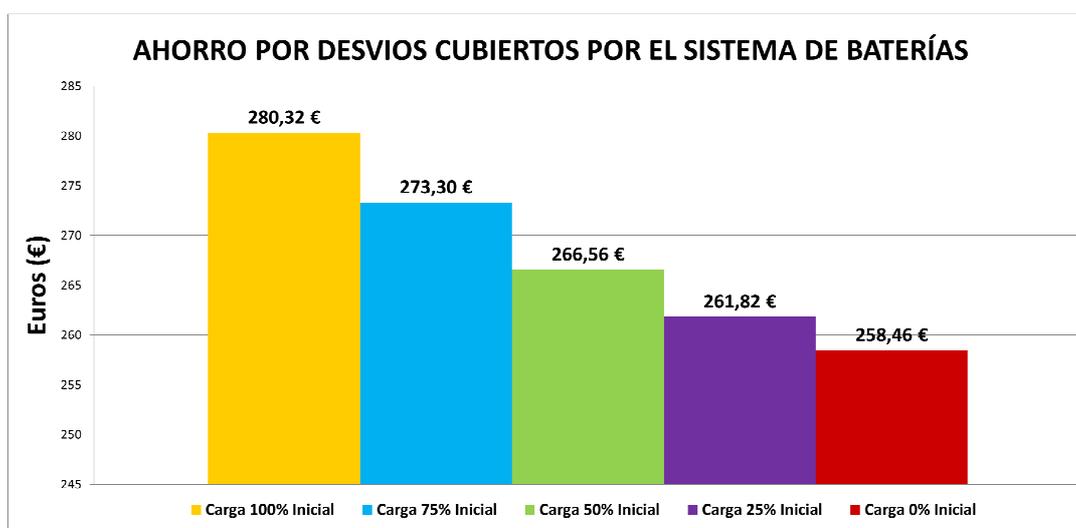


Figura 9.15. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Es importante señalar que la cantidad de dinero ahorrada depende en gran medida del estado inicial de carga del sistema de baterías, ya que en este caso, contra mayor energía almacenada tenga el sistema en su estado inicial, mayores desvíos en contra del sistema cubre y mayores ahorros se producen, tal y como muestra la Figura 9.15.

Para realizar el estudio de viabilidad económica para la instalación de un sistema de almacenamiento con capacidad para 3 MWh se debe tomar un valor de ahorro de costes semanal y un número de ciclos completos de carga/descarga semanal para tenerlos como referencia y poder extrapolarlos al resto de semanas del año.

Como el estado de carga inicial del sistema de almacenamiento irá variando según la semana del año, se decide realizar la media aritmética del ahorro en costes y de los ciclos completos de carga/descarga de los valores obtenidos para los diferentes estados iniciales de carga para tomarlos como referencia en el presente estudio.

$$\text{Ahorro Semanal} = \frac{280,32 + 273,30 + 266,56 + 261,82 + 258,45}{5} = 268,093 \text{ €}$$

$$\text{Ciclos Semanales} = \frac{3,6364 + 3,5114 + 3,3864 + 3,2614 + 3,1364}{5} = 3,3864 \text{ ciclos}$$

Los valores que se tomaran como referencia en el estudio de la instalación del sistema de almacenamiento será un ahorro semanal de unos 268,093 € y una cantidad de ciclos completos de carga/descarga igual a 3,3864.

Los resultados del estudio económico realizado se muestran en la Tabla 12, la cual se puede comprobar en la página siguiente.

Los resultados obtenidos permiten contrastar que, para este caso en particular de un sistema de almacenamiento de 3 MWh, ninguna de las tecnologías estudiadas resulta rentable ya que en el mejor de los casos se obtiene unas pérdidas semanales cercanas a los seiscientos euros.

Se puede observar cómo la tecnología sodio-sulfuro, que es la que menores costes de instalación tienen por su desarrollo tecnológico, no es la que menor cantidad de pérdidas presenta, sino que es la tecnología redox de vanadio la que menos pérdidas presenta. Esto se debe a que, a pesar de que ésta tiene gran coste de instalación y mantenimiento, su elevado número de ciclos de carga/descarga la hace una opción que podría ser bastante viable comparado con las otras tecnologías en caso de que el ahorro en los desvíos fuera suficiente. El orden de tecnologías por pérdidas no varía respecto al caso anterior, donde la tecnología de plomo ácido es la que mayores pérdidas presenta por su escasa vida útil debido al pequeño número de ciclos de carga/descarga que soporta.

Tabla 12. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 3MWh.

	IÓN-LITIO	PLOMO ÁCIDO	SODIO SULFURO	REDOX VANADIO	REDOX ZN BR
Rendimiento (%)	94	90	80	90	75
Mínimo Estado de Carga (%)	10	20	10	5	10
Ciclos de Carga/Descarga	4500	2500	4500	20000	12000
Coste de Instalación (€/kWh)	530	360	285	700	385
Coste Mantenimiento (€/kWh·año)	3	2	3	10	13
Capacidad Operativa (kWh)	3000	3000	3000	3000	3000
Capacidad Nominal (kWh)	3546,10	4166,67	4166,67	3508,77	4444,44
Ciclos Completos por Semana	3,3864	3,3864	3,3864	3,3864	3,3864
Vida Útil (Semanas)	1328,84	738,24	1328,84	5905,95	3543,57
Vida Útil (Años)	25,55	14,20	25,55	113,58	68,15
Coste de Instalación (€)	1.879.433 €	1.500.000 €	1.187.500 €	2.456.140 €	1.711.111 €
Coste de Mantenimiento (€)	201.474 €	102.846 €	236.732 €	2.953.388 €	2.917.947 €
Costes Totales (€)	2.080.907 €	1.602.846 €	1.424.232 €	5.409.528 €	4.629.058 €
Costes Totales por Semana (€)	1.565,98 €	2.171,19 €	1.071,80 €	915,96 €	1.306,34 €
Ahorro Desvíos por Semana (€)	312,89 €	301,22 €	312,89 €	312,89 €	312,89 €
Beneficio Semanal (€)	-1.253,09 €	-1.869,97 €	-758,91 €	-603,07 €	-993,46 €
Beneficio Anual (€)	-65.161 €	-97.238 €	-39.463 €	-31.360 €	-51.660 €

9.3. Sistema de Almacenamiento de 2 MWh

Supongamos que instalamos un sistema de almacenamiento con capacidad para poder almacenar una energía de 2 MWh. Este sistema de almacenamiento estará encargado de almacenar toda aquella energía excedente de la producción de la planta con respecto a la prevista cuando el sistema eléctrico global necesite disminuir la producción de energía y estará encargado de aportar toda la energía almacenada cuando en la producción de la planta exista un defecto de producción de energía con respecto a la prevista y el sistema eléctrico global necesite aumentar la producción de energía.

Para realizar el estudio se tendrá en cuenta que el estado de carga inicial del sistema de baterías va a influir notablemente en la cantidad de desvíos en contra del sistema que se consiguen cubrir. Dado que toda batería tiene una capacidad máxima nominal y tiene un estado de mínima carga, el rango en el que se puede almacenar energía es menor que su capacidad nominal. Además, toda batería está afectada por un rendimiento, el cual hace que la cantidad de energía realmente almacenada y entregada sea menor que la prevista. Esto hace, como se ha mostrado en la Tabla 10, que la capacidad nominal del sistema de baterías sea un cierto porcentaje mayor que el esperado. Este rango desde la capacidad máxima del sistema de almacenamiento hasta su estado de mínima carga se asocia en el presente estudio a un rango de entre el 100% y 0% de carga respectivamente.

En primer lugar se estudia la evolución del estado de carga del sistema de baterías a lo largo de la semana de estudio en el proceso de cubrir los desvíos contrarios al sistema. Se realiza este estudio para porcentajes iniciales de carga que va desde el 100% hasta el 0% en intervalos de 25%. La Figura 9.16 muestra el resultado para el caso en estudio, en la que se puede ver cómo el porcentaje de carga de las baterías se acaba igualando una vez se realiza la descarga (de ahí el solape de las gráficas al pasar un cierto tiempo).

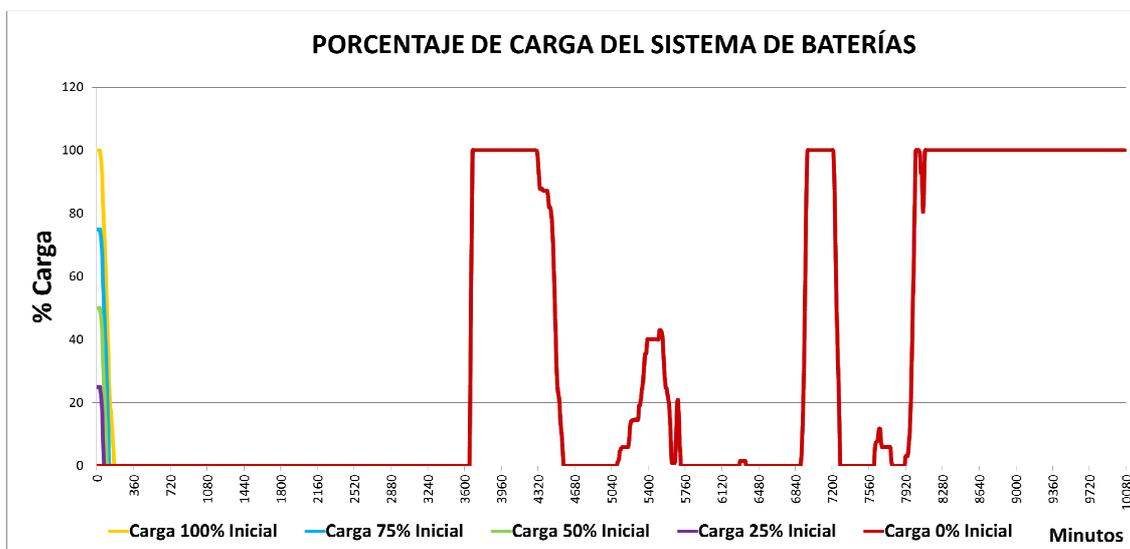


Figura 9.16. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio.

Como se puede apreciar en la Figura 9.16, dependiendo del estado de carga inicial de las baterías, la cantidad de ciclos completa de carga/descarga que tiene lugar va a variar en el periodo de tiempo que se ha estudiado. La gráfica de la Figura 9.17 muestra la cantidad de ciclos completos de carga/descarga para cada caso en concreto.

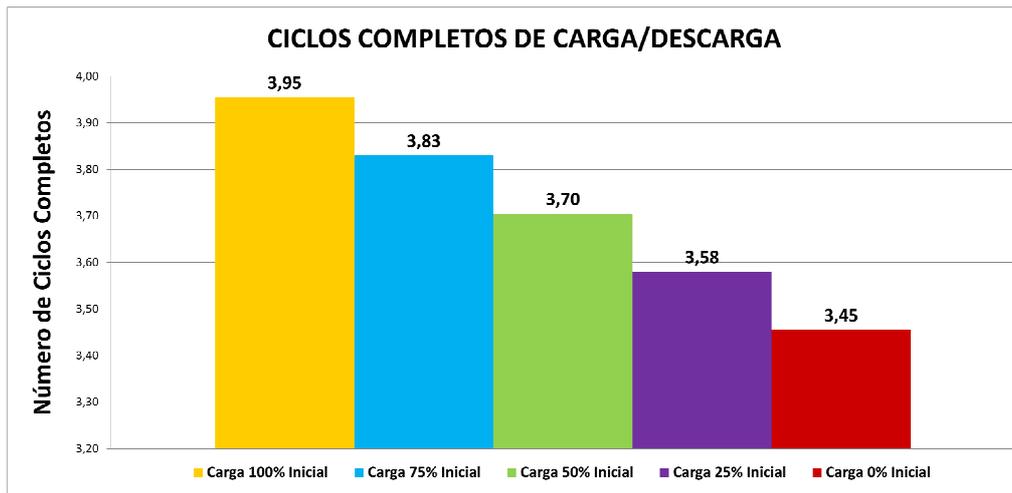


Figura 9.17. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio.

La instalación de este sistema de almacenamiento permite cubrir una serie de desvíos en contra del sistema a lo largo de la semana de estudio, los cuales son mostrados por la Figura 9.18. Se comprueba cómo las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

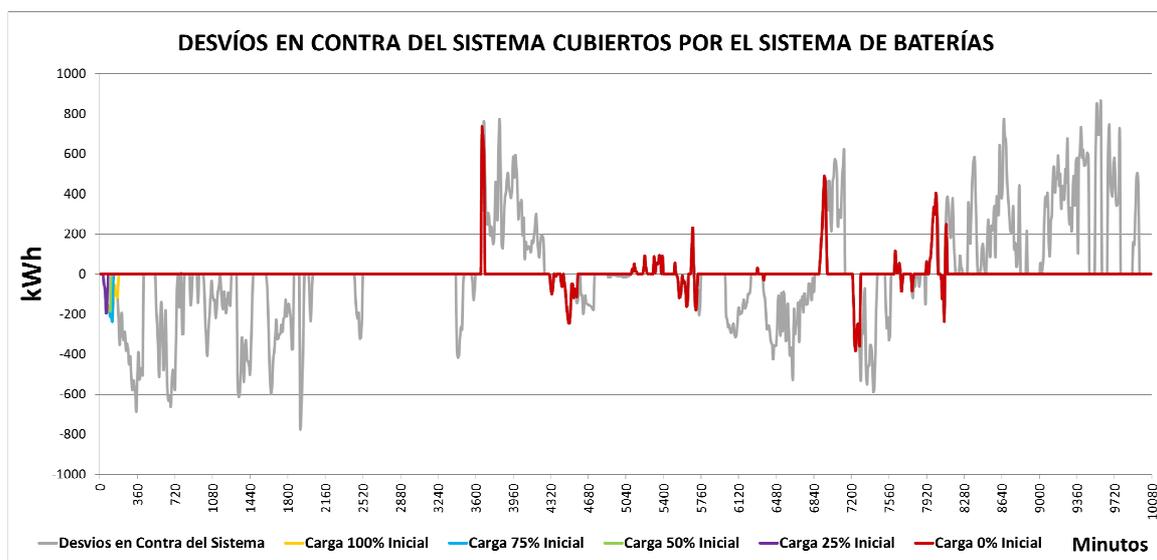


Figura 9.18. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías.

El espectro de la cantidad de energía de los desvíos en contra del sistema ordenado de mayor a menor y los correspondientes desvíos cubiertos por sistema de almacenamiento instalado se muestra en la Figura 9.19.

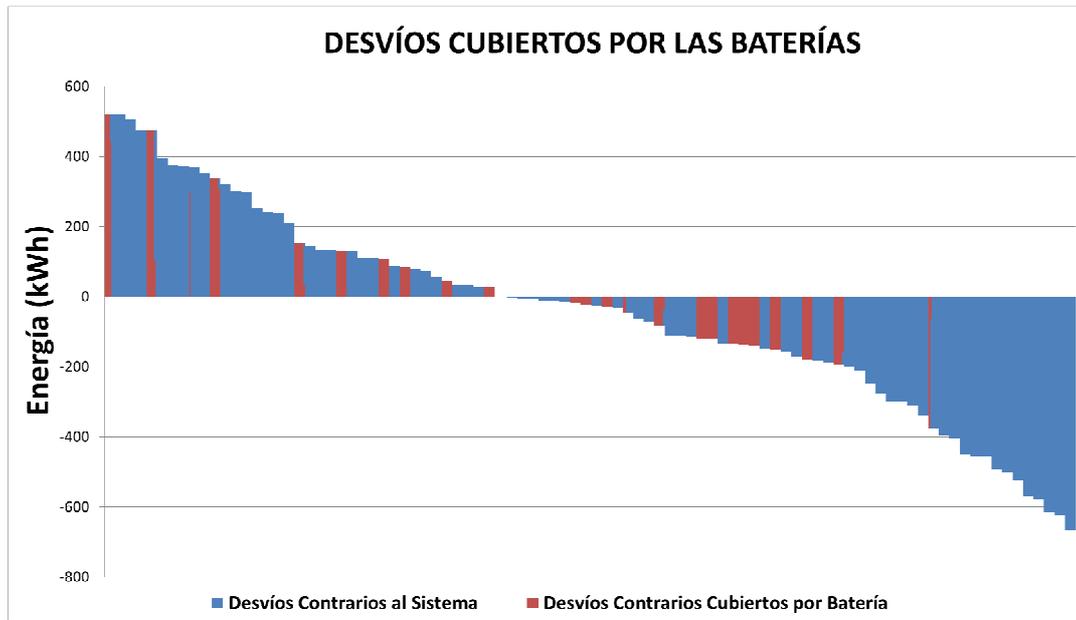


Figura 9.19. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Como se puede comprobar, la cantidad de desvíos que se consiguen cubrir con el este sistema de almacenamiento no llega a ser de gran volumen. En la Figura 9.20 se muestran los porcentajes de desvíos en contra del sistema cubiertos en términos de energía.

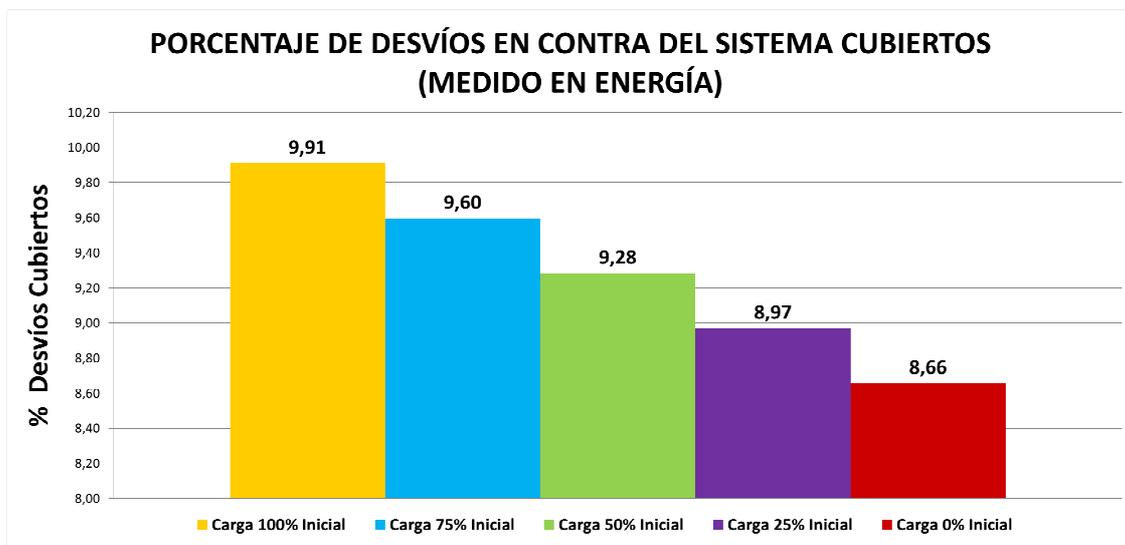


Figura 9.20. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Esta cantidad de desvíos en contra del sistema que se cubren suponen un cierto ahorro de costes en comparación con el total de costes incurridos anteriormente cuando no se poseía el sistema de almacenamiento. La Figura 9.21 muestra la comparativa entre costes anteriores sin el sistema de almacenamiento y costes cubiertos al instalar dicho sistema. De la misma forma que en la Figura 9.18, las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

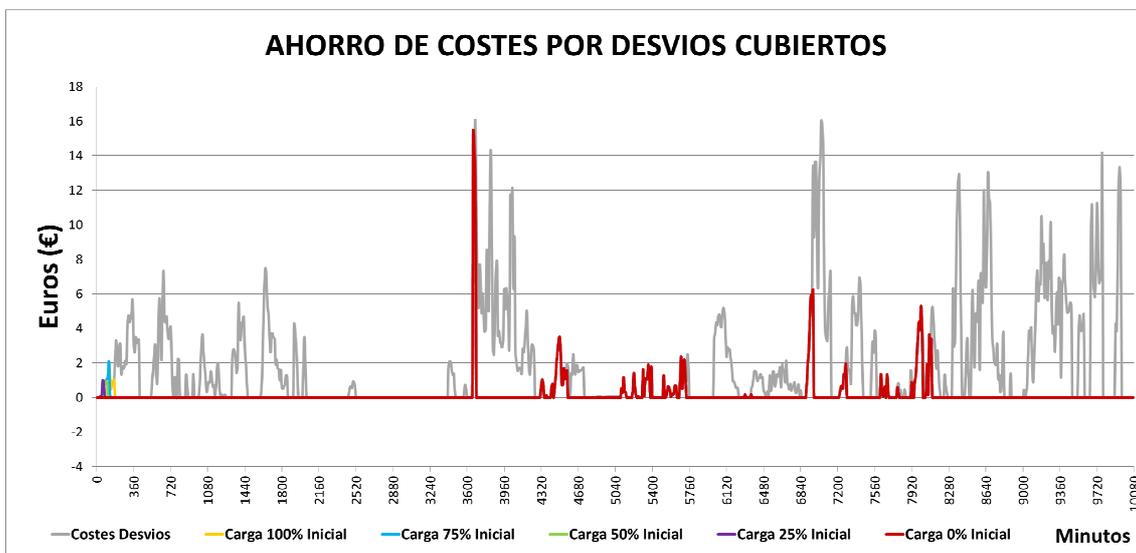


Figura 9.21. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

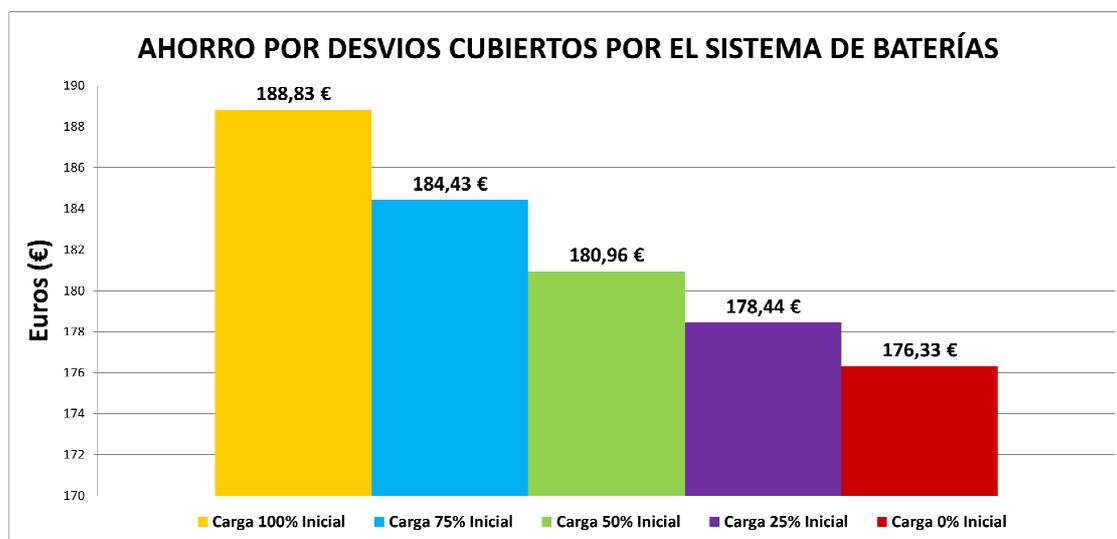


Figura 9.22. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Es importante señalar que la cantidad de dinero ahorrada depende en gran medida del estado inicial de carga del sistema de baterías, ya que en este caso, contra mayor energía almacenada tenga el sistema en su estado inicial, mayores desvíos en contra del sistema cubre y mayores ahorros se producen, tal y como muestra la Figura 9.22.

Para realizar el estudio de viabilidad económica para la instalación de un sistema de almacenamiento con capacidad para 2 MWh se debe tomar un valor de ahorro de costes semanal y un número de ciclos completos de carga/descarga semanal para tenerlos como referencia y poder extrapolarlos al resto de semanas del año.

Como el estado de carga inicial del sistema de almacenamiento irá variando según la semana del año, se decide realizar la media aritmética del ahorro en costes y de los ciclos completos de carga/descarga de los valores obtenidos para los diferentes estados iniciales de carga para tomarlos como referencia en el presente estudio.

$$\text{Ahorro Semanal} = \frac{188,83 + 184,43 + 180,96 + 178,44 + 176,33}{5} = 191,798 \text{ €}$$

$$\text{Ciclos Semanales} = \frac{3,9547 + 3,8297 + 3,7047 + 3,5797 + 3,4547}{5} = 3,7047 \text{ ciclos}$$

Los valores que se tomaran como referencia en el estudio de la instalación del sistema de almacenamiento será un ahorro semanal de unos 191,798 € y una cantidad de ciclos completos de carga/descarga igual a 3,7047.

Los resultados del estudio económico realizado se muestran en la Tabla 13, la cual se puede comprobar en la página siguiente.

Los resultados obtenidos permiten contrastar que, para este caso en particular de un sistema de almacenamiento de 2 MWh, ninguna de las tecnologías estudiadas resulta rentable ya que en el mejor de los casos se obtiene unas pérdidas semanales cercanas a los cuatrocientos treinta euros.

Se puede observar cómo la tecnología sodio-sulfuro, que es la que menores costes de instalación tienen por su desarrollo tecnológico, no es la que menor cantidad de pérdidas presenta, sino que es la tecnología redox de vanadio la que menos pérdidas presenta. Esto se debe a que, a pesar de que ésta tiene gran coste de instalación y mantenimiento, su elevado número de ciclos de carga/descarga la hace una opción que podría ser bastante viable comparado con las otras tecnologías en caso de que el ahorro en los desvíos fuera suficiente. El orden de tecnologías por pérdidas no varía respecto al caso anterior, donde la tecnología de plomo ácido es la que mayores pérdidas presenta por su escasa vida útil debido al pequeño número de ciclos de carga/descarga que soporta.

Tabla 13. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 2 MWh.

	IÓN-LITIO	PLOMO ÁCIDO	SODIO SULFURO	REDOX VANADIO	REDOX ZN BR
Rendimiento (%)	94	90	80	90	75
Mínimo Estado de Carga (%)	10	20	10	5	10
Ciclos de Carga/Descarga	4500	2500	4500	20000	12000
Coste de Instalación (€/kWh)	530	360	285	700	385
Coste Mantenimiento (€/kWh·año)	3	2	3	10	13
Capacidad Operativa (kWh)	2000	2000	2000	2000	2000
Capacidad Nominal (kWh)	2364,07	2777,78	2777,78	2339,18	2962,96
Ciclos Completos por Semana	3,7046	3,7046	3,7046	3,7046	3,7046
Vida Útil (Semanas)	1214,70	674,83	1214,70	5398,65	3239,19
Vida Útil (Años)	23,36	12,98	23,36	103,82	62,29
Coste de Instalación (€)	1.252.955 €	1.000.000 €	791.667 €	1.637.427 €	1.140.741 €
Coste de Mantenimiento (€)	124.430 €	64.862 €	146.205 €	1.799.796 €	1.778.198 €
Costes Totales (€)	1.377.385 €	1.064.862 €	937.872 €	3.437.223 €	2.918.939 €
Costes Totales por Semana (€)	1.133,95 €	1.577,99 €	772,12 €	636,69 €	901,15 €
Ahorro Desvíos por Semana (€)	207,78 €	207,78 €	207,78 €	212,41 €	212,41 €
Beneficio Semanal (€)	-926,17 €	-1.370,21 €	-564,33 €	-424,29 €	-688,74 €
Beneficio Anual (€)	-48.161 €	-71.251 €	-29.345 €	-22.063 €	-35.814 €

9.4. Sistema de Almacenamiento de 1 MWh

Supongamos que instalamos un sistema de almacenamiento con capacidad para poder almacenar una energía de 1 MWh. Este sistema de almacenamiento estará encargado de almacenar toda aquella energía excedente de la producción de la planta con respecto a la prevista cuando el sistema eléctrico global necesite disminuir la producción de energía y estará encargado de aportar toda la energía almacenada cuando en la producción de la planta exista un defecto de producción de energía con respecto a la prevista y el sistema eléctrico global necesite aumentar la producción de energía.

Para realizar el estudio se tendrá en cuenta que el estado de carga inicial del sistema de baterías va a influir notablemente en la cantidad de desvíos en contra del sistema que se consiguen cubrir. Dado que toda batería tiene una capacidad máxima nominal y tiene un estado de mínima carga, el rango en el que se puede almacenar energía es menor que su capacidad nominal. Además, toda batería está afectada por un rendimiento, el cual hace que la cantidad de energía realmente almacenada y entregada sea menor que la prevista. Esto hace, como se ha mostrado en la Tabla 10, que la capacidad nominal del sistema de baterías sea un cierto porcentaje mayor que el esperado. Este rango desde la capacidad máxima del sistema de almacenamiento hasta su estado de mínima carga se asocia en el presente estudio a un rango de entre el 100% y 0% de carga respectivamente.

En primer lugar se estudia la evolución del estado de carga del sistema de baterías a lo largo de la semana de estudio en el proceso de cubrir los desvíos contrarios al sistema. Se realiza este estudio para porcentajes iniciales de carga que va desde el 100% hasta el 0% en intervalos de 25%. La Figura 9.23 muestra el resultado para el caso en estudio, en la que se puede ver cómo el porcentaje de carga de las baterías se acaba igualando una vez se realiza la descarga (de ahí el solape de las gráficas al pasar un cierto tiempo).

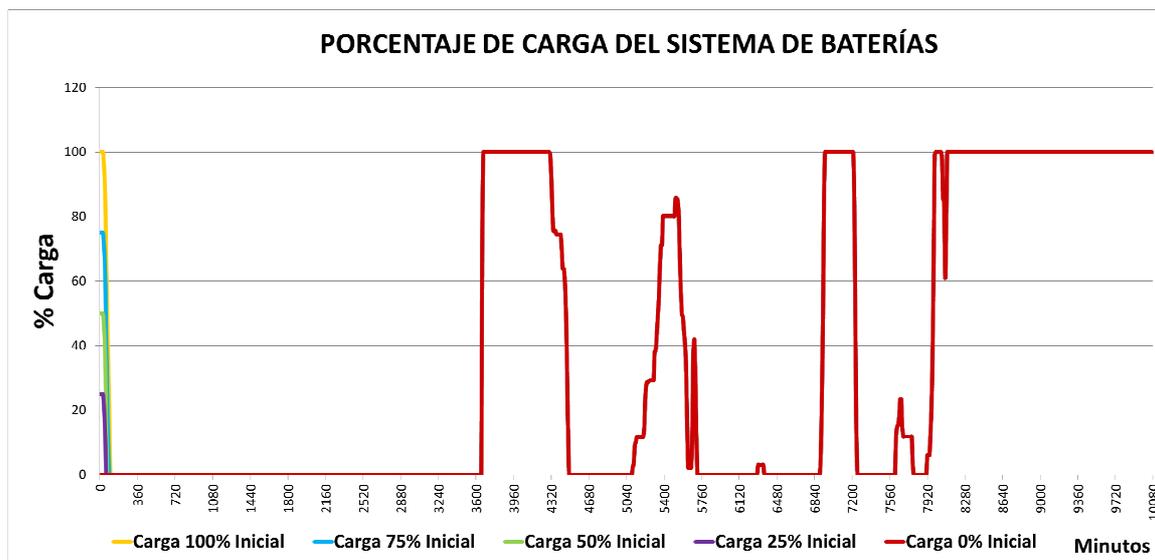


Figura 9.23. Porcentaje de carga del sistema de baterías en la semana de estudio.

Como se puede apreciar en la Figura 9.23, dependiendo del estado de carga inicial de las baterías, la cantidad de ciclos completa de carga/descarga que tiene lugar va a variar en el periodo de tiempo que se ha estudiado. La gráfica de la Figura 9.24 muestra la cantidad de ciclos completos de carga/descarga para cada caso en concreto.

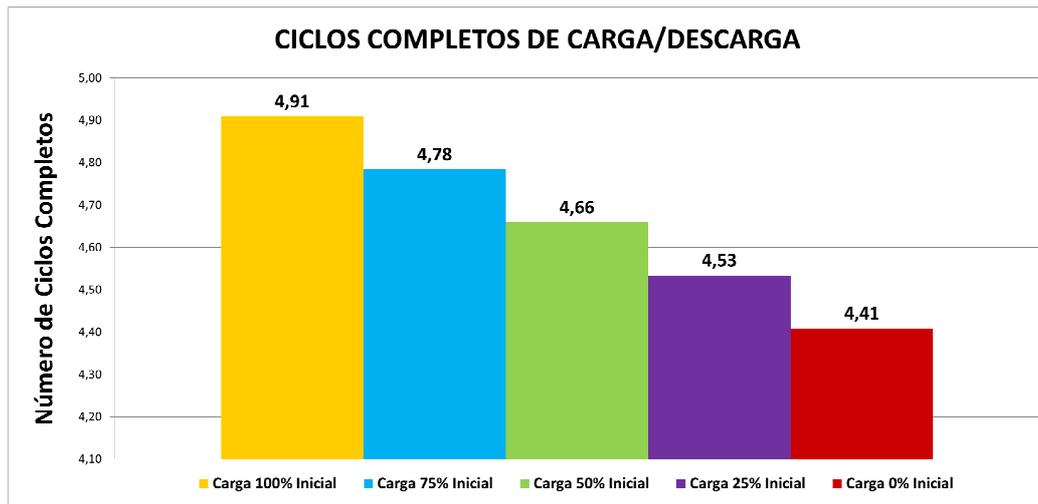


Figura 9.24. Ciclos completos de carga/descarga en la semana de estudio.

La instalación de este sistema de almacenamiento permite cubrir una serie de desvíos en contra del sistema a lo largo de la semana de estudio, los cuales son mostrados por la Figura 9.25. Se comprueba cómo las gráficas se acaban solapando cuando todas llegan a descargarse después de evacuar toda la carga inicial que poseen (a mayor carga inicial, mayor cantidad de desvíos al comienzo del periodo de estudio pueden cubrir).

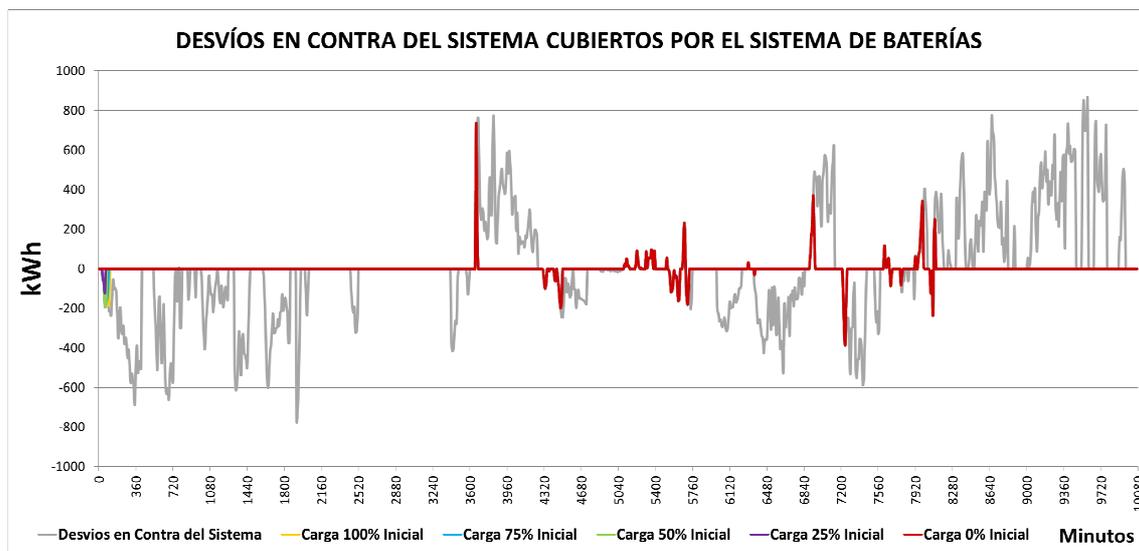


Figura 9.25. Desvíos cubiertos en contra del sistema por el sistema de baterías.

El espectro de la cantidad de energía de los desvíos en contra del sistema ordenado de mayor a menor y los correspondientes desvíos cubiertos por sistema de almacenamiento instalado se muestra en la Figura 9.26.

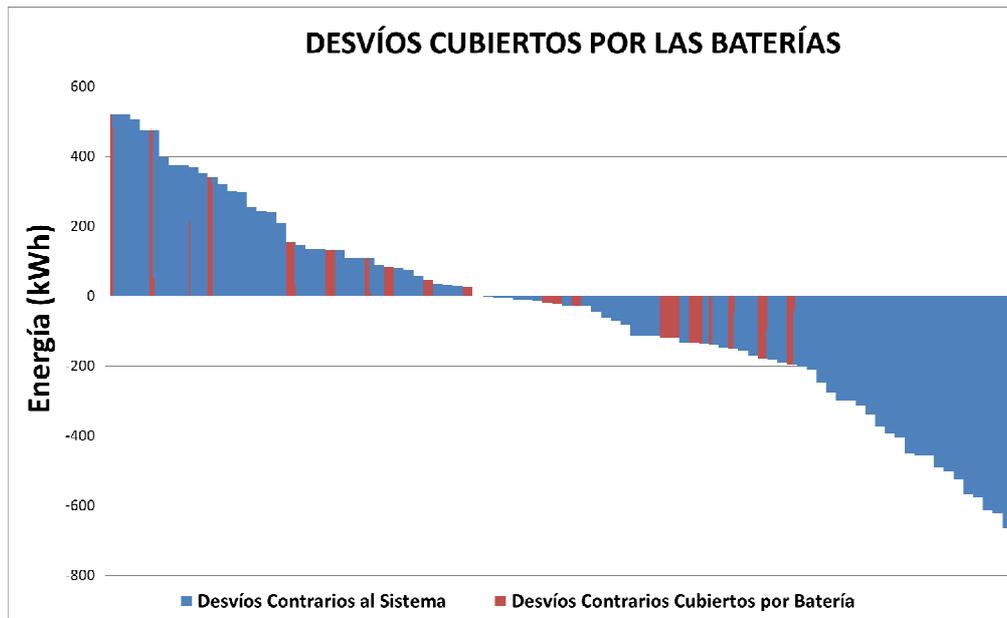


Figura 9.26. Espectro de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Como se puede comprobar, la cantidad de desvíos que se consiguen cubrir con el este sistema de almacenamiento no llega a ser de gran volumen. En la Figura 9.27 se muestran los porcentajes de desvíos en contra del sistema cubiertos en términos de energía.

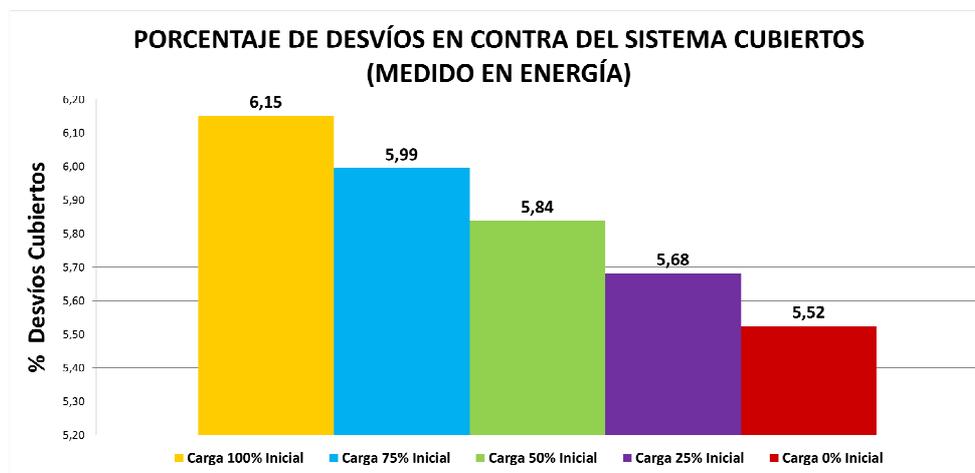


Figura 9.27. Porcentaje de desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Esta cantidad de desvíos en contra del sistema que se cubren suponen un cierto ahorro de costes en comparación con el total de costes incurridos anteriormente cuando no se poseía el sistema de almacenamiento. La Figura 9.28 muestra la comparativa entre costes anteriores sin el sistema de almacenamiento y costes cubiertos al instalar dicho sistema.

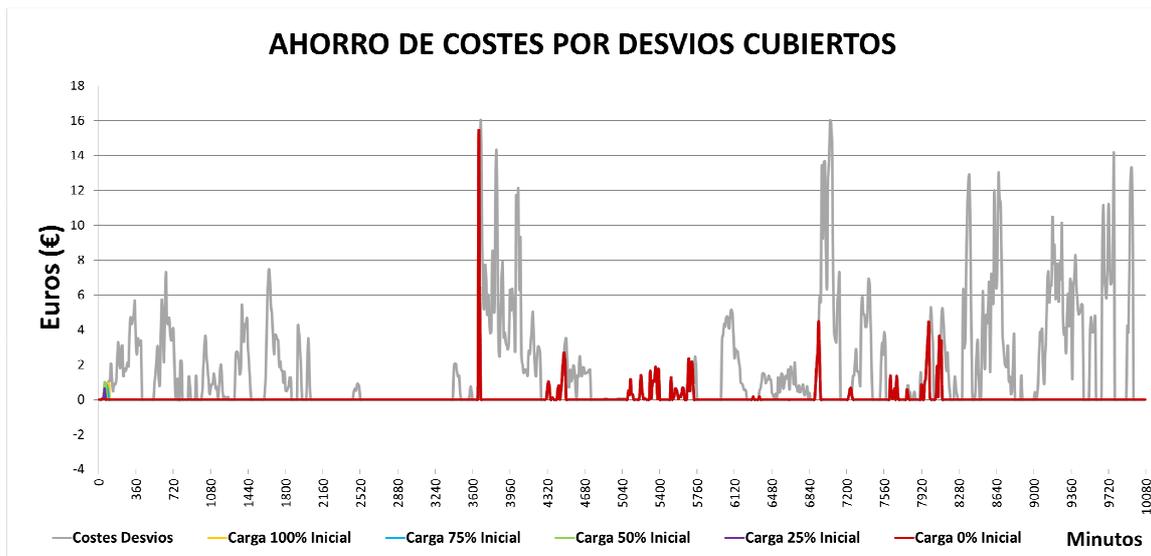


Figura 9.28. Ahorro de costes por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

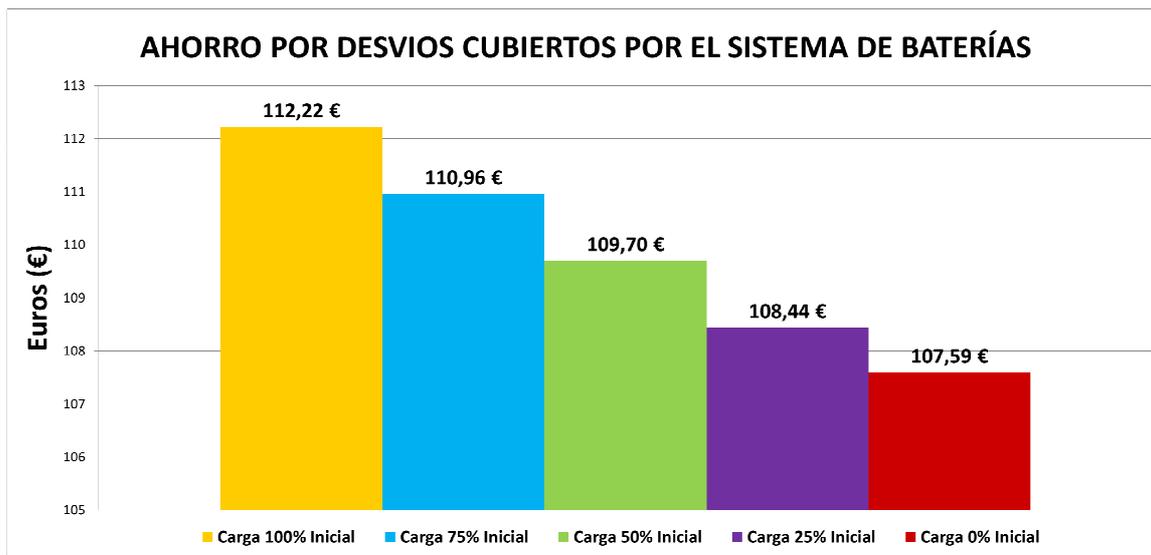


Figura 9.29. Ahorro por desvíos cubiertos en la semana de estudio.

Es importante señalar que la cantidad de dinero ahorrada depende en gran medida del estado inicial de carga del sistema de baterías, ya que en este caso, contra mayor energía almacenada tenga el sistema en su estado inicial, mayores desvíos en contra del sistema cubre y mayores ahorros se producen, tal y como muestra la Figura 9.29.

Para realizar el estudio de viabilidad económica para la instalación de un sistema de almacenamiento con capacidad para 1 MWh se debe tomar un valor de ahorro de costes semanal y un número de ciclos completos de carga/descarga semanal para tenerlos como referencia y poder extrapolarlos al resto de semanas del año.

Como el estado de carga inicial del sistema de almacenamiento irá variando según la semana del año, se decide realizar la media aritmética del ahorro en costes y de los ciclos completos de carga/descarga de los valores obtenidos para los diferentes estados iniciales de carga para tomarlos como referencia en el presente estudio.

$$\text{Ahorro Semanal} = \frac{112,22 + 110,96 + 109,70 + 108,44 + 107,59}{5} = 109,779 \text{ €}$$

$$\text{Ciclos Semanales} = \frac{4,9093 + 4,7843 + 4,6593 + 4,5343 + 4,4093}{5} = 4,6593 \text{ ciclos}$$

Los valores que se tomaran como referencia en el estudio de la instalación del sistema de almacenamiento será un ahorro semanal de unos 109,779 € y una cantidad de ciclos completos de carga/descarga igual a 4,6593.

Los resultados del estudio económico realizado se muestran en la Tabla 14, la cual se puede comprobar en la página siguiente.

Los resultados obtenidos permiten contrastar que, para este caso en particular de un sistema de almacenamiento de 1 MWh, ninguna de las tecnologías estudiadas resulta rentable ya que en el mejor de los casos se obtiene unas pérdidas semanales cercanas a los doscientos treinta euros.

Se puede observar cómo la tecnología sodio-sulfuro, que es la que menores costes de instalación tienen por su desarrollo tecnológico, no es la que menor cantidad de pérdidas presenta, sino que es la tecnología redox de vanadio la que menos pérdidas presenta. Esto se debe a que, a pesar de que ésta tiene gran coste de instalación y mantenimiento, su elevado número de ciclos de carga/descarga la hace una opción que podría ser bastante viable comparado con las otras tecnologías en caso de que el ahorro en los desvíos fuera suficiente. El orden de tecnologías por pérdidas no varía respecto al caso anterior, pero se puede apreciar como la tecnología redox Zn-Br prácticamente se encuentra en un nivel de beneficios (aunque negativos) casi similar a la tecnología de sodio sulfuro.

Tabla 14. Análisis de costes de los distintos sistemas de almacenamiento para una capacidad operativa de 1 MWh.

	IÓN-LITIO	PLOMO ÁCIDO	SODIO SULFURO	REDOX VANADIO	REDOX ZN BR
Rendimiento (%)	94	90	80	90	75
Mínimo Estado de Carga (%)	10	20	10	5	10
Ciclos de Carga/Descarga	4500	2500	4500	20000	12000
Coste de Instalación (€/kWh)	530	360	285	700	385
Coste Mantenimiento (€/kWh·año)	3	2	3	10	13
Capacidad Operativa (kWh)	1000	1000	1000	1000	1000
Capacidad Nominal (kWh)	1182,03	1388,89	1388,89	1169,59	1481,48
Ciclos Completos por Semana	4,6593	4,6593	4,6593	4,6593	4,6593
Vida Útil (Semanas)	965,82	536,57	965,82	4292,53	2575,52
Vida Útil (Años)	18,57	10,32	18,57	82,55	49,53
Coste de Instalación (€)	626.478 €	500.000 €	395.833 €	818.713 €	570.370 €
Coste de Mantenimiento (€)	54.605 €	26.544 €	64.161 €	715.512 €	706.926 €
Costes Totales (€)	681.083 €	526.544 €	459.994 €	1.534.226 €	1.277.296 €
Costes Totales por Semana (€)	705,21 €	981,35 €	476,29 €	357,43 €	495,95 €
Ahorro Desvíos por Semana (€)	129,45 €	122,68 €	129,45 €	128,76 €	128,76 €
Beneficio Semanal (€)	-575,75 €	-858,67 €	-346,83 €	-228,66 €	-367,19 €
Beneficio Anual (€)	-29.939 €	-44.650 €	-18.035 €	-11.890 €	-19.094 €

9.5. Conclusiones del Estudio

Tras haber realizado el estudio del coste que supondría la instalación de un sistema de almacenamiento de energía en forma de baterías y el ahorro en costes que dicho sistema implicaría por la disminución de una cierta parte de los desvíos en contra del sistema, se llega a la conclusión de que en ninguno de los escenarios propuestos resultará rentable económicamente la instalación de dicho sistema de baterías.

La Figura 9.30 muestra la evolución de los beneficios anuales obtenidos en función de la capacidad del sistema de almacenamiento que se desea instalar en el parque eólico.

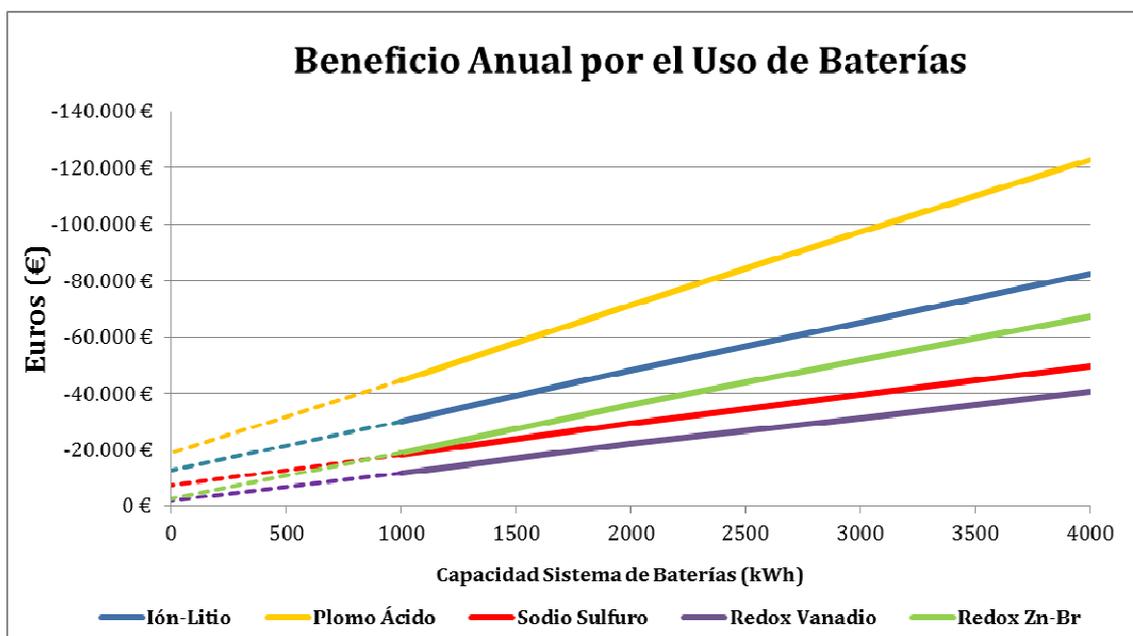


Figura 9.30. Beneficios anuales al instalar un sistema de almacenamiento.

Se puede comprobar que la tendencia que siguen todas las tecnologías de baterías que se han estudiado es que el beneficio reportado por ellas no cruzará el eje de abscisas para un valor de capacidad del sistema de acumulación de energía positivo.

Esto nos hace concluir que en ningún caso será rentable la instalación de un sistema de almacenamiento para un parque eólico como el estudiado. De esta forma, resultará menos perjudicial para el productor de energía que sea propietario del parque eólico el pago de los desvíos en contra del sistema.

Cabe destacar que prácticamente en ninguna de las instalaciones eólicas que existen en España existe una instalación de almacenamiento de energía para hacer frente a los costes de los desvíos en contra del sistema.

La posibilidad de aumentar el beneficio total de la producción energética de un parque eólico mediante la implementación de un sistema de almacenamiento a través de baterías electroquímicas está todavía lejos de llegar a ser viable en un escenario como el actual.

Las principales causas de que la rentabilidad económica de una inversión como la que se estudia sea aun inexistente son las siguientes:

- Los precios de adquisición y de instalación de los sistemas de almacenamiento por unidad de energía almacenada aún son muy elevados para la gran cantidad de energía que se necesita almacenar en un parque eólico como el estudiado.
- Los precios de mantenimiento anuales por unidad de energía almacenada en la mayoría de los casos suponen un desembolso anual extra que, en la mayoría de ocasiones, supone la misma cuantía que los desvíos en contra del sistema que se cubren con el sistema de baterías instalado.
- Escaso porcentaje de reducción de los desvíos en contra del sistema, que se hace menor a medida que la capacidad total del sistema de almacenamiento a instalar es menor.

Dado que prácticamente todas las tecnologías de almacenamiento con baterías están en pleno estudio y desarrollo, sobretudo las tecnologías de las baterías de flujo, el precio de las distintas tecnologías deberá de ir disminuyendo a lo largo del tiempo a medida que se avanza en su desarrollo.

Es posible que actualmente no resulte viable económicamente realizar una inversión en una instalación como las estudiadas en un parque eólico, pero si la tendencia de estos últimos años continúa, en los que el precio de las tecnologías de baterías electroquímicas cada vez es menor (precio por unidad de energía almacenada), es muy probable que en unos 10 o 15 años sea una opción a tener muy en cuenta en cualquier central productora de energía eléctrica a partir de la energía eólica.

En el siguiente apartado se va a realizar un pequeño estudio sobre el número de años que han de pasar para comenzar a ser rentable esta tecnología. Para ello se tomará como base la predicción de la evolución de los costes de las tecnologías de almacenamiento de energía en forma de baterías electroquímicas en los próximos años.

10. Estudio del Año para Hacer la Inversión

El estudio de apartado anterior pone de manifiesto que la realización de una inversión para instalar un sistema de almacenamiento de energía en forma de baterías no resulta a día de hoy rentable debido al precio actual de la tecnología.

Sin embargo, la evolución del precio de las tecnologías de almacenamiento de energía basadas en baterías electroquímicas ha sufrido en las dos últimas décadas un profundo descenso debido al gran avance de la investigación en este campo científico y debido al desarrollo de dichas tecnologías.

Cada vez se consiguen obtener sistemas de almacenamiento con una mayor capacidad nominal, con mayor relación entre capacidad y peso/tamaño del sistema y con un menor precio por unidad de energía almacenada.

En la Figura 10.1 se puede apreciar un ejemplo de cómo ha sido la evolución del precio de uno de los sistemas de almacenamiento que se han considerado en este proyecto a lo largo de los últimos veinte años, concretamente se trata de la tecnología de las baterías de ión-litio^[41]. Se puede apreciar cómo la forma de la curva se asemeja bastante a las curvas de aprendizaje, de tipo exponencial.

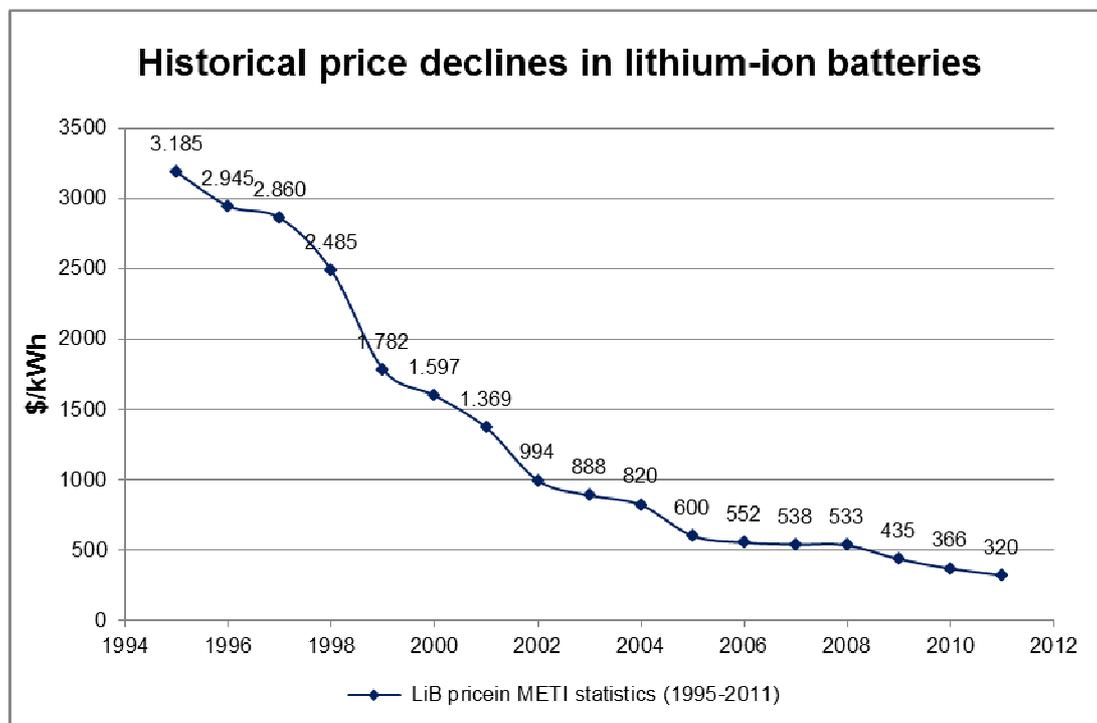


Figura 10.1. Evolución de los precios de las baterías de Ión-Litio entre 1995 y 2011.

Esta misma evolución de los precios de las baterías de ión-litio hasta reducirse por un factor de 10 es también compartida por el ingeniero Ramez Naam, integrante del Instituto de Ética y Tecnologías Emergentes, que se puede comprobar en la Figura 10.2. Además, se puede comprobar la evolución que ha sufrido la relación entre la capacidad y el peso del sistema de almacenamiento considerado ^[42].

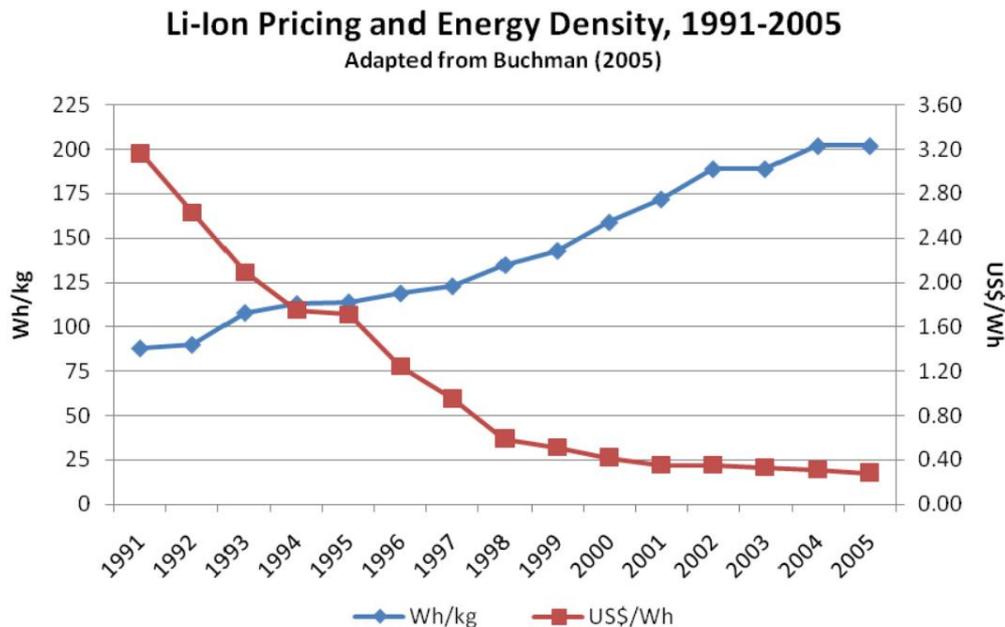


Figura 10.2. Evolución de los precios y de la densidad de energía acumulada en las baterías de Ión-Litio entre 1991 y 2005.

En caso de que esta tendencia se mantenga a lo largo del tiempo, es más que probable que la instalación de un sistema de almacenamiento de baterías electroquímicas llegue a ser rentable económicamente en menos de 10 años.

Por ello, en este apartado realizaremos un estudio para realizar una estimación del año en que puede comenzar a resultar rentable la instalación de un sistema como el descrito.

En primer lugar es necesario realizar una previsión de la evolución que cabe esperar en el precio de las tecnologías de baterías consideradas a partir del año actual. Se supone que esta evolución deberá ser aproximadamente similar a la que ha tenido en los últimos años, como se puede ver en las figuras anteriores.

En uno de los numerosos estudios acerca del almacenamiento de energía del ingeniero Ramez Naam se describe una predicción de la evolución de los precios que tendrán la tecnología de baterías de plomo-ácido en el futuro. La Figura 10.3 muestra la gráfica en la que se representa la evolución de los precios estimada para dicha tecnología ^[42].

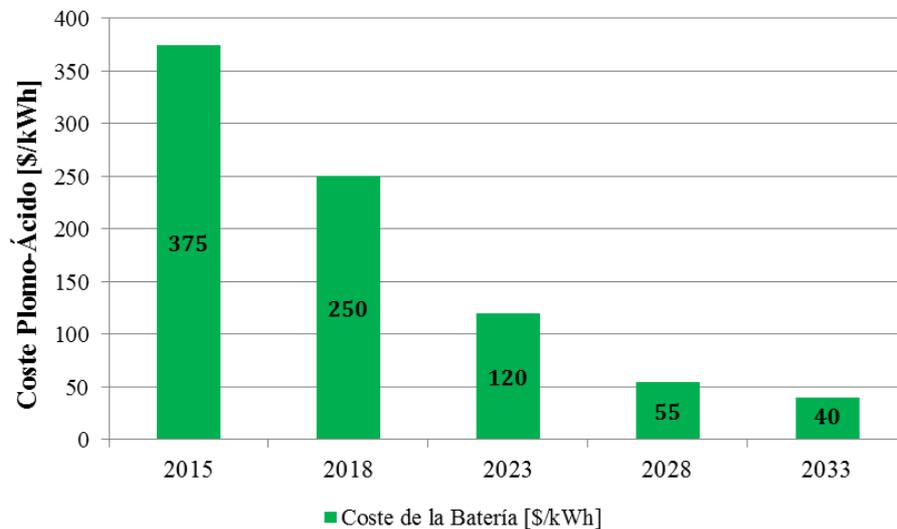


Figura 10.3. Estimación de la evolución de los precios en las baterías de plomo ácido a partir del año 2015.

A partir de estos valores se puede obtener una curva que aproxime la evolución que se espera en los precios de las baterías de plomo ácido. Esta curva se puede extrapolar a las demás tecnologías estudiadas como su evolución de los precios; se debe transformar la curva de unos valores absolutos a unos valores relativos para poder asociarla a cada una de las tecnologías estudiadas, teniendo como referencia su precio de partida en el año de estudio.

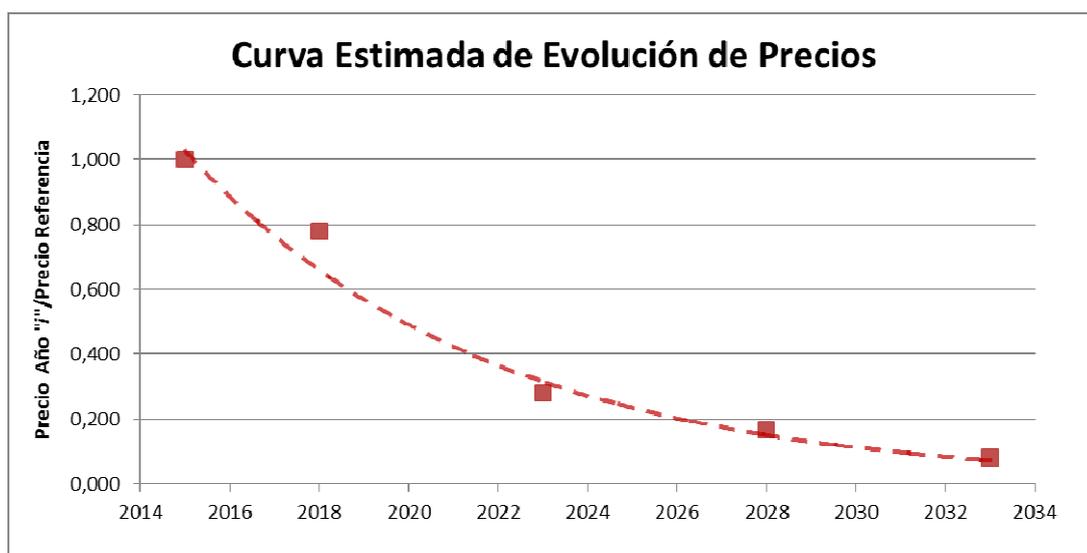


Figura 10.4. Curva de evolución estimada de los precios de las baterías.

Esta curva que se ha construido va a servir de referencia para realizar un estudio en el que se pueda comprobar la evolución del beneficio semanal que se puede obtener según el año de instalación del sistema de almacenamiento, ya que se supondrá que los precios evolucionarán de manera decreciente a través de dicha curva.

Mediante un programa desarrollado en Matlab, descrito en el Anexo I del documento, se procede a realizar el estudio de los años en los que la instalación de un sistema de almacenamiento comenzaría a generar beneficios para el productor de energía.

Lo que realiza este programa de Matlab que se ha desarrollado es estudiar año por año el beneficio semanal que se obtiene al instalar un sistema de almacenamiento para todas las capacidades de un cierto intervalo que el usuario selecciona, indicando la capacidad óptima en cada año, es decir, aquella de todas las consideradas que generaría un mayor beneficio semanal. Cada año que pase del actual se considerará el coste de instalación y de mantenimiento del sistema de almacenamiento como el de referencia (el del año de inicio del estudio) multiplicado por el factor correspondiente al año considerado, el cual viene dado por la curva de la Figura 10.4.

Como resultado, el programa genera una gráfica que recoge los beneficios semanales en cada uno de los años estudiados y para cada una de las capacidades del intervalo que el usuario haya seleccionado. Además, indicará a través de la consola de comandos el valor numérico de la capacidad óptima y de su correspondiente beneficio para cada año que se haya estudiado, lo cual se encuentra señalado también en la gráfica a través de un punto de color rojo.

A continuación, en este apartado lo que se presenta son los resultados obtenidos del estudio para cada una de las tecnologías que se han considerado (ión-litio, plomo ácido, sodio sulfuro, redox vanadio, redox Zn-Br).

En primer lugar se presenta la gráfica obtenida como resultado del estudio y, tras ella, los resultados numéricos de cada una de las capacidades óptimas resultantes para cada uno de los años en los que se realiza el estudio.

A raíz de los resultados obtenidos se realizará una serie de conclusiones en relación al año en el que comenzaría a ser rentable la instalación de ese tipo de tecnología.

Una vez que se haya realizado el estudio de todos los tipos de baterías, se realizará una comparación entre todos ellos para poder analizar la forma en la que cada tipo de batería pueda llegar a ayudar a la consecución de la mayor cantidad de beneficios posible a la semana.

Hay que destacar que, a pesar de que el periodo de tiempo de referencia del estudio de partida de los costes de los desvíos es de una semana, los resultados acaban reflejándose en forma anual para poder realizar una más adecuada comparación entre los valores numéricos obtenidos.

10.1. Tecnología Ión-Litio

El estudio realizado para la tecnología de baterías de ión-litio en el que se calcula los beneficios obtenidos en función del año de inversión permite obtener unos resultados que se muestran de forma gráfica en la Figura 10.5 y de forma numérica en la Tabla 15.

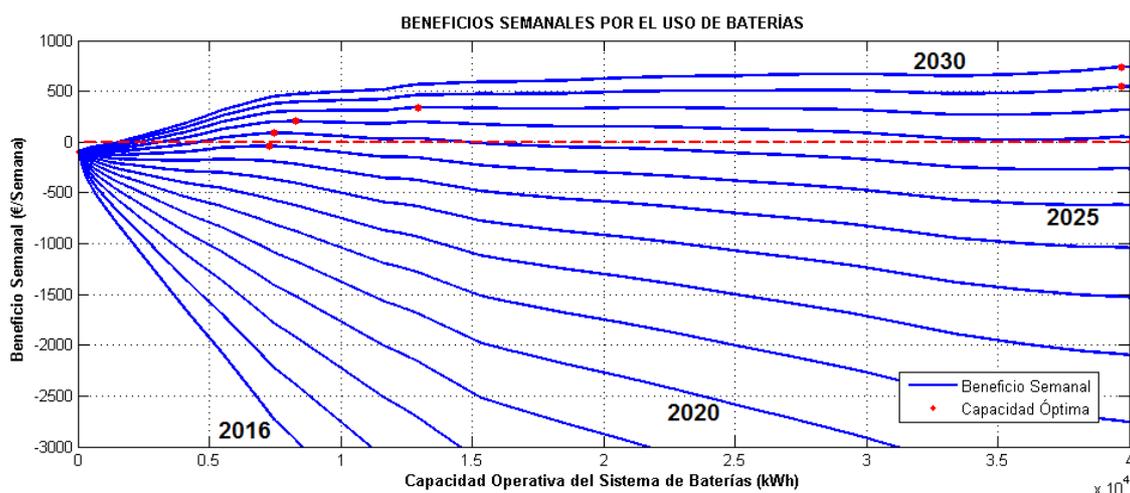


Figura 10.5. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías de ión-litio entre 2016 y 2030.

Tabla 15. Máximo beneficio semanal por instalar baterías de ión-litio.

Año Inversión	Beneficio Semanal	Capacidad Nominal
2016	-97,97 €	10,64 kWh
2017	-97,78 €	10,64 kWh
2018	-97,61 €	10,64 kWh
2019	-97,74 €	10,64 kWh
2020	-97,35 €	10,64 kWh
2021	-97,25 €	10,64 kWh
2022	-96,66 €	18,91 kWh
2023	-96,15 €	18,91 kWh
2024	-94,84 €	37,83 kWh
2025	-39,47 €	8.585,11 kWh
2026	87,68 €	8.800,24 kWh
2027	204,28 €	9.799,05 kWh
2028	342,66 €	15.307,33 kWh
2029	545,19 €	46.950,35 kWh
2030	741,45 €	46.950,35 kWh

De los resultados obtenidos se puede afirmar que el año a partir del cual comienza a ser rentable la inversión en un sistema de almacenamiento de baterías de ión-litio es en el año 2026. El beneficio semanal máximo en dicho año se obtiene para una capacidad nominal instalada de 8800 kWh, que equivale a una capacidad operativa de 7445 kWh.

10.2. Tecnología Plomo Ácido

El estudio realizado para la tecnología de baterías de plomo ácido en que se calcula los beneficios obtenidos en función del año de inversión permite obtener unos resultados que se muestran de forma gráfica en la Figura 10.6 y de forma numérica en la Tabla 16.

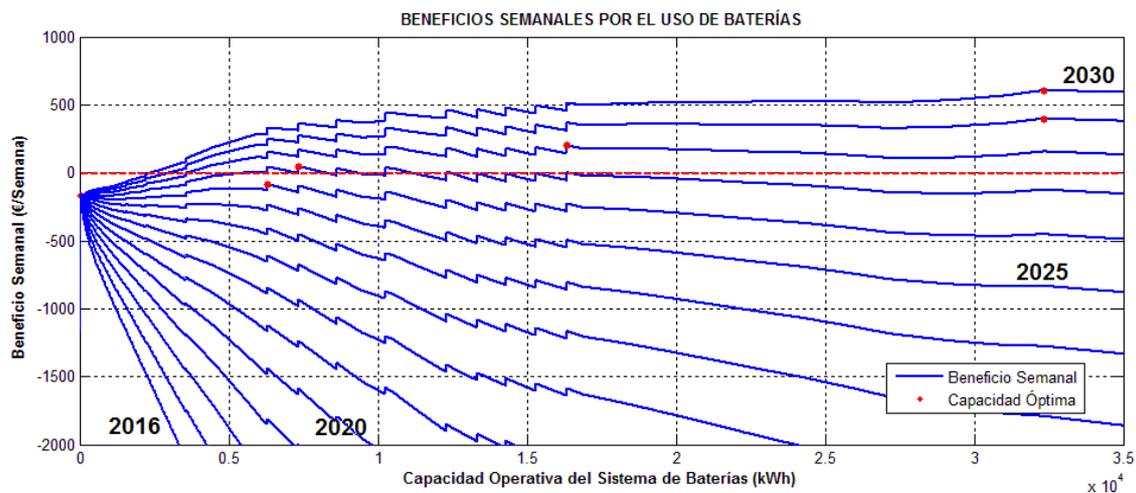


Figura 10.6. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías de plomo ácido entre 2016 y 2030.

Tabla 16. Máximo beneficio semanal por instalar baterías de plomo ácido.

Año Inversión	Beneficio Semanal	Capacidad Nominal
2016	-174,38 €	20,83 kWh
2017	-173,06 €	13,89 kWh
2018	-171,71 €	13,89 kWh
2019	-170,54 €	13,89 kWh
2020	-169,54 €	13,89 kWh
2021	-168,68 €	13,89 kWh
2022	-167,95 €	13,89 kWh
2023	-167,31 €	13,89 kWh
2024	-166,77 €	13,89 kWh
2025	-165,31 €	66,67 kWh
2026	-85,87 €	8.745,83 kWh
2027	45,14 €	10.205,56 kWh
2028	198,23 €	22.697,22 kWh
2029	396,65 €	44.926,39 kWh
2030	604,40 €	44.926,39 kWh

De los resultados obtenidos se puede afirmar que el año a partir del cual comienza a ser rentable la inversión en un sistema de almacenamiento de baterías de plomo ácido es en el 2027. El beneficio semanal máximo en dicho año se obtiene para una capacidad nominal instalada de 10205 kWh, que equivale a una capacidad operativa de 7348 kWh.

10.3. Tecnología Sodio Sulfuro

El estudio realizado para la tecnología de baterías de sodio sulfuro en que se calcula los beneficios obtenidos en función del año de inversión permite obtener unos resultados que se muestran de forma gráfica en la Figura 10.7 y de forma numérica en la Tabla 17.

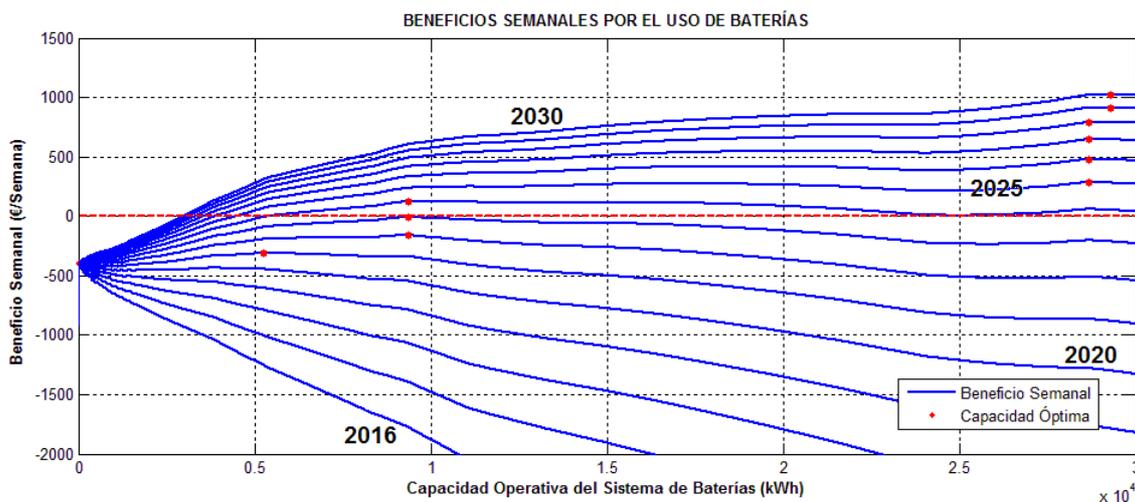


Figura 10.7. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías de sodio sulfuro entre 2016 y 2030.

Tabla 17. Máximo beneficio semanal por instalar baterías de sodio sulfuro.

Año Inversión	Beneficio Semanal	Capacidad Nominal
2016	-398,97 €	31,94 kWh
2017	-397,18 €	31,94 kWh
2018	-395,62 €	38,89 kWh
2019	-393,92 €	38,89 kWh
2020	-392,46 €	38,89 kWh
2021	-309,22 €	7.308,33 kWh
2022	-159,55 €	13.029,17 kWh
2023	-6,18 €	13.029,17 kWh
2024	125,63 €	13.029,17 kWh
2025	286,66 €	39.825,00 kWh
2026	480,88 €	39.825,00 kWh
2027	647,86 €	39.825,00 kWh
2028	791,35 €	39.825,00 kWh
2029	914,85 €	40.715,28 kWh
2030	1.021,92 €	40.715,28 kWh

De los resultados obtenidos se puede afirmar que el año a partir del cual comienza a ser rentable la inversión en un sistema de almacenamiento de baterías de sodio sulfuro es en el 2024. El beneficio semanal máximo en dicho año se obtiene para una capacidad nominal instalada de 13030 kWh, que equivale a una capacidad operativa de 9381 kWh.

10.4. Tecnología Redox Vanadio

El estudio realizado para la tecnología de baterías redox de vanadio en que se calcula los beneficios obtenidos según el año de inversión permite obtener unos resultados que se muestran de forma gráfica en la Figura 10.8 y de forma numérica en la Tabla 18.

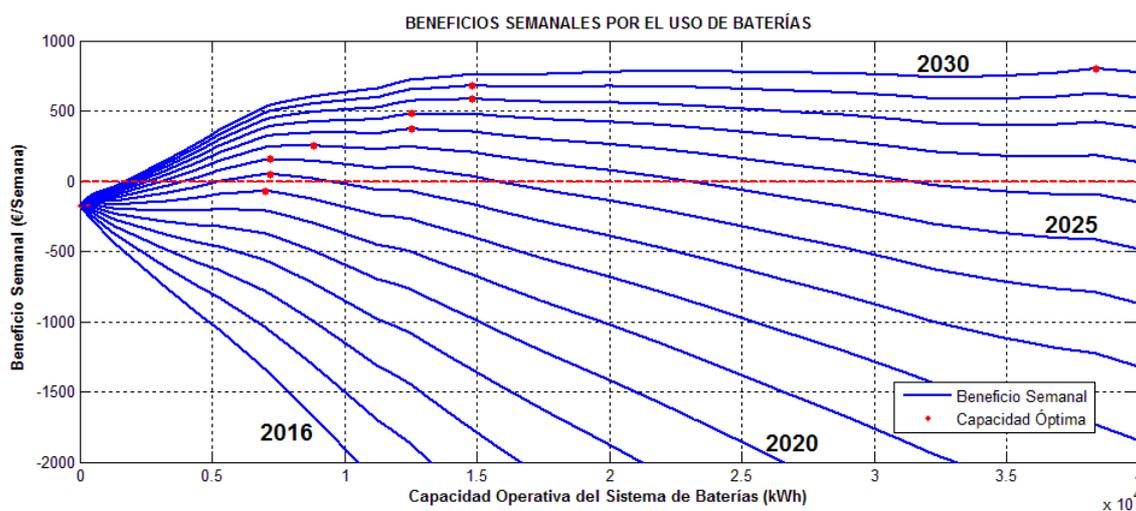


Figura 10.8. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías redox de vanadio entre 2016 y 2030.

Tabla 18. Máximo beneficio semanal por instalar baterías redox de vanadio.

Año Inversión	Beneficio Semanal	Capacidad Nominal
2016	-173,17 €	4,68 kWh
2017	-173,05 €	5,85 kWh
2018	-172,91 €	5,85 kWh
2019	-172,79 €	5,85 kWh
2020	-172,69 €	9,36 kWh
2021	-166,70 €	363,74 kWh
2022	-72,77 €	8.215,20 kWh
2023	48,40 €	8.421,05 kWh
2024	154,26 €	8.421,05 kWh
2025	250,58 €	10.332,16 kWh
2026	370,67 €	14.651,46 kWh
2027	479,05 €	14.651,46 kWh
2028	586,47 €	17.323,98 kWh
2029	679,53 €	17.323,98 kWh
2030	799,70 €	44.911,11 kWh

De los resultados obtenidos se puede afirmar que el año a partir del cual comienza a ser rentable la inversión en un sistema de almacenamiento de baterías redox de vanadio es en el 2023. El beneficio semanal máximo en dicho año se obtiene para una capacidad nominal instalada de 8420 kWh, que equivale a una capacidad operativa de 7200 kWh.

10.5. Tecnología Redox Zinc-Bromo

El estudio realizado para la tecnología de baterías redox de Zn-Br en que se calcula los beneficios obtenidos según el año de inversión permite obtener unos resultados que se muestran de forma gráfica en la Figura 10.9 y de forma numérica en la Tabla 19.

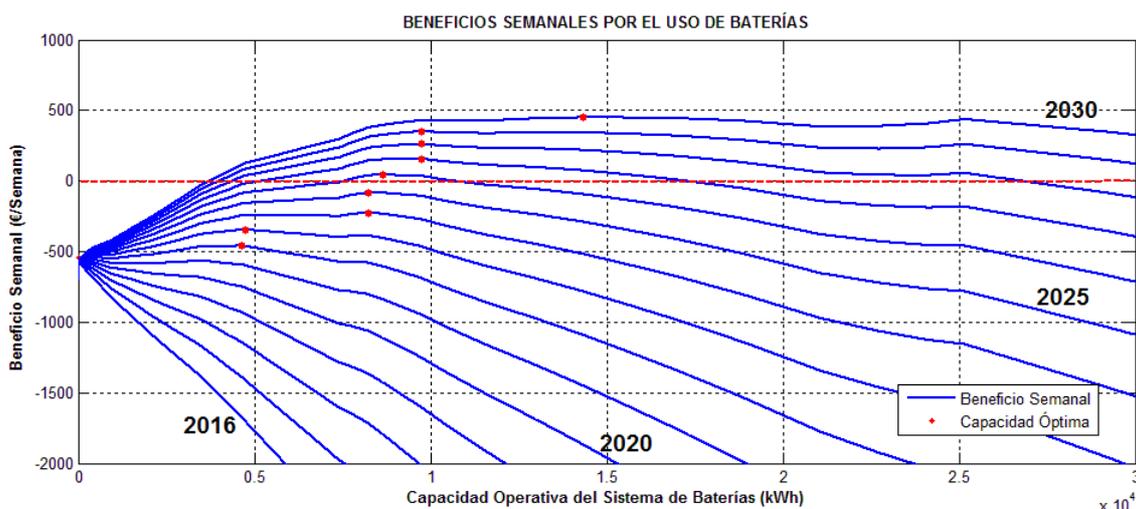


Figura 10.9. Evolución de los beneficios semanales por instalar baterías redox de zinc-bromo entre 2016 y 2030.

Tabla 19. Máximo beneficio semanal por instalar baterías redox de zinc-bromo.

Año Inversión	Beneficio Semanal	Capacidad Nominal
2016	-546,32 €	4,44 kWh
2017	-545,89 €	4,44 kWh
2018	-545,52 €	4,44 kWh
2019	-545,21 €	4,44 kWh
2020	-544,93 €	4,44 kWh
2021	-544,70 €	4,44 kWh
2022	-460,01 €	6.851,85 kWh
2023	-344,67 €	7.022,22 kWh
2024	-224,37 €	12.214,81 kWh
2025	-82,75 €	12.216,30 kWh
2026	41,48 €	12.817,78 kWh
2027	157,03 €	14.441,48 kWh
2028	261,90 €	14.441,48 kWh
2029	352,05 €	14.442,96 kWh
2030	448,50 €	21.231,11 kWh

De los resultados obtenidos se puede afirmar que el año a partir del cual comienza a ser rentable la inversión en un sistema de almacenamiento de baterías redox de Zn-Br es en el 2026. El beneficio semanal máximo en dicho año se obtiene para una capacidad nominal instalada de 12820 kWh, que equivale a una capacidad operativa de 8652 kWh.

10.6. Conclusiones del Estudio:

Con los resultados económicos obtenidos en los estudios de cada una de las tecnologías de baterías se ha construido una gráfica que muestra la evolución del beneficio máximo anual que se puede obtener según el año en el que realizar la inversión en el sistema de almacenamiento, la cual se muestra en la Figura 10.10.

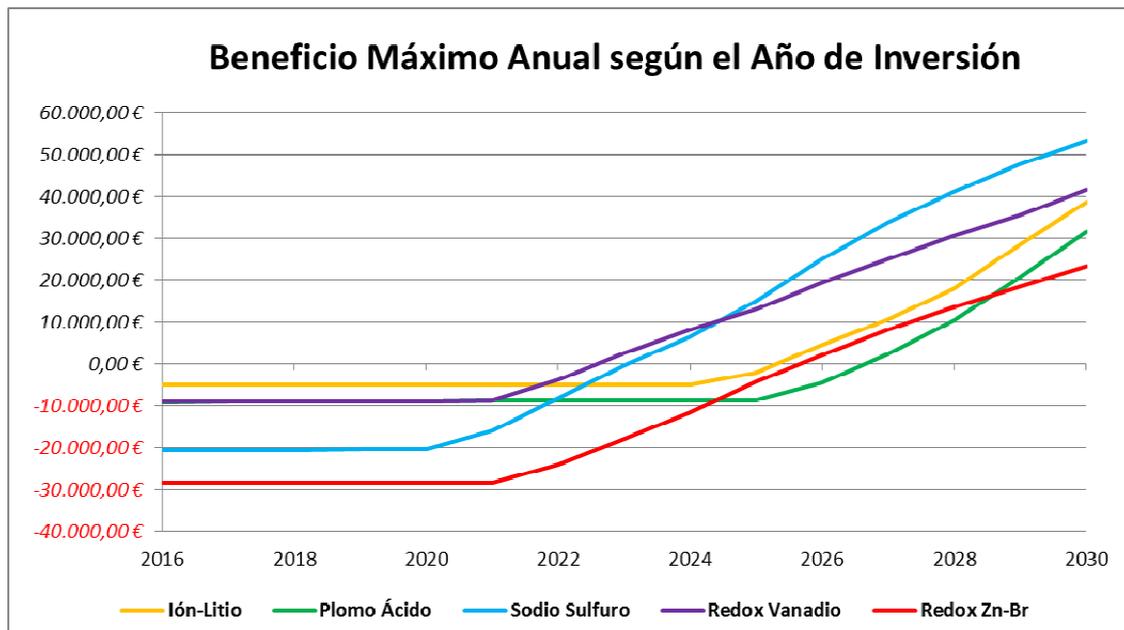


Figura 10.10. Beneficio máximo anual según el año en que realizar la inversión.

Si realizamos un análisis de la gráfica, podemos observar como la tecnología redox de vanadio es la primera de todas que comienza a ser rentable en su empleo. La segunda de las tecnologías que comienzan a ser rentables en el tiempo son las de sodio sulfuro, que comienza a dar beneficios tan sólo un año después de la tecnología redox de vanadio; sin embargo, los beneficios obtenidos por la instalación de la tecnología de sodio sulfuro consiguen superar a los de la tecnología redox de vanadio si la instalación se demorase un año más, es decir, si se realizase a partir del año 2025.

De la misma forma ocurre con las tecnologías de plomo ácido y redox Zn-Br, ya que la tecnología redox Zn-Br comienza a ser rentable un par de años antes que la tecnología de plomo ácido, pero esta última es capaz de superar los beneficios obtenidos por la anterior si se demorase la inversión un par de años más. En cuanto a la tecnología de ión-litio, es la tercera tecnología en comenzar a generar beneficios y su tendencia a largo plazo parece que puede llegar incluso a superar los beneficios de la tecnología redox de vanadio si la inversión se realizará en años posteriores al 2030.

La conclusión final que nos permite sacar todos los estudios realizados a lo largo del presente proyecto resulta sencilla y es la que se expone a continuación.

Se puede comprobar como a lo largo de los últimos años las tecnologías de almacenaje de energía en forma de baterías electroquímicas están sufriendo un gran descenso, el cual se debe al aumento de fondos para la investigación y el desarrollo de este campo científico por parte de un gran número de entidades, tanto públicas como privadas, en todo el mundo.

Sin embargo, a día de hoy los precios de las tecnologías existentes, a pesar de ser muy competitivos, no resultan suficientemente bajos como para una aplicación como la que se estudia en el presente proyecto, la cual es el empleo de un sistema de almacenamiento en forma de baterías para hacer frente a los desvíos en contra del sistema de una central de producción de energía eléctrica renovable, como es el caso del parque eólico que se ha tomado como referencia (Parque Eólico Experimental de Sotavento, en Galicia).

El hecho de que actualmente resulte más beneficioso el pago de los desvíos en contra del sistema que ocurra en la central de producción a lo largo del año no supone que sea así dentro de los próximos años. Al contrario, si continúa la tendencia de decremento de los precios en las tecnologías de las baterías electroquímicas de los últimos años, puede resultar una opción a tener muy en cuenta en unos 8 o 10 años.

Esto se debe, por un lado, al aumento del precio de la energía que ocurre año a año y que, en consecuencia, se reflejará en un mayor pago al operador del sistema eléctrico por los desvíos en contra del sistema, mientras que por otro lado el precio de esta tecnología irá disminuyendo conforme avance la investigación en este campo tecnológico.

Es posible que en un plazo de 10 años existan numerosas centrales de producción de energía renovable, tanto eólica como fotovoltaica, en las que sea imprescindible instalar un sistema de almacenamiento de este tipo para poder conseguir dos objetivos: el ahorro en costes de los desvíos en contra del sistema y la regulación del propio sistema de energía eléctrica en su conjunto, ya que permite que la producción se adapte lo máximo posible a la previsión realizada y ofertada a los mercados eléctricos.

Actualmente existen numerosos estudios que están siendo subvencionados en materia de almacenamiento de energía en la red eléctrica para poder desarrollar esta tecnología y hacerla rentable y útil en un futuro no muy lejano.

Destacamos de nuevo el “Proyecto Almacena” que está siendo desarrollado por Red Eléctrica España desde el año 2013 con la instalación de un sistema de almacenamiento basado en baterías electroquímicas de ión-litio en la subestación de Carmona (Sevilla) para el estudio de la mejora de la eficiencia del sistema eléctrico. Este proyecto resulta un claro ejemplo del tipo de estudios e investigaciones que se están llevando a cabo para el desarrollo de este tipo de aplicaciones.

11. Estudio de Sensibilidad

En el estudio económico realizado en el presente proyecto se han tomado unos valores de referencia para el porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y para el porcentaje anual de decremento del precio del dinero del 6% y 5% respectivamente.

Sin embargo, bien es sabido que la estimación de estos valores porcentuales, a pesar de ser resultado de estudios económicos muy amplios y detallados, la mayoría de las veces no se corresponden con la realidad que finalmente acaba teniendo lugar.

Es por ello por lo que se cree conveniente realizar un breve estudio de la variación de los resultados económicos obtenidos para valores del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual de decremento del precio del dinero un 1% por encima y por debajo del valor de referencia tomado. Por tanto, se estudiará el valor del beneficio anual obtenido en función de un porcentaje anual de aumento del precio de la energía de entre el 7% y el 5%, así como en función de un porcentaje anual de decremento del precio del dinero de entre el 6% y el 4%.

De esta manera se podrá comprobar los márgenes en los que el resultado económico se movería, para que fuese algo más cercano a las posibles variaciones que estos valores de porcentaje pudieran experimentar realmente para el periodo estudiado.

11.1. Estudio Económico de Beneficios

En primer lugar se estudia los resultados económicos que se producirían en el caso de la tecnología de baterías de ión-litio. Para la realización de este estudio se toma un valor de capacidad de 1 MWh y un estado inicial de carga del 50%. Los cálculos se realizan con el programa de Matlab que se ha desarrollado y el cual se detalla en el Anexo I del presente documento. Los resultados del estudio realizado se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Beneficio anual obtenido para la tecnología de ión-litio en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero.

		Incremento Anual Precio Energía Eléctrica		
		7 %	6 %	5 %
Interés o Tasa de Descuento del Dinero	6 %	-29.720,08 €.	-30.303,52 €	-30.824,04 €.
	5 %	-29.278,60 €.	-29.939,00 €	-30.528,16 €.
	4 %	-28.769,00 €.	-29520,40 €	-30.188,08 €.

Se puede comprobar cómo a medida que el porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica aumenta y el porcentaje anual de decremento del precio del dinero disminuye, el beneficio obtenido resulta mejor, aunque en este caso dicho beneficio lo que va a representar es un menor valor de pérdidas. La diferencia entre el mayor y el menor de los beneficios reportados resulta ser de unos 2000 € anuales, de manera que la variabilidad de los valores porcentuales respecto a los tomados como referencia no llega a ser muy grande, ya que este intervalo representa únicamente un 6,6% del valor de referencia.

En segundo lugar se estudia los resultados económicos que se producirían en el caso de la tecnología de baterías de plomo-ácido. Para la realización de este estudio se toma un valor de capacidad de 1 MWh y un estado inicial de carga del 50%. Los cálculos se realizan con el programa de Matlab que se ha desarrollado y se detalla en el Anexo I del presente documento. Los resultados del estudio realizado se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Beneficio anual obtenido para la tecnología de plomo-ácido en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero.

		Incremento Anual Precio Energía Eléctrica		
		7 %	6 %	5 %
Interés o Tasa de Descuento del Dinero	6 %	-44.542,68 €.	-44837,52 €.	-45.116,24 €.
	5 %	-44.335,20 €.	-44.650,84 €.	-44.948,80 €.
	4 %	-44.111,08 €.	-44.449,09 €.	-44.767,84 €.

Se puede comprobar cómo a medida que el porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica aumenta y el porcentaje anual de decremento del precio del dinero disminuye, el beneficio obtenido resulta mejor, aunque en este caso dicho beneficio lo que va a representar es un menor valor de pérdidas. La diferencia entre el mayor y el menor de los beneficios reportados resulta ser de unos 1000 € anuales, de manera que la variabilidad de los valores porcentuales respecto a los tomados como referencia no llega a ser representativa, ya que este intervalo es sólo un 2,2% del valor de referencia.

En tercer lugar se estudia los resultados económicos que se producirían en el caso de la tecnología de baterías de sodio-sulfuro. Para la realización de este estudio se toma un valor de capacidad de 1 MWh y un estado inicial de carga del 50%. Los cálculos se realizan con el programa de Matlab que se ha desarrollado y se detalla en el Anexo I del presente documento. Los resultados del estudio realizado se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Beneficio anual obtenido para la tecnología de sodio-sulfuro en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero.

		Incremento Anual Precio Energía Eléctrica		
		7 %	6 %	5 %
Decremento Precio Dinero	6 %	-17.777,24 €.	-18.360,16 €.	-18.880,68 €.
	5 %	-17.374,76 €.	-18.035,16 €.	-18.624,32 €.
	4 %	-16.909,88 €.	-17.661,28 €.	-18.328,96 €.

Se puede comprobar cómo a medida que el porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica aumenta y el porcentaje anual de decremento del precio del dinero disminuye, el beneficio obtenido resulta mejor, aunque en este caso dicho beneficio lo que va a representar es un menor valor de pérdidas. La diferencia entre el mayor y el menor de los beneficios reportados resulta ser de unos 2000 € anuales, de manera que la variabilidad de los valores porcentuales respecto a los tomados como referencia sí que puede ser representativa, ya que este intervalo es un 11,1% del valor de referencia.

En cuarto lugar se estudia los resultados económicos que se producirían en el caso de la tecnología de baterías de redox de vanadio. Para la realización de este estudio se toma un valor de capacidad de 1 MWh y un estado inicial de carga del 50%. Los cálculos se realizan con el programa de Matlab que se ha desarrollado y se detalla en el Anexo I del presente documento. Los resultados del estudio realizado se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Beneficio anual obtenido para la tecnología de redox de vanadio en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero.

		Incremento Anual Precio Energía Eléctrica		
		7 %	6 %	5 %
Decremento Precio Dinero	6 %	-11.067,68 €.	-11.823,24 €.	-12.472,72 €.
	5 %	-11.007,36 €.	-11.890,32 €.	-12.653,68 €.
	4 %	-10.903,36 €.	-11.957,40 €.	-12.858,56 €.

Se puede comprobar cómo a medida que el porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica aumenta y el porcentaje anual de decremento del precio del dinero disminuye, el beneficio obtenido resulta mejor, aunque en este caso dicho beneficio lo que va a representar es un menor valor de pérdidas. La diferencia entre el mayor y el menor de los beneficios reportados resulta ser de unos 2000 € anuales, de manera que la variabilidad de los valores porcentuales respecto a los tomados como referencia sí que puede ser representativa, ya que este intervalo es un 16,8% del valor de referencia.

En quinto y último lugar se estudia los resultados económicos que se producirían en el caso de la tecnología de baterías de redox Zn-Br. Para la realización de este estudio se toma un valor de capacidad de 1 MWh y un estado inicial de carga del 50%. Los cálculos se realizan con el programa de Matlab que se ha desarrollado y se detalla en el Anexo I del presente documento. Los resultados del estudio realizado se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Beneficio anual obtenido para la tecnología redox Zn-Br en función del porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica y del porcentaje anual del decremento del precio del dinero.

		Incremento Anual Precio Energía Eléctrica		
		7 %	6 %	5 %
Decremento Precio Dinero	6 %	-17.733,56 €.	-18.489,12 €.	-19.138,60 €.
	5 %	-18.203,64 €.	-19.093,88 €.	-19.856,72 €.
	4 %	-18.737,68 €.	-19.791,72 €.	-20.692,88 €.

Se puede comprobar cómo a medida que el porcentaje anual de aumento del precio de la energía eléctrica aumenta y el porcentaje anual de decremento del precio del dinero disminuye, el beneficio obtenido resulta mejor, aunque en este caso dicho beneficio lo que va a representar es un menor valor de pérdidas. La diferencia entre el mayor y el menor de los beneficios reportados resulta ser de unos 2.000 € anuales, de manera que la variabilidad de los valores porcentuales respecto a los tomados como referencia sí que puede ser representativa, ya que este intervalo es un 10,5% del valor de referencia.

Como conclusión a este estudio se puede comprobar que la variación de porcentajes anuales de aumento del precio de la energía y de decremento del precio del dinero no van a influir notablemente en los beneficios obtenidos en la tecnología de baterías de ión-litio y plomo-ácido, pero sí que pueden originar variaciones algo más importantes en el resto de tecnologías estudiadas en el presente proyecto.

11.2. Estudio del Año de la Inversión

Se ha realizado en el apartado 10 del presente documento un estudio en el que se analiza una curva de posible evolución de costes de las tecnologías de las baterías en base a los estudios estadísticos y predicciones realizadas por expertos en la materia. Sin embargo, la curva de evolución de costes la mayoría de las veces no llega a ajustarse a la realidad completamente. Es por ello por lo que se quiera estudiar qué ocurriría para un escenario en el que la curva de costes sea diferente a la anteriormente considerada.

En el presente subapartado se va a definir dos curvas de evolución de los costes de las tecnologías de baterías tomando como referencia la que se ha empleado para el estudio del año en el que invertir realizado en el apartado 10 del presente documento, una de las cuales se encontrará por encima de ella (la caída de los precios será menos pronunciada) y la otra se encontrará por debajo (la caída de los precios será algo más pronunciada). De esta manera lo que se pretende estudiar es si el año en el que comienza a ser rentable la inversión varía mucho con respecto a los resultados ya obtenidos, de forma que pueda identificarse si el estudio realizado presenta unos resultados que pueden tomarse como aceptables de cara a la realidad.

En primer lugar definiremos las curvas de evolución de los costes con las que se van a realizar los cálculos, dichas curvas se representan en la gráfica de la Figura 11.1. Como se puede comprobar, la tendencia que sigue ambas curvas adicionales a la de referencia es similar a la de ésta, ya que lo que se quiere estudiar es la forma en la que puede llegar a afectar que el precio de las baterías disminuya más lentamente o más rápidamente que lo que se ha considerado en el estudio del apartado 10 del presente documento.

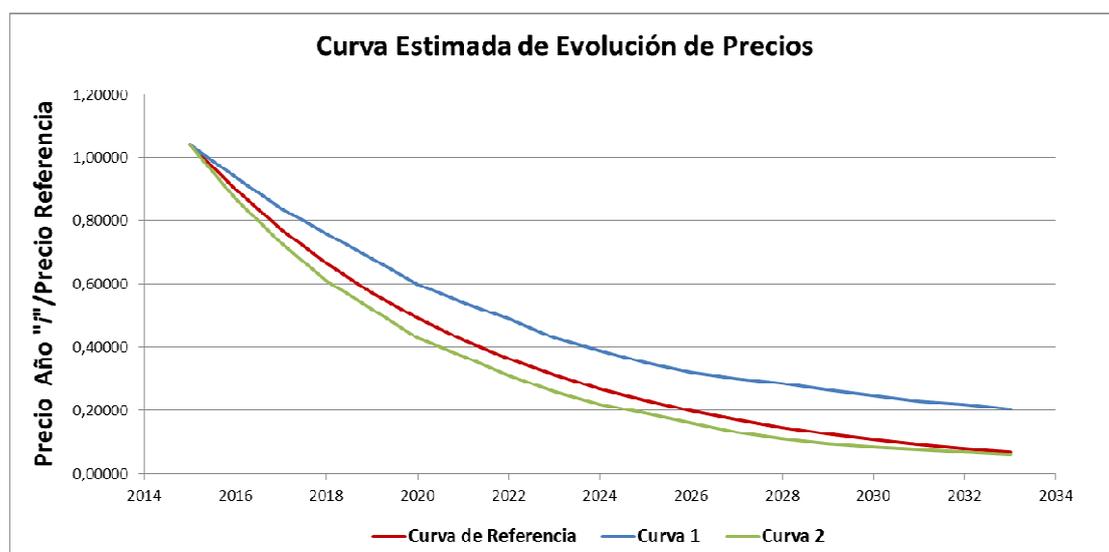


Figura 11.1. Curvas de evolución de los precios de las baterías a considerar.

Mediante otro de los programas de Matlab desarrollado, el cual se detalla en el Anexo I del presente documento, se realizan los cálculos de los beneficios anuales obtenidos en función del año en el que realizar la inversión teniendo en cuenta la evolución de los precios dada por las curvas anteriores.

En primer lugar se realiza el estudio para la curva de evolución de costes número 1, la cual es la que representa un decremento del precio de las baterías a un ritmo algo menor que el tomado como referencia. Los resultados obtenidos se han graficado y son los que se muestran en la Figura 11.2, comparándose con los obtenidos en el apartado 10.

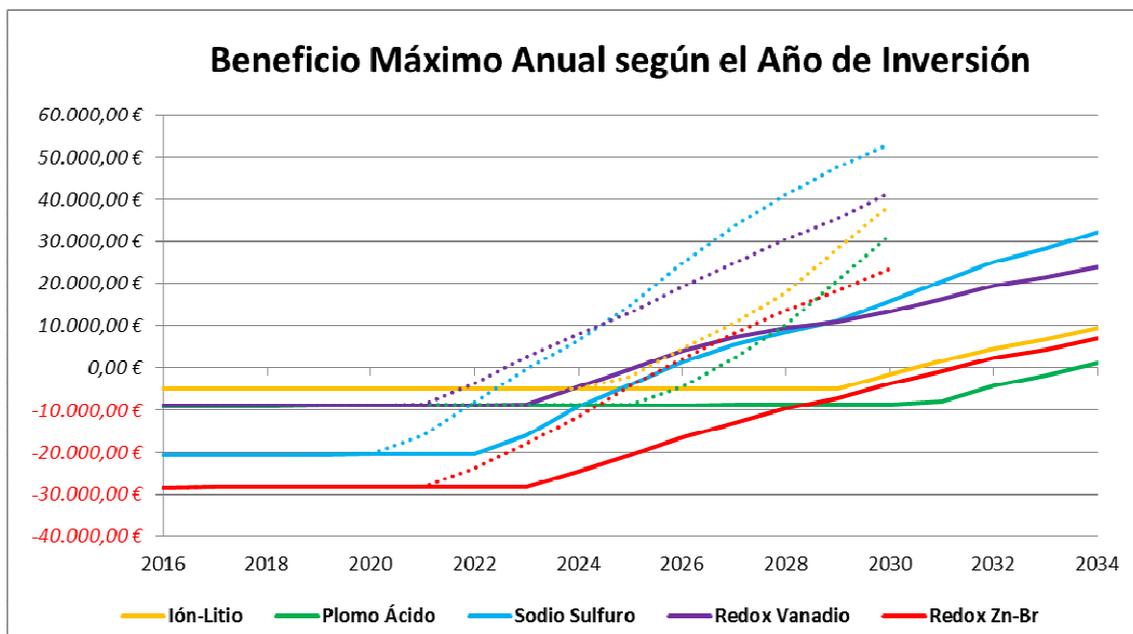


Figura 11.2. Beneficio máximo anual obtenido en función del año de instalación del sistema de almacenamiento para la curva de evolución de costes 1.

Se puede comprobar en la gráfica de la Figura 11.2 que el hecho de que los precios tengan una evolución decreciente menos pronunciada que la tomada como referencia hace que el año en el que la realización de la inversión en el sistema de almacenamiento comience a ser rentable sea a partir del 2025 en vez del 2023, es decir, que retrasaría en dos años la posibilidad de instalar el sistema de almacenamiento en forma de baterías.

Con estos datos podemos asumir que, a pesar de que el precio de las baterías no llegue a descender con la misma tendencia que lo venía haciendo hasta ahora, sino que sea con una tendencia algo menos pronunciada, la frontera en la que este tipo de instalaciones comienza a ser rentable está en los 9 años, de manera que no dista de la realidad que se presentaba en el estudio realizado anteriormente.

En segundo lugar se realiza el estudio para la curva de evolución de costes número 2, la cual es la que representa un decremento del precio de las baterías a un ritmo algo mayor que el tomado como referencia. Los resultados obtenidos se han graficado y son mostrados en la Figura 11.3, comparándose con los obtenidos en el apartado 10.

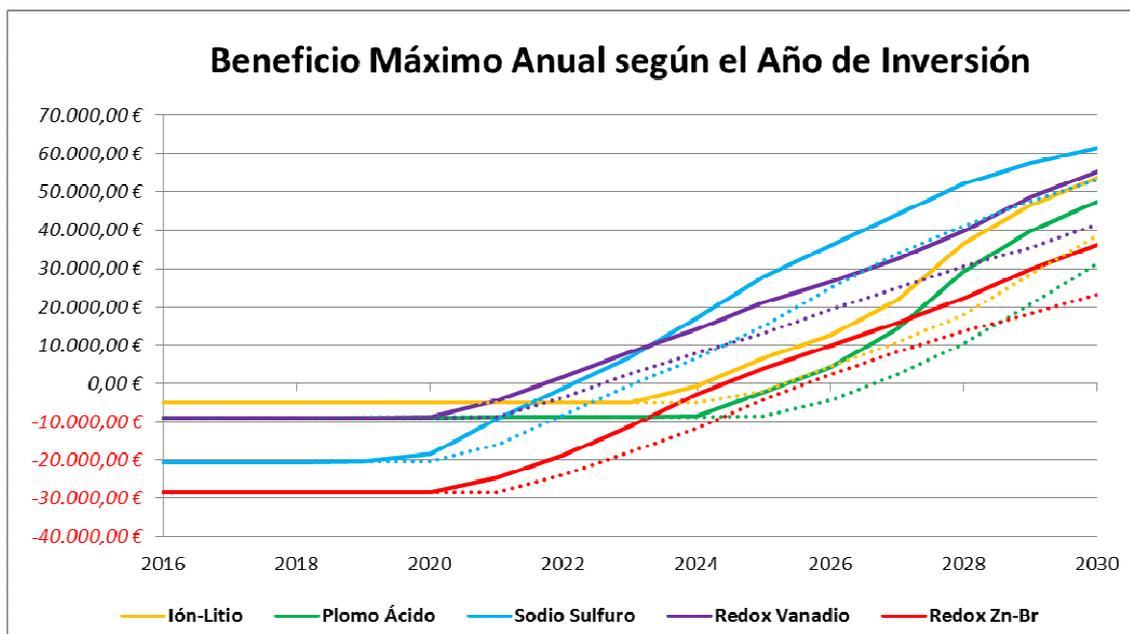


Figura 11.3. Beneficio máximo anual obtenido en función del año de instalación del sistema de almacenamiento para la curva de evolución de costes 2.

Se puede comprobar en la gráfica de la Figura 11.2 que el hecho de que los precios tengan una evolución decreciente más pronunciada que la tomada como referencia hace que el año en el que la realización de la inversión en el sistema de almacenamiento comience a ser rentable sea a partir del 2022 en vez del 2023, es decir, que adelantaría en un año la posibilidad de instalar el sistema de almacenamiento en forma de baterías.

Con estos datos podemos asumir que, a pesar de que el precio de las baterías no llegue a descender con la misma tendencia que lo venía haciendo hasta ahora, sino que sea con una tendencia algo más pronunciada, la frontera en la que este tipo de instalaciones comienza a ser rentable está en los 6 años, de manera que no dista de la realidad que se presentaba en el estudio realizado anteriormente.

Como conclusión, se puede afirmar que en un intervalo de tiempo de entre 6 y 9 años el precio de las baterías será lo suficientemente adecuado como para que sea rentable su instalación en centrales de producción de energía a partir de fuentes renovables, el cual no dista de los 7-8 años obtenidos en el estudio realizado en el apartado 10.

12. Conclusiones

En el presente proyecto se ha realizado el estudio de los costes que suponen los desvíos de una planta de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables, como es la energía eólica, para comprobar si resultaría rentable la instalación de un sistema de almacenamiento en forma de baterías electroquímicas para el almacenamiento y descarga de energía para hacer frente a dichos desvíos.

Se ha realizado un estudio económico en el que se comparan distintas tecnologías de baterías para calcular el coste que supondría su instalación y el ahorro que dicho sistema implicaría por la disminución de una cierta parte de los desvíos en contra del sistema, el cual muestra que en ninguno de los escenarios propuestos resulta rentable la instalación de dicho sistema de baterías. Así, resulta menos perjudicial para el productor de energía el pago de los desvíos en contra del sistema en vez de la instalación de un sistema de almacenamiento.

Las principales causas de que la rentabilidad económica de una inversión como la que se estudia sea aun inexistente son las siguientes:

- Los precios de adquisición y de instalación de los sistemas de almacenamientos por unidad de energía almacenada son aún muy elevados para la gran cantidad de energía que se necesita almacenar en un parque eólico como el estudiado.
- Los precios de mantenimiento anuales por unidad de energía almacenada en la mayoría de los casos suponen un desembolso anual extra que, en la mayoría de las ocasiones, supone la misma cuantía que los desvíos en contra del sistema que se cubren con el sistema de baterías instalado.
- Escaso porcentaje de reducción de los desvíos en contra del sistema, que se hace menor a medida que la capacidad total del sistema de almacenamiento a instalar es menor.

Dado que prácticamente todas las tecnologías de almacenamiento con baterías están en estudio y desarrollo, su precio deberá de ir disminuyendo a lo largo del tiempo de forma que, aunque actualmente no resulta viable económicamente realizar esta inversión, es muy probable que en unos 10 años sea una opción a tener muy en cuenta en cualquier central productora de energía eléctrica a partir de la energía eólica.

De esta forma, se realiza un estudio para comprobar si realmente en los próximos años llegaría a ser rentable la instalación de un sistema de almacenamiento debido a la bajada de los precios que ha ido experimentando a lo largo del tiempo este tipo de tecnologías.

El resultado de este estudio nos muestra que ciertamente la inversión en un sistema de almacenamiento llegará a ser rentable dentro de unos 7-8 años, algo que puede resultar muy interesante para las plantas de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, ya sea energía solar, eólica, entre otras.

Por último, destacar que el análisis de sensibilidad de todos los parámetros empleados en el presente proyecto ha puesto claramente de manifiesto que, aunque los datos de la realidad no lleguen a ajustarse a los tomados como referencia, la posible variación con respecto a éstos no llega a hacer variar los resultados obtenidos en demasía, con lo que se puede afirmar que los resultados obtenidos se van a ajustar a la realidad.

De esta manera, se puede llegar a asumir la fiabilidad de los resultados obtenidos en los distintos estudios realizados.

ANEXO I:

PROGRAMAS

DESARROLLADOS

EN MATLAB

I. Programas Desarrollados en Matlab

Para llevar a cabo todos los cálculos de energía y de costes del presente proyecto se han desarrollado varios programas y aplicaciones con la ayuda del software MATLAB, un lenguaje de cálculo técnico de alto nivel que utilizan la gran mayoría de ingenieros y de científicos en el sector industrial/empresarial para el desarrollo de sus funciones.

El estudio económico que se ha realizado en el presente documento se ha centrado en un periodo de tiempo específico, concretamente una semana, y para una determinada planta de producción de energía eléctrica. Sin embargo, la realización y el desarrollo de estos programas de MATLAB permitirán que se pueda realizar un estudio económico sobre la rentabilidad de la instalación de un sistema de almacenamiento de baterías en cualquier tipo de central de producción de energía eléctrica y para cualquier periodo de tiempo, cualesquiera que sean características del sistema de almacenamiento elegido.

Teniendo este objetivo en mente, los programas desarrollados realizarán, de una forma totalmente automática, el estudio económico con tan sólo introducir en ellos los datos correspondientes a la energía producida, a la energía prevista producir, el precio de dicha energía en el mercado y el precio de los desvíos en el periodo de tiempo que se desee, así como, finalmente, todas las características del sistema de almacenamiento que se desee instalar.

Cabe destacar que todos los datos son fácilmente obtenibles en aquellos portales de internet que se han indicado en los apartados anteriores, a excepción de los datos de la energía producida y la energía prevista producir, los cuales deberán de ser obtenidos de la planta de producción concreta que se quiera estudiar. En el caso de las características del sistema de almacenamiento, los datos deberán de ser obtenidos del fabricante que se vaya a elegir para realizar el estudio.

Se han desarrollado dos programas y una “función”. El primero de los programas es el que se encarga de realizar los cálculos detallados de todos los desvíos de energía, costes de los desvíos de energía, evolución de la carga de la batería, cantidad de desvíos que se consiguen cubrir con la instalación de la batería y la cantidad que no se consiguen cubrir, costes de los desvíos no cubiertos y ahorro de los desvíos cubiertos, ciclos de carga y de descarga completos en dicho periodo de tiempo de estudio, capacidad nominal del tipo de sistema de almacenamiento a instalar, vida útil, costes totales de instalación y costes totales de mantenimiento, costes semanales por la instalación de la batería y beneficios semanales por la instalación del sistema de almacenamiento o batería.

El segundo de los programas realiza el estudio del beneficio semanal máximo que se puede obtener en función del año en el que se instale el sistema de almacenamiento, así como la capacidad asociada para ese beneficio máximo. Para ello utiliza una “función” que también ha sido implementada, la cual realiza el cálculo del beneficio semanal en función de la capacidad del sistema de almacenamiento para cada año que se considera, ya que los costes variarán según el año en el que se realice la inversión.

I.1. Programa para el Estudio Económico Detallado

Este primer programa se encarga de realizar el estudio económico detallado sobre los costes de los desvíos de energía en caso de no poseer un sistema de almacenamiento, así como de los ahorros de los desvíos cubiertos y los costes de los desvíos no cubiertos en caso de poseer un sistema de almacenamiento para un intervalo de tiempo determinado.

En primer lugar el programa pide al usuario que introduzca todos los datos para poder realizar el estudio, los cuales son los siguientes (donde en primer lugar se encuentran los relacionados con la producción de energía y, en segundo lugar, aquellas características del sistema de almacenamiento que se desea instalar):

- Datos de Energía Real Producida en kWh.
- Datos de Energía Prevista para Producir en kWh.
- Datos de Precio del Mercado Diario en €/MWh.
- Datos de Precio de los Desvíos a Subir en €/MWh.
- Datos de Precio de los Desvíos a Bajar en €/MWh.
- Datos de Necesidad de Energía del Sistema.
- Valor de Capacidad del Sistema de Almacenamiento en kWh.
- Valor del Estado de Carga Inicial del Sistema de Almacenamiento (tanto por uno).
- Valor de Rendimiento del Sistema de Almacenamiento (%).
- Valor del Mínimo Estado de Carga del Sistema de Almacenamiento (%).
- Número Máximo de Ciclos de Carga/Descarga del Sistema de Almacenamiento.
- Coste de Instalación del Sistema de Almacenamiento (€/kWh).
- Coste de Mantenimiento Anual del Sistema de Almacenamiento (€/kWh·año).
- Periodo de Tiempo de los Datos Considerados (Semanas).
- Porcentaje Anual del Incremento del Coste de la Energía Eléctrica (%).
- Porcentaje Anual del Incremento de los Costes de Mantenimiento del Sistema de Almacenamiento (%).
- Porcentaje Anual de la Tasa de Descuento por Depreciación del Precio del Dinero (%).

Los datos correspondientes a la Energía Real Producida, la Energía Prevista Producir, el Precio del Mercado Diario, el Precio de los Desvíos a Subir y el a Bajar y los datos de la Necesidad de Energía del Sistema han de ser introducidos como vectores columna.

La mejor forma que existe para hacerlo es trasladar todos estos datos por columnas a una hoja de Excel en primer lugar; una vez hecho esto, al primer dato de cada columna se le añade delante el símbolo “[” para indicar el comienzo del vector columna y al último de los datos de cada columna se le añade delante el símbolo “];” para indicar el final del vector columna. Bastará entonces con seleccionar la columna de datos correspondiente para copiarla en el portapapeles y posteriormente pegarla en la consola de comandos de MATLAB cuando el programa pida dicho vector de datos. Debemos asegurar que la longitud de todos estos vectores es similar. Sin embargo, el programa en primer lugar lo comprueba para proceder a realizar el cálculo del estudio económico; en caso de que no tengan la misma longitud, informará de ello al usuario del programa y no se realizará el cálculo del estudio económico.

La estructura que presenta el programa desarrollado para realizar el análisis económico detallado es la siguiente:

- 1.- Cálculo de la energía a desviar en cada intervalo de tiempo.
- 2.- Cálculo del coste de la energía a desviar en cada intervalo de tiempo.
- 3.- Clasificación del desvío como a favor o en contra del sistema en cada intervalo de tiempo.
- 4.- Cálculo de la carga del sistema de almacenamiento en cada intervalo de tiempo.
- 5.- Cálculo del coste de aquella energía a desviar con el sistema de almacenamiento instalado en cada intervalo de tiempo.
- 6.- Cálculo del ahorro de los desvíos en contra del sistema cubiertos con el sistema de almacenamiento instalado en cada intervalo de tiempo.
- 7.- Cálculo de los ciclos de carga/descarga del sistema de almacenamiento en cada intervalo de tiempo, así como el total en el periodo de tiempo considerado.
- 8.- Cálculo del porcentaje de desvíos en contra del sistema cubiertos con el sistema de almacenamiento instalado en el total del periodo de tiempo considerado.
- 9.- Cálculo del beneficio semanal resultante para un sistema de almacenamiento como el instalado. En este cálculo se tendrá en cuenta la depreciación del precio del dinero cada año, así como el aumento de los precios de la energía eléctrica y de los costes de mantenimiento del sistema de almacenamiento.

Las magnitudes que se mostrarán como resultado del estudio económico son el coste total de los desvíos de energía sin la instalación de la batería, el coste de los desvíos de energía con la instalación de la batería, el ahorro por desvíos en contra del sistema que son cubiertos por la instalación de la batería, el porcentaje de desvíos cubiertos respecto del total de desvíos en contra del sistema, así como los ciclos de carga/descarga de dicho sistema de almacenamiento que se producen en el periodo total considerado.

El resto de magnitudes que se muestran como resultado del estudio económico realizado por el programa son la capacidad operativa de la batería para una capacidad nominal tal y como la indicada, su vida útil en semanas y en años, el coste total de instalación y de mantenimiento de la batería, el coste total por semana de la batería y el beneficio que se obtiene semanalmente por la instalación del sistema de almacenamiento de energía.

El programa también da como resultado una serie de gráficas en las que se puede ver la evolución de las distintas variables en cada intervalo de tiempo considerado. En total se representan ocho gráficas, cuyos contenidos son los siguientes:

- GRÁFICA 1: Representación de la energía real que se ha producido en la planta y la energía que se había previsto producir en ese mismo periodo de tiempo.
- GRÁFICA 2: Representación de la diferencia entre la energía real producida en la planta y la energía que se había previsto producir en ese mismo periodo de tiempo, es decir, los desvíos a realizar en el periodo de tiempo considerado.
- GRÁFICA 3: Representación de la evolución de los precios del mercado diario, de los precios de cobro de los desvíos a subir y de los precios de pago de los desvíos a bajar en el periodo de tiempo considerado.
- GRÁFICA 4: Representación de los desvíos a favor del sistema y de los desvíos en contra del sistema en el periodo de tiempo considerado.
- GRÁFICA 5: Representación de los desvíos a subir y a bajar en contra del sistema en el periodo de tiempo considerado.
- GRÁFICA 6: Representación del estado de carga de la batería (%) en el periodo de tiempo considerado.
- GRÁFICA 7: Representación de los desvíos en contra del sistema cubiertos por la instalación del sistema de almacenamiento en el periodo de tiempo considerado.
- GRÁFICA 8: Representación de los costes incurridos y los ahorros generados por la instalación del sistema de almacenamiento en el periodo de tiempo considerado.

Con toda esta información el programa desarrollado es capaz de realizar el análisis de la viabilidad económica de la instalación de un sistema de almacenamiento en forma de baterías. Se mostrará como ejemplo las gráficas que el programa construye para datos de partida similares a los empleados en los apartados 8 y 9 del presente documento.

Para ilustrar el ejemplo se decide elegir la tecnología de baterías NaS (sodio-sulfuro) y una capacidad total del sistema de almacenamiento de 1000 kWh, con un estado inicial de carga del 50%. De esta forma podremos comparar los resultados y gráficas obtenidos con los que se presentaron en los apartados 8 y 9 del presente documento.

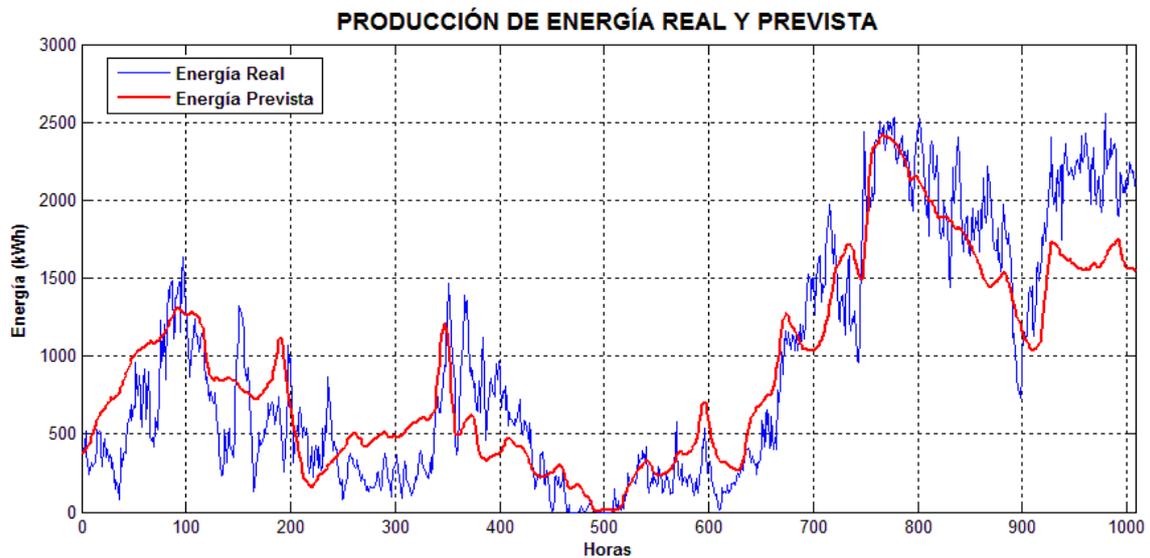


Figura I.1. Gráfica que presenta la producción de energía real y la energía prevista producir, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

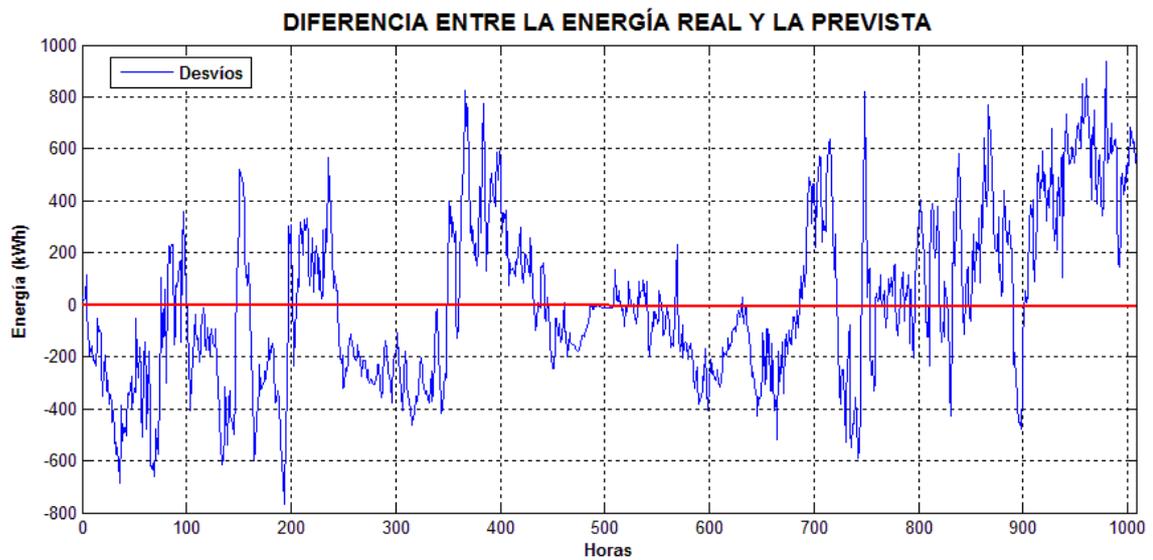


Figura I.2. Gráfica que presenta la diferencia entre la energía real y la energía prevista producir, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

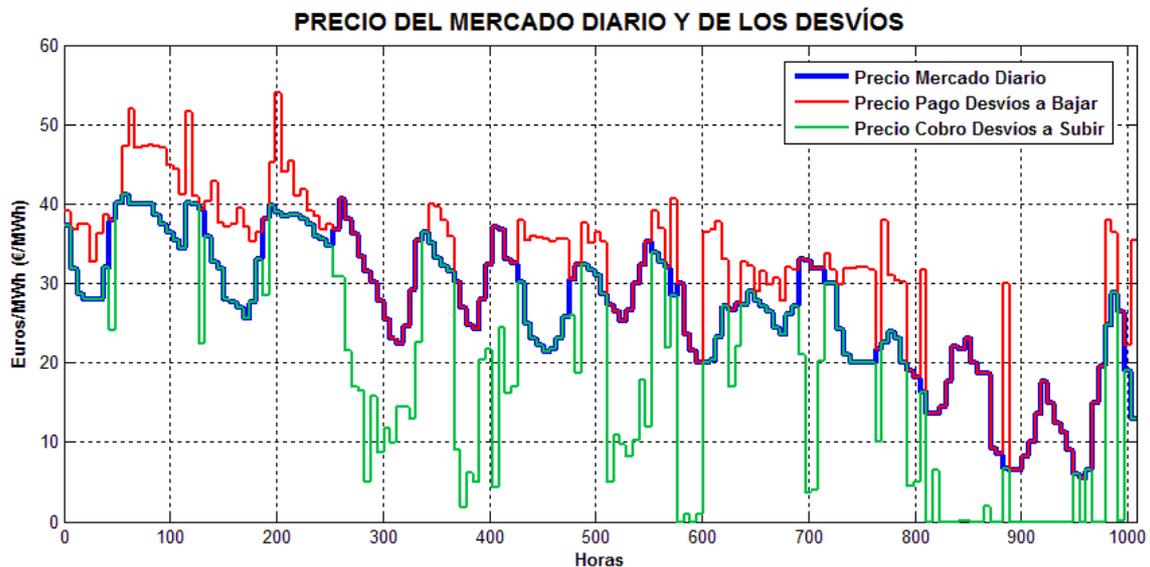


Figura I.3. Gráfica que presenta los precios del mercado diario, precios de pago de los desvíos a bajar y precios de cobro de los desvíos a subir, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

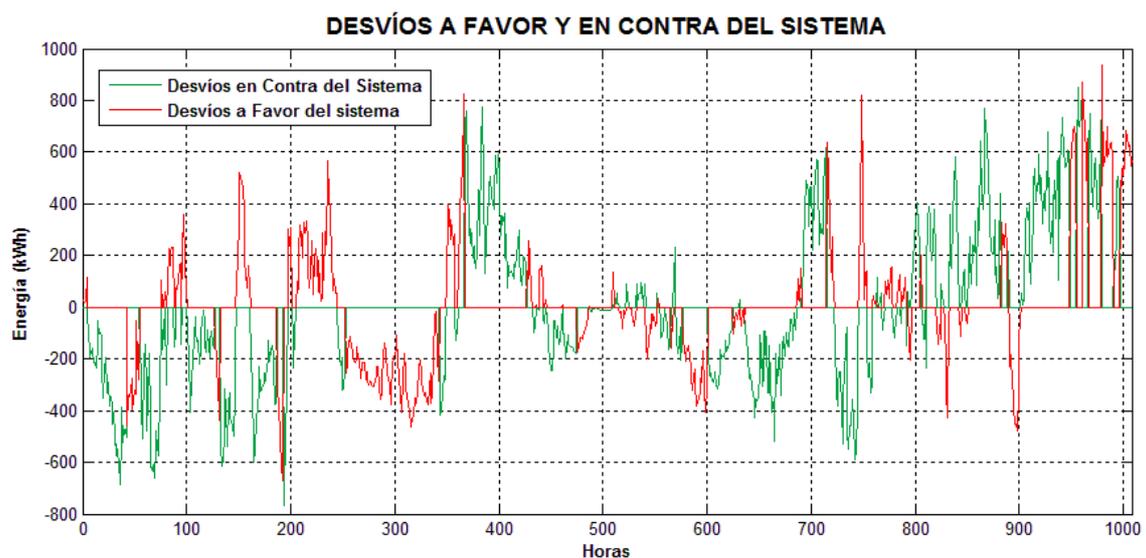


Figura I.4. Gráfica que presenta los desvíos en contra del sistema y los desvíos a favor del sistema, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

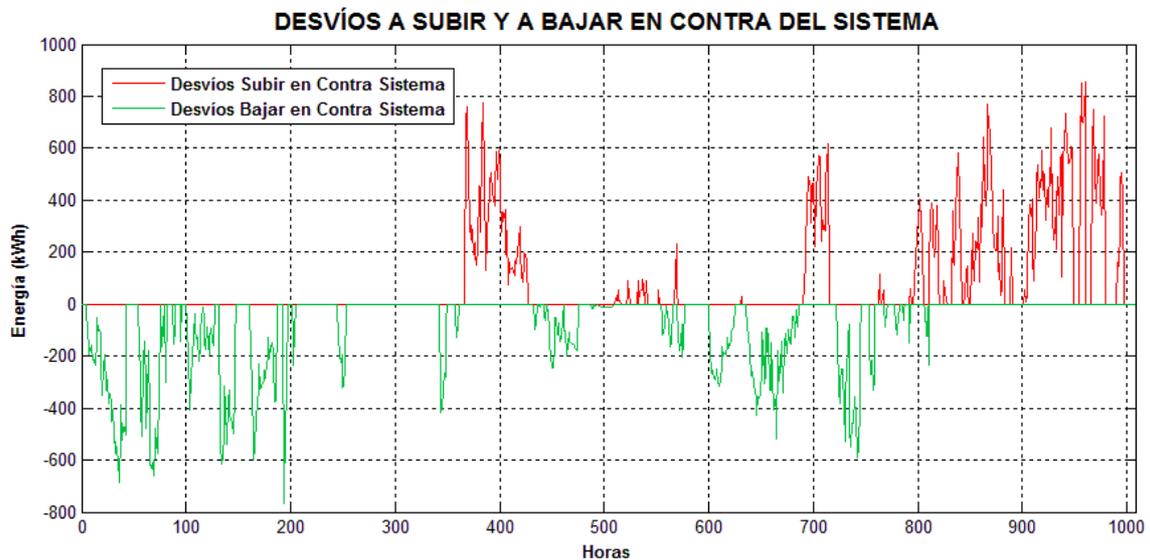


Figura I.5. Gráfica que presenta los desvíos a subir y a bajar en contra del sistema, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

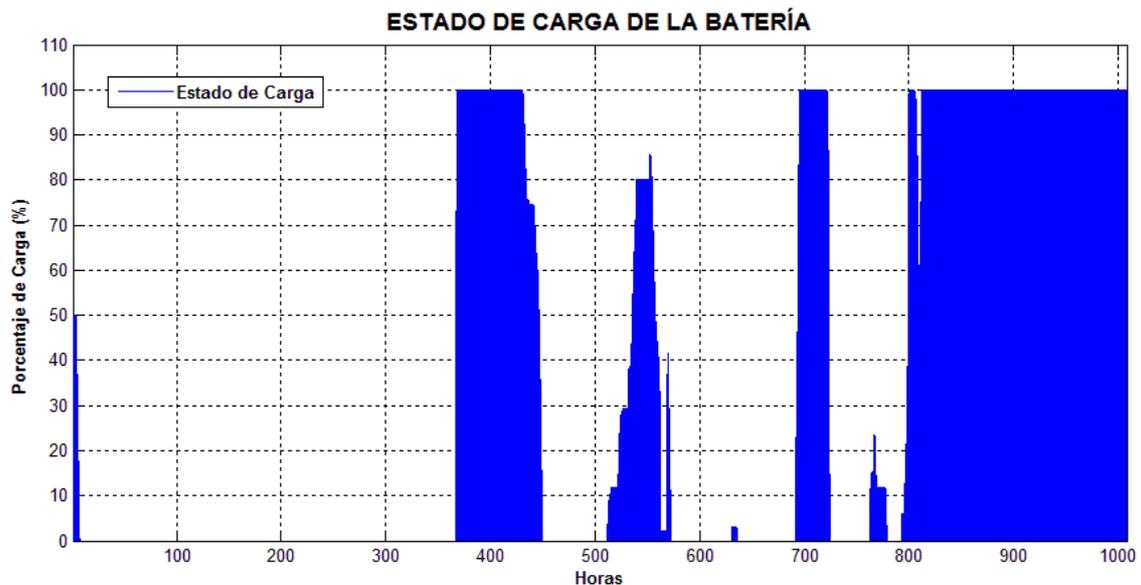


Figura I.6. Gráfica que presenta el estado de carga del sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

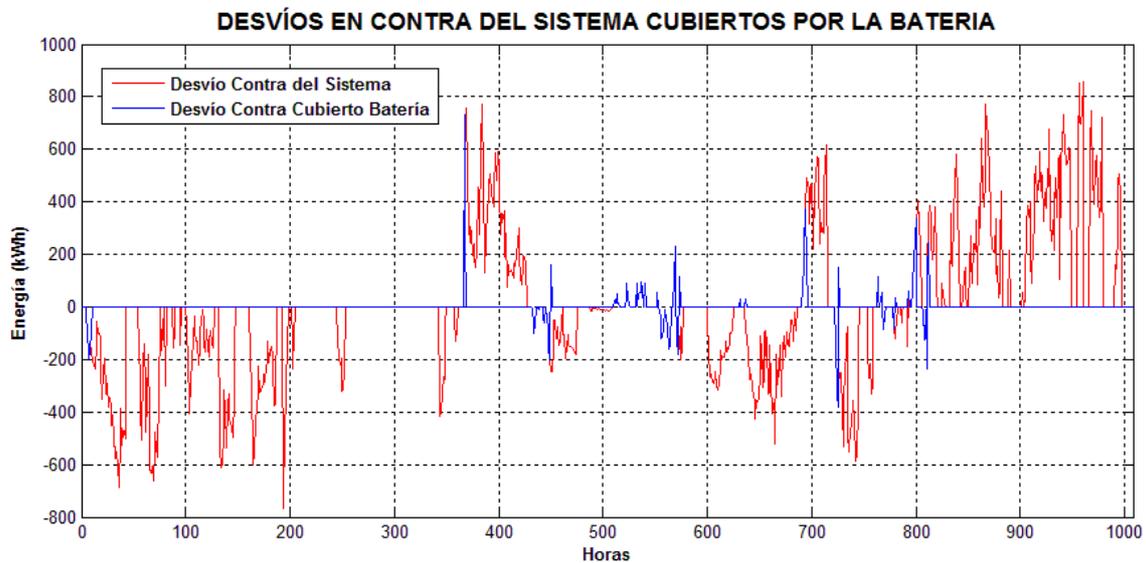


Figura I.7. Gráfica que presenta los desvíos en contra del sistema que han sido cubiertos por la instalación del sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

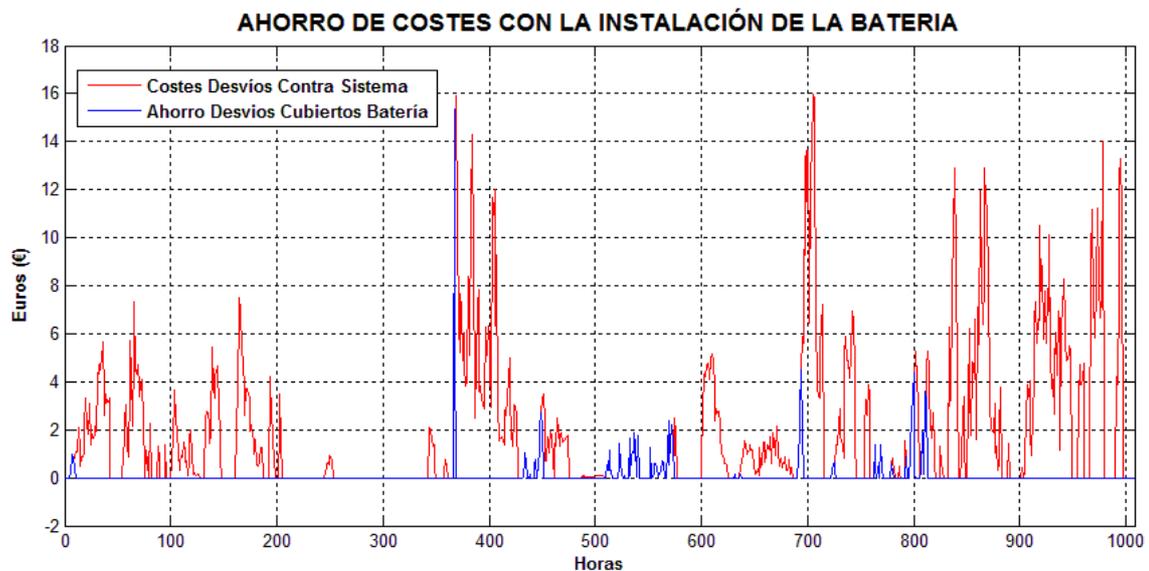
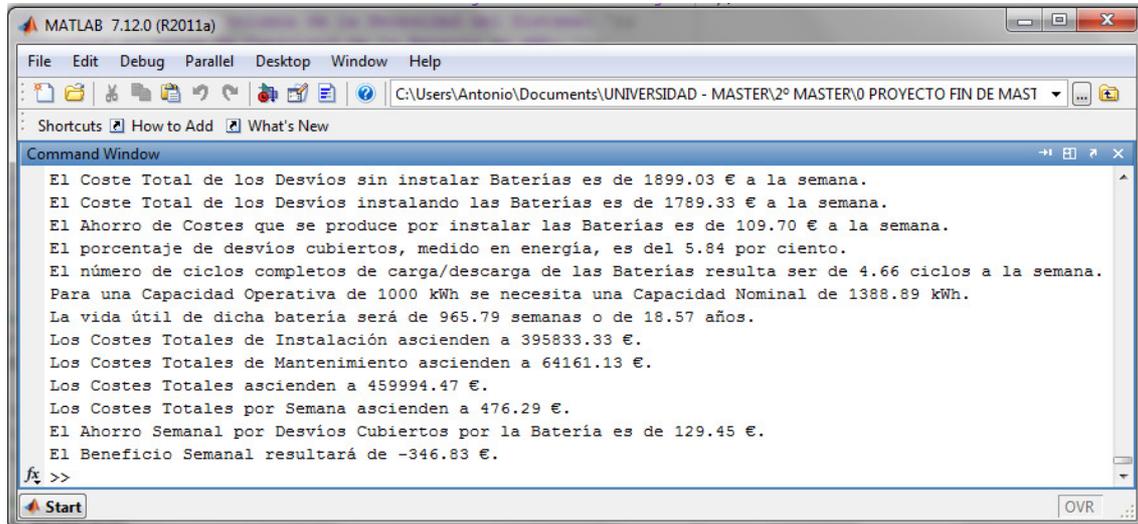


Figura I.8. Gráfica que presenta los costes de los desvíos y el ahorro de estos costes por la instalación del sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB.



```

MATLAB 7.12.0 (R2011a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
C:\Users\Antonio\Documents\UNIVERSIDAD - MASTER\2º MASTER\0 PROYECTO FIN DE MAST
Shortcuts How to Add What's New
Command Window
El Coste Total de los Desvíos sin instalar Baterías es de 1899.03 € a la semana.
El Coste Total de los Desvíos instalando las Baterías es de 1789.33 € a la semana.
El Ahorro de Costes que se produce por instalar las Baterías es de 109.70 € a la semana.
El porcentaje de desvíos cubiertos, medido en energía, es del 5.84 por ciento.
El número de ciclos completos de carga/descarga de las Baterías resulta ser de 4.66 ciclos a la semana.
Para una Capacidad Operativa de 1000 kWh se necesita una Capacidad Nominal de 1388.89 kWh.
La vida útil de dicha batería será de 965.79 semanas o de 18.57 años.
Los Costes Totales de Instalación ascienden a 395833.33 €.
Los Costes Totales de Mantenimiento ascienden a 64161.13 €.
Los Costes Totales ascienden a 459994.47 €.
Los Costes Totales por Semana ascienden a 476.29 €.
El Ahorro Semanal por Desvíos Cubiertos por la Batería es de 129.45 €.
El Beneficio Semanal resultará de -346.83 €.
fx >>
Start OVR
  
```

Figura I.9. Resultados del análisis económico realizado que genera el programa desarrollado en MATLAB.

I.2. Programa para Calcular el Beneficio Óptimo y la Capacidad Óptima en función del Año de Inversión

Este segundo programa se encarga de realizar el estudio del beneficio semanal máximo a obtener según el año en el que se instale el sistema de almacenamiento, así como la capacidad asociada para conseguir este beneficio máximo.

En primer lugar, el programa pide al usuario que introduzca todos los datos para poder realizar el estudio, los cuales son los siguientes (primero se introducen los relacionados con la producción de energía y, tras ellos, el tipo de sistema de almacenamiento que se desea instalar y sus características):

- Datos de Energía Real Producida en kWh.
- Datos de Energía Prevista para Producir en kWh.
- Datos de Precio del Mercado Diario en €/MWh.
- Datos de Precio de los Desvíos a Subir en €/MWh.
- Datos de Precio de los Desvíos a Bajar en €/MWh.
- Datos de Necesidad de Energía del Sistema.

- Valor del Estado de Carga Inicial del Sistema de Almacenamiento (tanto por uno).
- Valor de Rendimiento del Sistema de Almacenamiento (%).
- Valor del Mínimo Estado de Carga del Sistema de Almacenamiento (%).
- Número Máximo de Ciclos de Carga/Descarga del Sistema de Almacenamiento.
- Coste de Instalación del Sistema de Almacenamiento (€/kWh).
- Coste de Mantenimiento Anual del Sistema de Almacenamiento (€/kWh·año).
- Periodo de Tiempo de los Datos Considerados (Semanas).
- Capacidad Mínima de la Batería en kWh a partir de la cual comenzar a realizar el estudio.
- Capacidad Máxima de la Batería en kWh hasta la cual realizar el estudio.
- Valor de Capacidad en kWh entre dos puntos consecutivos del estudio a realizar.
- Porcentaje Anual del Incremento del Coste de la Energía Eléctrica (%).
- Porcentaje Anual del Incremento de los Costes de Mantenimiento (%).
- Porcentaje Anual de la Tasa de Descuento por Depreciación Precio del Dinero (%).

Los datos correspondientes a la Energía Real Producida, la Energía Prevista Producir, el Precio del Mercado Diario, el Precio de los Desvíos a Subir y el a Bajar y los datos de la Necesidad de Energía del Sistema han de ser introducidos como vectores columna. La mejor forma que existe para hacerlo es trasladar todos estos datos por columnas a una hoja de Excel en primer lugar; una vez hecho esto, al primer dato de cada columna se le añade delante el símbolo “[” para indicar el comienzo del vector columna y al último de los datos de cada columna se le añade delante el símbolo “];” para indicar el final del vector columna. Bastará entonces con seleccionar la columna de datos correspondiente para copiarla en el portapapeles y posteriormente pegarla en la consola de comandos de MATLAB cuando el programa pida dicho vector de datos.

Una vez introducidos todos los datos se procede a definir la curva de evolución de los costes de los sistemas de almacenamiento durante los próximos 25 años. Los valores que se emplean son los que se han obtenido de la curva de referencia de apartado 10 de este documento.

Tras ello, se implementan dos bucles de tipo “for” en forma anidada. El bucle exterior recorrerá uno a uno los años en los que el usuario haya decidido realizar el estudio; para cada año en primer lugar inicializa a cero los valores de beneficio semanal y capacidad óptima asociada, así como establece el coste de instalación y el coste de mantenimiento del sistema de almacenamiento elegido multiplicando su valor base por el factor de la curva de evolución de los precios que corresponda según el año que se considera.

Tras ello se implementa el bucle *for* interior, el cual parte desde la capacidad mínima indicada para comenzar a realizar el estudio y va hasta la capacidad máxima indicada para finalizar el estudio, en intervalos de capacidad que son indicados por el valor de capacidad entre dos puntos consecutivos del estudio a realizar. En cada iteración de este bucle se realiza una llamada a la función “*Beneficio_Semanal_Baterías*” para calcular el beneficio semanal que presenta la capacidad de la batería estudiada y se comprueba si dicho beneficio es superior al mayor de los beneficios que se han obtenido en las iteraciones anteriores; en caso afirmativo, se le asocia a una variable que indica el beneficio máximo, mientras que la capacidad a la que éste beneficio se consigue se asocia a otra variable que indicará la capacidad óptima. Una vez terminada la realización del bucle, se obtendrá en las dos variables indicadas tanto la capacidad óptima como el beneficio máximo obtenido.

Una vez recorrido este bucle interior, el código sale de nuevo al bucle *for* exterior de nuevo y los resultados obtenidos de beneficios semanales para cada capacidad estudiada dicho año se representan en una gráfica. Los valores de beneficio máximo y capacidad óptima se señalan en dicha gráfica con un punto rojo para destacar.

Finalmente, se realiza una impresión en la consola de comandos de Matlab indicando el beneficio máximo que se obtiene dicho año de estudio y la capacidad operativa a la que se consigue, con su correspondiente transformación a capacidad nominal a instalar. Tras ello, la iteración del bucle *for* exterior finaliza y vuelve al principio.

Una vez que se hayan recorrido los dos bucles *for*, el programa finaliza y genera como resultado una gráfica en la que se pueden comprobar la evolución del beneficio semanal que se obtiene con cada capacidad del sistema de almacenamiento que se ha estudiado para cada uno de los años indicados.

Para poder ilustrar este programa se desea mostrar un ejemplo. Consideraremos para este ejemplo unos datos de partida similares a los empleados en los apartados 8 y 9 del presente documento. Dado que para poder realizar el estudio económico se debe de introducir las características de la tecnología de baterías a emplear, se ha decidido elegir, para ilustrar este ejemplo, la tecnología de las baterías de redox de Vanadio. Se decide elegir un estado inicial de carga del 50% del sistema de almacenamiento.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con el programa desarrollado. En primer lugar se muestra la gráfica que genera el programa en la que se puede observar la forma en la que varían los beneficios semanales a obtener, donde se puede comprobar que, a medida que los años van pasando y los costes de dicha tecnología disminuyen, el beneficio máximo obtenido finalmente consigue ser positivo y tiende a aumentar.

En segundo lugar se muestra una impresión de pantalla con los resultados numéricos del estudio que se obtienen a través de la consola de comandos, los cuales representan el valor del beneficio máximo que puede conseguirse cada año, así como la correspondiente capacidad nominal que hay que instalar para ello y la capacidad operativa asociada.

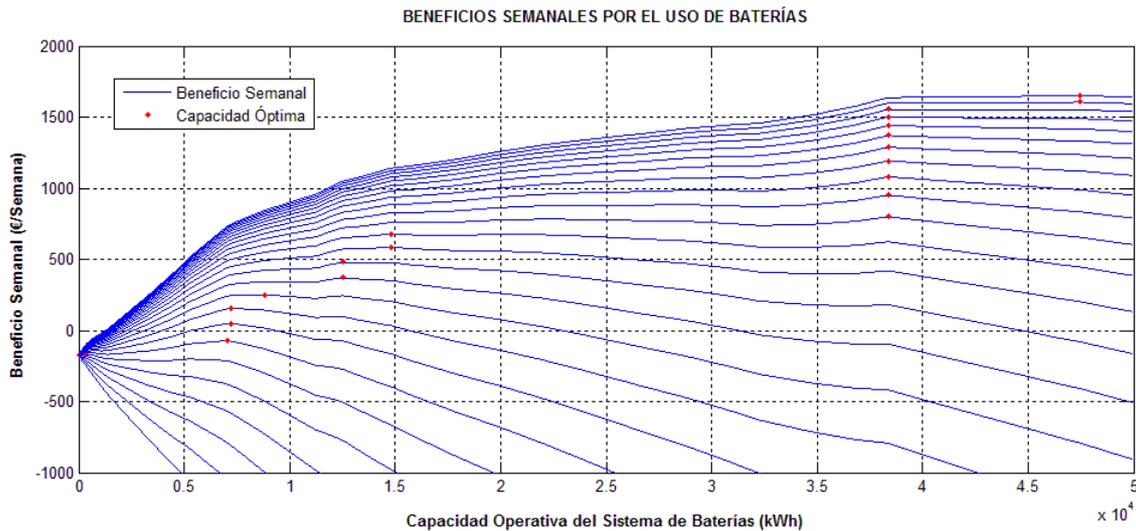


Figura I.10. Gráfica que muestra los beneficios semanales según el año en el que instalar el sistema de almacenamiento, generada por el programa desarrollado en MATLAB.

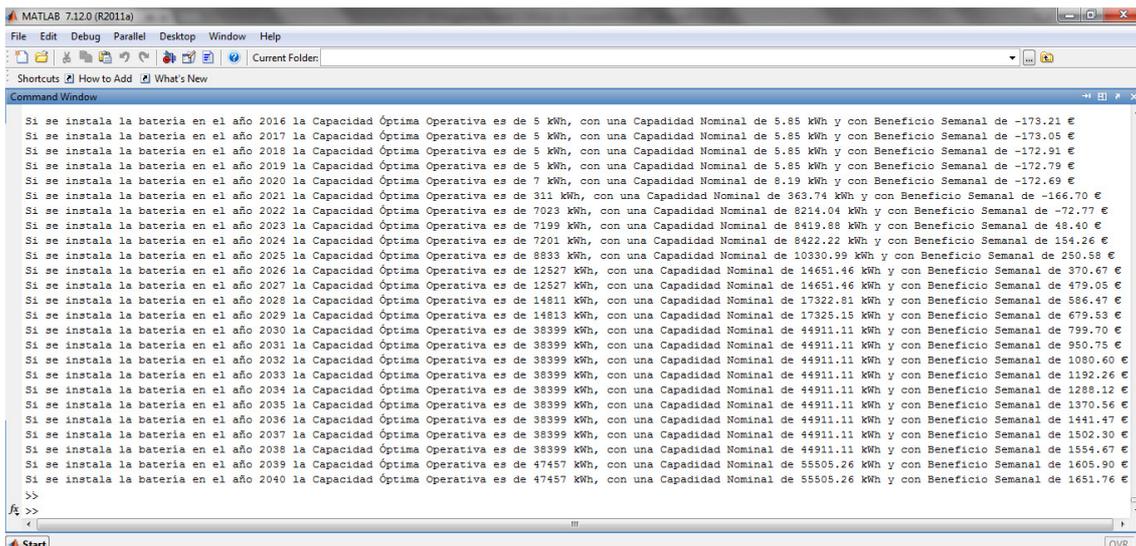


Figura I.11. Resultados del análisis del beneficio máximo a obtener según el año en el que instalar el sistema de almacenamiento y su capacidad operativa y nominal asociada que genera el programa desarrollado en MATLAB.

I.3. Función para Calcular el Beneficio Semanal

Para el desarrollo del segundo de los programas en MATLAB se elabora una *función* que se ha denominado “*Beneficio_Semanal_Baterias*”, cuyo contenido se describe en el presente subapartado.

Esta función es la encargada de calcular el valor del beneficio semanal que se obtiene al instalar un sistema de almacenamiento de unas determinadas características y con una capacidad operativa concreta.

La función tiene un total de 17 datos de entrada, los cuales, en el orden con el que se deben de introducir, son los siguientes:

- Vector Columna de Energía Real Producida en kWh.
- Vector Columna de Energía Prevista a Producir en kWh.
- Vector Columna del Precio del Mercado Diario en €/MWh.
- Vector Columna del Precio de Cobro de Desvíos a Subir en €/MWh.
- Vector Columna del Precio de Pago de Desvíos a Bajar en €/MWh.
- Vector Columna de la Necesidad del Sistema.
- Valor de Capacidad Operativa de la Batería en kWh.
- Valor del Estado de Carga Inicial de la Batería en tanto por uno.
- Valor del Rendimiento de la Batería en %.
- Valor del Mínimo Estado de Carga de la Batería en %.
- Valor del Número Máximo de Ciclos de Carga/Descarga de la Batería.
- Valor del Coste de Instalación de la Batería en €/kWh.
- Valor del Coste de Mantenimiento Anual de la Batería en €/kWh·año.
- Número de Semanas que abarcan los datos introducidos.
- Porcentaje Anual del Incremento del Coste de la Energía Eléctrica (%).
- Porcentaje Anual del Incremento de los Costes de Mantenimiento (%).
- Porcentaje Anual de la Tasa de Descuento por Depreciación Precio del Dinero (%).

La función consta con dos datos de salida únicamente, los cuales, entregados en orden de salida, son los siguientes:

- *Beneficio Semanal*: Indica el beneficio semanal calculado por la función para el valor de capacidad operativa que se haya introducido.
- *Error*: El valor de esta variable será siempre nulo, a no ser que exista discordancia en el tamaño de los vectores columna introducidos, en cuyo caso valdrá la unidad.

En primer lugar esta función comprueba que la longitud de los vectores introducidos es similar. En caso de ser así se realiza el cálculo del beneficio semanal, pero en caso de no serlo únicamente se pone a 1 la variable error y da como resultado un beneficio nulo.

Una vez comprobado esto, se calcula la capacidad nominal de la batería a instalar en función de la capacidad operativa del sistema que se desee llegar a tener, lo cual depende del rendimiento de la batería y del mínimo estado de carga que posea.

Posteriormente se realiza el cálculo de los desvíos de energía en cada instante de tiempo considerado, el coste de dicho desvío de energía, la evolución de la carga de la batería, el coste de los desvíos no cubiertos, el ahorro producido por los desvíos cubiertos, así como los ciclos completos de carga/descarga a lo largo del periodo de tiempo que se haya considerado. Finalmente se realiza el cálculo del beneficio semanal que se obtiene si se instala un sistema de almacenamiento con las características indicadas. En este cálculo se tendrá en cuenta la depreciación del precio del dinero cada año, así como el aumento de los precios de la energía eléctrica y de los costes de mantenimiento del sistema de almacenamiento.

Hay que señalar que en esta función la forma en la que se calcula la carga de la batería no es igual a la forma en la que se calculaba en el primero de los programas que se han desarrollado. En el caso del primer programa, la carga de la batería se suponía que era ideal (con rendimiento de la unidad) y, además, se suponía que no existía un estado de mínima carga (con lo que podía descargarse por completo), con todo ello se calculaba el número de desvíos cubiertos y de ciclos de carga/descarga; posteriormente era cuando todas estas variables (rendimiento y mínimo estado de carga) se tenían en cuenta para el cálculo del beneficio semanal en función del tipo de batería empleado. Se decidió hacer esto para poder realizar el análisis de viabilidad económica para cada uno de los distintos tipos de baterías de una forma más general y didáctica, partiendo como referencia de los datos de ciclos de carga/descarga semanales y ahorros semanales, de forma que pudiera compararse los costes de las distintas tecnologías para los mismos parámetros de uso.

Sin embargo, a la hora de realizar el código de programación de la presente función se quiso tener en cuenta en el análisis desde el primer momento los factores de rendimiento y mínimo estado de carga para poder realizarlo de la manera más exacta y real posible. Es por ello que la forma de calcular la carga de la batería en cada instante de tiempo que se considera es de la siguiente manera:

- La cantidad de energía que se almacenará en la batería es la del desvío positivo en contra del sistema correspondiente multiplicada por el rendimiento de la batería.
- La cantidad de energía que descargará la batería cuando existe un desvío negativo en contra del sistema será igual a la cantidad de energía que represente dicho desvío dividido entre el rendimiento de la batería.
- La cantidad mínima de energía que puede llegar a tener almacenada la batería es la correspondiente al mínimo estado de carga. La cantidad máxima que puede llegar a tener almacenada es la cantidad correspondiente a su capacidad nominal.
- Si no se consigue cubrir todo un desvío, la parte del desvío que se cubra deberá de estar afectada por el rendimiento de la batería tanto si es una carga o una descarga.

De esta forma se consigue hacer el análisis lo más realista posible. Básicamente lo que se pretende modelar es que, si existe una cierta cantidad de energía para almacenar en la batería, no toda esta energía se llega a almacenar, sino un valor menor que dependerá del rendimiento que posea la batería. De la misma forma, si existe una cierta necesidad de energía, la cantidad de energía que la batería tiene que descargar para satisfacerla ha de ser superior a ella, valor que dependerá del rendimiento que posea la batería.

Los Anexos II, III y IV contienen los códigos de los dos programas desarrollados y el de la función desarrollada, para poder comprobar la forma en la que se realizan los cálculos en cada uno de los programas desarrollados.

ANEXO II:

CÓDIGO

PROGRAMA

ESTUDIO

ECONÓMICO

DETALLADO

%%%

PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO DETALLADO DE LA INSTALACIÓN
DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN FORMA DE BATERÍA EN UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

%%%

% Introducción de los datos para realizar el análisis económico:

```
A=input('Introduce el vector columna de Energía Real Producida: ');
B=input('Introduce el vector columna de Energía Prevista a Producir: ');
C=input('Introduce el vector columna del Precio del Mercado Diario: ');
D=input('Introduce el vector columna del Precio de Cobro de Desvíos a Subir: ');
E=input('Introduce el vector columna del Precio de Pago de Desvíos a Bajar: ');
F=input('Introduce el vector columna de la Necesidad del Sistema: ');
H=input('Introduce el valor de Capacidad de la Batería en kWh: ');
J=input('Introduce el valor del Estado de Carga Inicial de la Batería en tanto por uno: ');
K=input('Introduce el valor del Rendimiento de la Batería en tanto por ciento: ');
L=input('Introduce el valor del Mínimo Estado de Carga de la Batería en tanto por ciento: ');
M=input('Introduce el valor del Número Máximo de Ciclos de Carga/Descarga de la Batería: ');
N=input('Introduce el valor del Coste de Instalación de la Batería en €/kWh: ');
O=input('Introduce el valor del Coste de Mantenimiento Anual de la Batería en €/kWh·año: ');
P=input('Introduce el número de semanas que abarcan los datos introducidos: ');
Q=input('Introduce el porcentaje anual del aumento del precio de la energía eléctrica(%): ');
R=input('Introduce el porcentaje anual del aumento del precio del coste de mantenimiento(%): ');
S=input('Introduce el porcentaje anual de tasa de descuento por depreciación del precio del dinero(%): ');
```

%Asignamos los vectores columna introducidos a los vectores filas a usar:

```
E_REAL=A';
E_PREVISTA=B';
PMD=C';
PDSVS=D';
PDSVB=E';
DSVCS=F';
```

%Asignamos los valores introducidos a las variables a usar:

```
CAPACIDAD_BATERIA=H;  
ESTADO_CARGA_INICIAL=J;  
RENDIMIENTO_BATERIA=K;  
MINIMO_ESTADO_CARGA=L;  
CICLOS_MAXIMO=M;  
COSTE_INSTALACION=N;  
COSTE_MANTENIMIENTO=O;  
SEMANAS=P;
```

%Antes de comenzar a calcular debemos comprobar que los datos introducidos son correctos en dimensión:

```
if length(E_REAL)==length(E_PREVISTA) && length(E_REAL)==length(PMD) && length(E_REAL)==length(PDSVS) &&  
length(E_REAL)==length(PDSVB) && length(E_REAL)==length(DSVCS)
```

%Definimos los vectores y variables a emplear con valor inicial de 0:

```
DESVIO=zeros(1,length(E_REAL));  
DESVIO_FAVOR=zeros(1,length(E_REAL));  
DESVIO_CONTRA=zeros(1,length(E_REAL));  
DESVIO_CONTRA_SUBIR=zeros(1,length(E_REAL));  
DESVIO_CONTRA_BAJAR=zeros(1,length(E_REAL));  
COSTE_DESVIOS=zeros(1,length(E_REAL));  
COSTE_TOTAL_DESVIOS=0;  
  
CARGA_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));  
DESVIO_CUBIERTO_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));  
DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));  
  
COSTE_DESVIO_CON_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));  
AHORRO_COSTE_CON_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));  
COSTE_TOTAL_DESVIOS_BATERIA=0;  
AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA=0;
```

```
CICLOS_TOTALES=0;
CICLOS_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));

DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA_ENERGIA=0;
DESVIOS_CONTRA_SISTEMA_ENERGIA=0;
PORCENTAJE_DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA=0;

CAPACIDAD_NOMINAL=0;
VIDA_UTIL_ANOS=0;
VIDA_UTIL_SEMANAS=0;
COSTE_TOTAL_INSTALACION=0;
COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=0;
COSTES_TOTALES=0;
COSTES_TOTALES_SEMANALES=0;
BENEFICIO_SEMANAL=0;

for i=1:length(E_REAL)

    %Cálculo del desvío de energía:
    DESVIO(i)=E_REAL(i)-E_PREVISTA(i);

    %Cálculo del coste del desvío de energía:
    if DSVCS(i)==-1 && DESVIO(i)<0

        COSTE_DESVIOS(i)=(PDSVB(i)-PMD(i))*abs(DESVIO(i))/1000;

    elseif DSVCS(i)==1 && DESVIO(i)>0

        COSTE_DESVIOS(i)=(PMD(i)-PDSVS(i))*DESVIO(i)/1000;
```

```
else

    COSTE_DESVIOS (i)=0;
end

COSTE_TOTAL_DESVIOS=COSTE_TOTAL_DESVIOS+COSTE_DESVIOS (i);

%Cálculo de desvíos de energía a favor y en contra del sistema:

if COSTE_DESVIOS (i)==0

    DESVIO_FAVOR (i)=DESVIO (i);

else

    DESVIO_CONTRA (i)=DESVIO (i);

    if DESVIO (i)<0

        DESVIO_CONTRA_BAJAR (i)=DESVIO (i);

    else

        DESVIO_CONTRA_SUBIR (i)=DESVIO (i);

    end

end

end
```

```
%Cálculo de la carga de la batería instalada:
if COSTE_DESVIOS(i)>0
    if i==1
        if CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO(i)<CAPACIDAD_BATERIA &&
CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO(i)>0

            CARGA_BATERIA(i)=CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO(i);
            DESVIO_CUBIERTO_BATERIA(i)=DESVIO(i);
            DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=0;

        elseif CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO(i)>=CAPACIDAD_BATERIA

            CARGA_BATERIA(i)=CAPACIDAD_BATERIA;
            DESVIO_CUBIERTO_BATERIA(i)=CAPACIDAD_BATERIA-CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL;
            DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO(i)-CAPACIDAD_BATERIA;

        else

            CARGA_BATERIA(i)=0;
            DESVIO_CUBIERTO_BATERIA(i)=CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL;
            DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=DESVIO(i)+CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL;

        end

    else

        if CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)<CAPACIDAD_BATERIA && CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)>0

            CARGA_BATERIA(i)=CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i);
            DESVIO_CUBIERTO_BATERIA(i)=DESVIO(i);
            DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=0;
```

```
elseif CARGA_BATERIA (i-1)+DESVIO (i)>=CAPACIDAD_BATERIA

    CARGA_BATERIA (i)=CAPACIDAD_BATERIA;
    DESVIO_CUBIERTO_BATERIA (i)=CAPACIDAD_BATERIA-CARGA_BATERIA (i-1);
    DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=CARGA_BATERIA (i-1)+DESVIO (i)-CAPACIDAD_BATERIA;

else

    CARGA_BATERIA (i)=0;
    DESVIO_CUBIERTO_BATERIA (i)=CARGA_BATERIA (i-1);
    DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=DESVIO (i)+CARGA_BATERIA (i-1);

end

end

else
    if i==1

        CARGA_BATERIA (i)=CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL;
        DESVIO_CUBIERTO_BATERIA (i)=0;
        DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=DESVIO (i);

    else

        CARGA_BATERIA (i)=CARGA_BATERIA (i-1);
        DESVIO_CUBIERTO_BATERIA (i)=0;
        DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=DESVIO (i);

    end

end

end
```

```
%Cálculo del coste del desvío de energía con batería instalada:
if DSVCS(i)==-1 && DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)<0

    COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i)=(PDSVB(i)-PMD(i))*abs(DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i))/1000;

elseif DSVCS(i)==1 && DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)>0

    COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i)=(PMD(i)-PDSVS(i))*DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)/1000;

else

    COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i)=0;

end

AHORRO_COSTE_CON_BATERIA(i)=COSTE_DESVIOS(i)-COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i);
AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA=AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA+AHORRO_COSTE_CON_BATERIA(i);
COSTE_TOTAL_DESVIOS_BATERIA=COSTE_TOTAL_DESVIOS_BATERIA+COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i);

%Cálculo de los ciclos de carga/descarga de la batería:
if i==1

    CICLOS_BATERIA(i)=abs((CARGA_BATERIA(i)-CAPACIDAD_BATERIA*ESTADO_CARGA_INICIAL)/CAPACIDAD_BATERIA);

else

    CICLOS_BATERIA(i)=abs((CARGA_BATERIA(i)-CARGA_BATERIA(i-1))/CAPACIDAD_BATERIA);

end
```

```
CICLOS_TOTALES=CICLOS_TOTALES+CICLOS_BATERIA(i)/2;

%Cálculo del porcentaje de desvíos en contra del sistema cubiertos por la batería:

DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA_ENERGIA=DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA_ENERGIA+abs(DESVIO_CUBIERTO_BATERIA(i));
DESVIOS_CONTRA_SISTEMA_ENERGIA=DESVIOS_CONTRA_SISTEMA_ENERGIA+abs(DESVIO_CONTRA(i));

end

PORCENTAJE_DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA=(DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA_ENERGIA/DESVIOS_CONTRA_SISTEMA_ENERGIA)*100;

%MAGNITUDES A MOSTRAR:
fprintf('El Coste Total de los Desvíos sin instalar Baterías es de %.2f € a la semana.\n',
COSTE_TOTAL_DESVIOS/SEMANAS);
fprintf('El Coste Total de los Desvíos instalando las Baterías es de %.2f € a la semana.\n',
COSTE_TOTAL_DESVIOS_BATERIA/SEMANAS);
fprintf('El Ahorro de Costes que se produce por instalar las Baterías es de %.2f € a la semana.\n',
AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA/SEMANAS);
fprintf('El porcentaje de desvíos cubiertos, medido en energía, es del %.2f por ciento. \n',
PORCENTAJE_DESVIOS_CUBIERTOS_BATERIA);
fprintf('El número de ciclos completos de carga/descarga de las Baterías resulta ser de %.2f ciclos a la
semana.\n', CICLOS_TOTALES/SEMANAS);

%REPRESENTACIONES GRÁFICAS DE LAS MAGNITUDES CONSIDERADAS:
%1.-Representación de la Energía Real y la Prevista:
plot(E_REAL, 'b-');
hold on;
plot(E_PREVISTA, 'r-');
legend('Energía Real', 'Energía Prevista', -1);
```

```
title('PRODUCCIÓN DE ENERGÍA REAL Y PREVISTA');
xlabel('Horas');
ylabel('Energía (kWh)');
grid on;
hold off;

%2.-Representación de la Diferencia entre la Energía Real y la Prevista:
figure
plot(DESVIO, 'b-');
legend('Desvíos', -1);
title('DIFERENCIA ENTRE LA ENERGÍA REAL Y LA PREVISTA');
xlabel('Horas');
ylabel('Energía (kWh)');
grid on;

%3.-Representación de los precios de la energía:
figure
plot(PMD, 'b-');
hold on;
plot(PDSVB, 'r-');
hold on;
plot(PDSVS, 'g-');
legend('Precio Mercado Diario', 'Precio Pago Desvíos a Bajar', 'Precio Cobro Desvíos a Subir', -1);
title('PRECIO DEL MERCADO DIARIO Y DE LOS DESVÍOS');
xlabel('Horas');
ylabel('Euros/MWh (€/MWh)');
grid on;
hold off;

%4.-Representación de los desvíos a favor y en contra del sistema:
figure
plot(DESVIO_CONTRA, 'g-');
hold on;
```

```
plot (DESVIO_FAVOR, 'r-');
legend('Desvíos en Contra del Sistema', 'Desvíos a Favor del Sistema', -1);
title('DESVÍOS A FAVOR Y EN CONTRA DEL SISTEMA');
xlabel('Horas');
ylabel('Energía (kWh)');
grid on;
hold off;

%5.-Representación de los desvíos a subir y a bajar en contra del sistema:
figure
plot (DESVIO_CONTRA_SUBIR, 'r-');
hold on;
plot (DESVIO_CONTRA_BAJAR, 'g-');
legend('Desvíos a Subir en Contra del Sistema', 'Desvíos a Bajar en Contra del Sistema', -1);
title('DESVÍOS A SUBIR Y A BAJAR EN CONTRA DEL SISTEMA');
xlabel('Horas');
ylabel('Energía (kWh)');
grid on;
hold off;

%6.-Representación del Estado de Carga de la Batería:
figure
plot (CARGA_BATERIA*100/CAPACIDAD_BATERIA, 'b-');
legend('Estado de Carga', -1);
title('ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA');
xlabel('Horas');
ylabel('Porcentaje de Carga (%)');
grid on;

%7.-Representación de los desvíos en contra del sistema cubiertos por la batería:
figure
plot (DESVIO_CONTRA, 'r-');
hold on;
```

```
plot (DESVIO_CUBIERTO_BATERIA, 'b-');
legend('Desvíos en Contra del Sistema', 'Desvíos en Contra Cubierto por Batería', -1);
title('DESVÍOS EN CONTRA DEL SISTEMA CUBIERTOS POR LA BATERIA');
xlabel('Horas');
ylabel('Energía (kWh)');
grid on;
hold off;

%8.-Representación de los costes de los desvíos y de los ahorros con la batería:
figure
plot (COSTE_DESVIOS, 'r-');
hold on;
plot (AHORRO_COSTE_CON_BATERIA, 'b-');
legend('Costes Desvíos en Contra del Sistema', 'Ahorro por Desvios Cubiertos por Batería', -1);
title('AHORRO DE COSTES CON LA INSTALACIÓN DE LA BATERIA');
xlabel('Horas');
ylabel('Euros (€)');
grid on;
hold off;

%CÁLCULO DEL BENEFICIO SEMANAL POR LA INSTALACIÓN DE BATERÍAS:

CAPACIDAD_NOMINAL=CAPACIDAD_BATERIA/((RENDIMIENTO_BATERIA/100)*(1-MINIMO_ESTADO_CARGA/100));
VIDA_UTIL_SEMANAS=(CICLOS_MAXIMO/CICLOS_TOTALES)/SEMANAS;
VIDA_UTIL_AÑOS=VIDA_UTIL_SEMANAS/52;
COSTE_TOTAL_INSTALACION=COSTE_INSTALACION*CAPACIDAD_NOMINAL;
COSTE_MANTENIMIENTO_ANUAL=COSTE_MANTENIMIENTO*CAPACIDAD_NOMINAL;
AHORRO_ANUAL=52*AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA/SEMANAS;
AHORRO_TOTAL=0;
COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=0;
```

```
if VIDA_UTIL_ANOS<25

    for n=0:round(VIDA_UTIL_ANOS)

        AHORRO_TOTAL=AHORRO_TOTAL+AHORRO_ANUAL*((1+Q/100)^n)/((1+S/100)^n);

    COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO+COSTE_MANTENIMIENTO_ANUAL*((1+R/100)^n)/((1+S/100)^n);

    end

    COSTES_TOTALES=COSTE_TOTAL_INSTALACION+COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO;
    COSTES_TOTALES_SEMANALES=COSTES_TOTALES/VIDA_UTIL_SEMANAS;
    AHORRO_SEMANAL=AHORRO_TOTAL/VIDA_UTIL_SEMANAS;
    BENEFICIO_SEMANAL=AHORRO_SEMANAL-COSTES_TOTALES_SEMANALES;

else

    for n=0:25

        AHORRO_TOTAL=AHORRO_TOTAL+AHORRO_ANUAL*((1+Q/100)^n)/((1+S/100)^n);

    COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO+COSTE_MANTENIMIENTO_ANUAL*((1+R/100)^n)/((1+S/100)^n);

    end

    COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO*VIDA_UTIL_ANOS/25;
    AHORRO_TOTAL=AHORRO_TOTAL*VIDA_UTIL_ANOS/25;
    COSTES_TOTALES=COSTE_TOTAL_INSTALACION+COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO;
    COSTES_TOTALES_SEMANALES=COSTES_TOTALES/VIDA_UTIL_SEMANAS;
    AHORRO_SEMANAL=AHORRO_TOTAL/VIDA_UTIL_SEMANAS;
    BENEFICIO_SEMANAL=AHORRO_SEMANAL-COSTES_TOTALES_SEMANALES;

end
```

```
fprintf('Para una Capacidad Operativa de %.0f kWh se necesita una Capacidad Nominal de %.2f kWh.\n',  
CAPACIDAD_BATERIA, CAPACIDAD_NOMINAL);  
fprintf('La vida útil de dicha batería será de %.2f semanas o de %.2f años.\n', VIDA_UTIL_SEMANAS, VIDA_UTIL_ANOS);  
fprintf('Los Costes Totales de Instalación ascienden a %.2f €.\n', COSTE_TOTAL_INSTALACION);  
fprintf('Los Costes Totales de Mantenimiento ascienden a %.2f €.\n', COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO);  
fprintf('Los Costes Totales ascienden a %.2f €.\n', COSTES_TOTALES);  
fprintf('Los Costes Totales por Semana ascienden a %.2f €.\n', COSTES_TOTALES_SEMANALES);  
fprintf('El Ahorro Semanal por Desvíos Cubiertos por la Batería es de %.2f €.\n',  
AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA/SEMANAS);  
fprintf('El Beneficio Semanal resultará de %.2f €.\n', BENEFICIO_SEMANAL);
```

%En caso de que los datos introducidos no tengan la misma dimensión, se imprimirá en pantalla lo siguiente:

```
else  
    fprintf('Se ha introducido vectores de diferentes tamaños.\n');  
    fprintf('Asegúrese de introducir los vectores adecuados.\n');  
end
```

ANEXO III:

CÓDIGO

PROGRAMA

ESTUDIO DEL

BENEFICIO

SEMANAL

%%%

PROGRAMA PARA EL ESTUDIO DEL BENEFICIO SEMANAL MÁXIMO A OBTENER SEGÚN EL AÑO
DE INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN FORMA DE BATERÍA EN UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE

%%%

% Introducción de los datos para realizar el análisis económico:

```
A=input('Introduce el vector columna de Energía Real Producida: ');
B=input('Introduce el vector columna de Energía Prevista a Producir: ');
C=input('Introduce el vector columna del Precio del Mercado Diario: ');
D=input('Introduce el vector columna del Precio de Cobro de Desvíos a Subir: ');
E=input('Introduce el vector columna del Precio de Pago de Desvíos a Bajar: ');
F=input('Introduce el vector columna de la Necesidad del Sistema: ');
J=input('Introduce el valor del Estado de Carga Inicial de la Batería en tanto por uno: ');
K=input('Introduce el valor del Rendimiento de la Batería en tanto por ciento: ');
L=input('Introduce el valor del Mínimo Estado de Carga de la Batería en tanto por ciento: ');
M=input('Introduce el valor del Número Máximo de Ciclos de Carga/Descarga de la Batería: ');
N=input('Introduce el valor del Coste de Instalación de la Batería en €/kWh: ');
O=input('Introduce el valor del Coste de Mantenimiento Anual de la Batería en €/kWh·año: ');
P=input('Introduce el Número de Semanas que abarcan los datos introducidos: ');
x=input('Introduce la Capacidad Mínima de la Batería en kWh a partir de la que realizar el estudio: ');
y=input('Introduce la Capacidad Máxima de la Batería en kWh hasta la que realizar el estudio: ');
z=input('Introduce el valor de las Diferencia de Capacidad entre los distintos puntos donde realizar el estudio: ');
AA=input('Introduce el porcentaje anual del aumento del precio de la energía eléctrica(%): ');
BB=input('Introduce el porcentaje anual del aumento del precio del coste de mantenimiento(%): ');
CC=input('Introduce el porcentaje anual de tasa de descuento por depreciación del precio del dinero(%): ');
```

`%Definiremos los vectores y magnitudes con las que trabajaremos:`

```
Longitud_vector_resultados=1+floor((y-x)/z);  
Capacidades=zeros(1,Longitud_vector_resultados);  
Beneficios=zeros(1,Longitud_vector_resultados);  
Errores=zeros(1,Longitud_vector_resultados);
```

```
Descuento=[1.04882 0.90141 0.77472 0.66583 0.57225 0.49182 0.42270 0.36329 0.31223 0.26834 0.23063 0.19821  
0.17035 0.14641 0.12583 0.10815 0.09295 0.07988 0.06866 0.05901 0.05071 0.04359 0.03746 0.03219 0.02767 0.02378  
0.02044 0.01757 0.01510 0.01298 0.01115 0.00958 0.00824 0.00708 0.00608 0.00523];
```

```
v=0;
```

```
for u=Q:Q+R-1
```

```
    v=v+1;  
    t=0;  
    Capacidad_Optima_Operativa=0;  
    Beneficio_Optimo=0;  
    Coste_Instalacion=N*Descuento(v);  
    Coste_Mantenimiento=O*Descuento(v);
```

```
    for i=x:z:y
```

```
        %Para cada iteración el valor de capacidad será diferente:  
        H=i;
```

```
        %Realizamos el estudio empleando la función "Beneficio_Semanal_Baterias" realizada:  
        t=t+1;  
        Capacidades(t)=H;  
        [Beneficios(t), Errores(t)]=Beneficio_Semanal_Baterias(A,B,C,D,E,F,H,J,K,L,M,Coste_Instalacion,  
        Coste_Mantenimiento,P,AA,BB,CC);
```

```
%Comprobamos si dicho beneficio es mejor que los anteriores:
if i==x
    Capacidad_Optima_Operativa=H;
    Beneficio_Optimo=Beneficios(t);
else
    if Beneficios(t)>Beneficio_Optimo
        Capacidad_Optima_Operativa=H;
        Beneficio_Optimo=Beneficios(t);
    end
end

end

%Representación gráfica de los beneficios semanales en función de la capacidad de la batería:
plot(Capacidades,Beneficios,'b-');
grid on;
hold on;
plot(Capacidad_Optima_Operativa,Beneficio_Optimo,'r.');
```

%Determinación de la Capacidad Óptima de la Batería:

```
Capacidad_Optima_Nominal=Capacidad_Optima_Operativa/((K/100)*(1-L/100));
fprintf('Si se instala la batería en el año %.0f la Capacidad Óptima Operativa es de %.0f kWh, con una
Capacidad Nominal de %.2f kWh y con Beneficio Semanal de %.2f €\n',u,Capacidad_Optima_Operativa,
Capacidad_Optima_Nominal,Beneficio_Optimo);
```

```
end

legend('Beneficio Semanal','Capacidad Óptima',-1);
title('BENEFICIOS SEMANALES POR EL USO DE BATERÍAS');
xlabel('Capacidad Operativa del Sistema de Baterías (kWh)');
ylabel('Beneficio Semanal (€/Semana)');
```

ANEXO IV:

CÓDIGO

FUNCIÓN

“BENEFICIO

SEMANAL

BATERÍAS”

%%%

FUNCIÓN
"BENEFICIO_SEMANAL_BATERIAS"

%%%

%Función en la que te devuelve el beneficio semanal al introducir los datos de energía real, energía prevista,
%precio del mercado diario, precio de pago de los desvíos a bajar, precio de cobro de los desvíos a subir,
%necesidad de energía del sistema; así como los datos correspondientes a las características y los precios de
%la tecnología de baterías a instalar.

%La variable de salida es el Beneficio Semanal obtenido y una variable "error" que se pone a 1 si ha ocurrido
%algún error durante el proceso de cálculo.

%Las variables de entrada son las siguientes:

- % A = Vector Columna de Energía Real Producida en kWh.
- % B = Vector Columna de Energía Prevista a Producir en kWh.
- % C = Vector Columna del Precio del Mercado Diario en €/MWh.
- % D = Vector Columna del Precio de Cobro de Desvíos a Subir en €/MWh.
- % E = Vector Columna del Precio de Pago de Desvíos a Bajar en €/MWh.
- % F = Vector Columna de la Necesidad del Sistema.
- % H = Valor de Capacidad Operativa de la Batería en kWh.
- % J = Valor del Estado de Carga Inicial de la Batería en tanto por uno.
- % K = Valor del Rendimiento de la Batería en tanto por ciento.
- % L = Valor del Mínimo Estado de Carga de la Batería en tanto por ciento.
- % M = Valor del Número Máximo de Ciclos de Carga/Descarga de la Batería.
- % N = Valor del Coste de Instalación de la Batería en €/kWh.
- % O = Valor del Coste de Mantenimiento Anual de la Batería en €/kWh·año.
- % P = Número de Semanas que abarcan los datos introducidos.
- % Q = Porcentaje Anual del Aumento del Precio de la Energía Eléctrica(%).
- % R = Porcentaje Anual del Aumento del Precio del Coste de Mantenimiento(%).
- % S = Porcentaje Anual de la Tasa de Descuento por Depreciación del Precio del Dinero(%).

```
function [BENEFICIO_SEMANAL, ERROR]=Beneficio_Semanal_Baterias (A, B, C, D, E, F, H, J, K, L, M, N, O, P)

%Asignamos los vectores columna introducidos a los vectores filas a usar:
E_REAL=A';
E_PREVISTA=B';
PMD=C';
PDSVS=D';
PDSVB=E';
DSVCS=F';

%Asignamos los valores introducidas a las variables a usar:
CAPACIDAD_BATERIA=H;
ESTADO_CARGA_INICIAL=J;
RENDIMIENTO_BATERIA=K;
MINIMO_ESTADO_CARGA=L;
CICLOS_MAXIMO=M;
COSTE_INSTALACION=N;
COSTE_MANTENIMIENTO=O;
SEMANAS=P;

%Antes de comenzar a calcular debemos comprobar que los datos introducidos son correctos en dimensión:

if length(E_REAL)==length(E_PREVISTA) && length(E_REAL)==length(PMD) && length(E_REAL)==length(PDSVS) &&
length(E_REAL)==length(PDSVB) && length(E_REAL)==length(DSVCS)

%Definimos los vectores y variables a emplear con valor inicial de 0:
DESVIO=zeros (1, length(E_REAL));
COSTE_DESVIOS=zeros (1, length(E_REAL));

CARGA_BATERIA=zeros (1, length(E_REAL));
DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA=zeros (1, length(E_REAL));
COSTE_DESVIO_CON_BATERIA=zeros (1, length(E_REAL));
```

```
AHORRO_COSTE_CON_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));  
AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA=0;
```

```
CICLOS_TOTALES=0;  
CICLOS_BATERIA=zeros(1,length(E_REAL));
```

```
ERROR=0;
```

```
%Calculamos la capacidad nominal de la batería a instalar para dicha capacidad operativa indicada:  
CAPACIDAD_NOMINAL=CAPACIDAD_BATERIA/((RENDIMIENTO_BATERIA/100)*(1-MINIMO_ESTADO_CARGA/100));
```

```
for i=1:length(E_REAL)
```

```
    %Cálculo del desvío de energía:  
    DESVIO(i)=E_REAL(i)-E_PREVISTA(i);
```

```
    %Cálculo del coste del desvío de energía sin batería:  
    if DSVCS(i)==-1 && DESVIO(i)<0
```

```
        COSTE_DESVIOS(i)=(PDSVB(i)-PMD(i))*abs(DESVIO(i))/1000;
```

```
    elseif DSVCS(i)==1 && DESVIO(i)>0
```

```
        COSTE_DESVIOS(i)=(PMD(i)-PDSVS(i))*DESVIO(i)/1000;
```

```
    else
```

```
        COSTE_DESVIOS(i)=0;
```

```
    end
```

```
%Cálculo de la carga de la batería instalada:
if COSTE_DESVIOS (i)>0
    if i==1
        if (CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) *RENDIMIENTO_BATERIA/100<CAPACIDAD_NOMINAL &&
DESVIO (i)>=0) || (CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) / (RENDIMIENTO_BATERIA/100)>MINIMO_ESTADO_CARGA
&& DESVIO (i)<0)

            if DESVIO (i)>=0
                CARGA_BATERIA (i)=CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) *RENDIMIENTO_BATERIA/100;
                DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=0*100/RENDIMIENTO_BATERIA;
            else
                CARGA_BATERIA (i)=CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) / (RENDIMIENTO_BATERIA/100);
                DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=0*100/RENDIMIENTO_BATERIA;
            end

        elseif CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) *RENDIMIENTO_BATERIA/100>=CAPACIDAD_NOMINAL

            CARGA_BATERIA (i)=CAPACIDAD_NOMINAL;

            DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=(CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) *RENDIMIENTO_BATERIA/100-
CAPACIDAD_NOMINAL) *100/RENDIMIENTO_BATERIA;

        else

            CARGA_BATERIA (i)=MINIMO_ESTADO_CARGA;

            DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA (i)=(CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL+DESVIO (i) / (RENDIMIENTO_BATERIA/100)-
MINIMO_ESTADO_CARGA) *100/RENDIMIENTO_BATERIA;

        end

    else
```

```
if (CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)*RENDIMIENTO_BATERIA/100<CAPACIDAD_NOMINAL && DESVIO(i)>=0) ||  
(CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)/(RENDIMIENTO_BATERIA/100)>MINIMO_ESTADO_CARGA && DESVIO(i)<0)  
  
    if DESVIO(i)>=0  
        CARGA_BATERIA(i)=CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)*RENDIMIENTO_BATERIA/100;  
        DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=0*100/RENDIMIENTO_BATERIA;  
    else  
        CARGA_BATERIA(i)=CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)/(RENDIMIENTO_BATERIA/100);  
        DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=0*100/RENDIMIENTO_BATERIA;  
    end  
  
elseif CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)*RENDIMIENTO_BATERIA/100>=CAPACIDAD_NOMINAL  
  
    CARGA_BATERIA(i)=CAPACIDAD_NOMINAL;  
    DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=(CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)*RENDIMIENTO_BATERIA/100-  
CAPACIDAD_NOMINAL)*100/RENDIMIENTO_BATERIA;  
  
else  
  
    CARGA_BATERIA(i)=MINIMO_ESTADO_CARGA;  
    DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=(CARGA_BATERIA(i-1)+DESVIO(i)/(RENDIMIENTO_BATERIA/100)-  
MINIMO_ESTADO_CARGA)*100/RENDIMIENTO_BATERIA;  
  
end  
  
end  
  
else  
    if i==1  
  
        CARGA_BATERIA(i)=CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL;  
        DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=DESVIO(i);
```

```
else

    CARGA_BATERIA(i)=CARGA_BATERIA(i-1);
    DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)=DESVIO(i);

end

end

%Cálculo del coste del desvío de energía con batería instalada:

if DSVCS(i)==-1 && DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)<0

    COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i)=(PDSVB(i)-PMD(i))*abs(DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i))/1000;

elseif DSVCS(i)==1 && DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)>0

    COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i)=(PMD(i)-PDSVS(i))*DESVIO_NO_CUBIERTO_BATERIA(i)/1000;

else

    COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i)=0;

end

AHORRO_COSTE_CON_BATERIA(i)=COSTE_DESVIOS(i)-COSTE_DESVIO_CON_BATERIA(i);
AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA=AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA+AHORRO_COSTE_CON_BATERIA(i);
```

```
%Cálculo de los ciclos de carga/descarga de la batería:
if i==1

    CICLOS_BATERIA(i)=abs((CARGA_BATERIA(i)-CAPACIDAD_NOMINAL*ESTADO_CARGA_INICIAL)/CAPACIDAD_NOMINAL);

else

    CICLOS_BATERIA(i)=abs((CARGA_BATERIA(i)-CARGA_BATERIA(i-1))/CAPACIDAD_NOMINAL);

end

CICLOS_TOTALES=CICLOS_TOTALES+CICLOS_BATERIA(i)/2;

end

%CÁLCULO DEL BENEFICIO SEMANAL POR LA INSTALACIÓN DE BATERÍAS:
CAPACIDAD_NOMINAL=CAPACIDAD_BATERIA/((RENDIMIENTO_BATERIA/100)*(1-MINIMO_ESTADO_CARGA/100));
VIDA_UTIL_SEMANAS=(CICLOS_MAXIMO/CICLOS_TOTALES)/SEMANAS;
VIDA_UTIL_ANOS=VIDA_UTIL_SEMANAS/52;
COSTE_TOTAL_INSTALACION=COSTE_INSTALACION*CAPACIDAD_NOMINAL;
COSTE_MANTENIMIENTO_ANUAL=COSTE_MANTENIMIENTO*CAPACIDAD_NOMINAL;
AHORRO_ANUAL=52*AHORRO_TOTAL_DESVIOS_BATERIA/SEMANAS;
AHORRO_TOTAL=0;
COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=0;

if VIDA_UTIL_ANOS<25

    for n=0:round(VIDA_UTIL_ANOS)

        AHORRO_TOTAL=AHORRO_TOTAL+AHORRO_ANUAL*((1+Q/100)^n)/((1+S/100)^n);

    end

end
```

```
COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO+COSTE_MANTENIMIENTO_ANUAL*((1+R/100)^n)/((1+S/100)^n);
```

```
end
```

```
COSTES_TOTALES=COSTE_TOTAL_INSTALACION+COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO;  
COSTES_TOTALES_SEMANALES=COSTES_TOTALES/VIDA_UTIL_SEMANAS;  
AHORRO_SEMANAL=AHORRO_TOTAL/VIDA_UTIL_SEMANAS;  
BENEFICIO_SEMANAL=AHORRO_SEMANAL-COSTES_TOTALES_SEMANALES;
```

```
else
```

```
for n=0:25
```

```
    AHORRO_TOTAL=AHORRO_TOTAL+AHORRO_ANUAL*((1+Q/100)^n)/((1+S/100)^n);
```

```
COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO+COSTE_MANTENIMIENTO_ANUAL*((1+R/100)^n)/((1+S/100)^n);
```

```
end
```

```
COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO=COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO*VIDA_UTIL_ANOS/25;  
AHORRO_TOTAL=AHORRO_TOTAL*VIDA_UTIL_ANOS/25;  
COSTES_TOTALES=COSTE_TOTAL_INSTALACION+COSTE_TOTAL_MANTENIMIENTO;  
COSTES_TOTALES_SEMANALES=COSTES_TOTALES/VIDA_UTIL_SEMANAS;  
AHORRO_SEMANAL=AHORRO_TOTAL/VIDA_UTIL_SEMANAS;  
BENEFICIO_SEMANAL=AHORRO_SEMANAL-COSTES_TOTALES_SEMANALES;
```

```
end
```

`%En caso de que los datos introducidos no tengan la misma dimensión, se imprimirá en pantalla lo siguiente:`

```
else  
    ERROR=1;  
    BENEFICIO_SEMANAL=0;  
end
```

ANEXO V:

TABLAS DE

DATOS PARA EL

CÁLCULO DEL

COSTE DE LOS

DESVÍOS

TRAMO HORARIO	ENERGÍA REAL PRODUCIDA (kWh)	ENERGÍA PREVISTA PRODUCIR (kWh)	DESVIO DE ENERGÍA (kWh)	PRECIO MERCADO DIARIO (€/MWh)	PRECIO COBRO DESVIO A SUBIR (€/MWh)	PRECIO PAGO DESVIO A BAJAR (€/MWh)	NECESIDAD DEL SISTEMA	DESVIO A FAVOR DEL SISTEMA (kWh)	DESVIO EN CONTRA DEL SISTEMA (kWh)	DESVIO CONTRA DEL SISTEMA A BAJAR (kWh)	DESVIO CONTRA DEL SISTEMA A SUBIR (kWh)	COSTE DE LOS DESVIOS (€)
21/03/2016 0:10	404,15	375,93	28,22	37,33	37,33	39,12	-1	28,22	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 0:20	403,22	384,79	18,43	37,33	37,33	39,12	-1	18,43	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 0:30	419,12	396,23	22,89	37,33	37,33	39,12	-1	22,89	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 0:40	520,09	405,60	114,49	37,33	37,33	39,12	-1	114,49	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 0:50	358,56	409,64	-51,08	37,33	37,33	39,12	-1	0,00	51,08	51,08	0,00	0,09143
21/03/2016 1:00	341,72	417,86	-76,14	37,33	37,33	39,12	-1	0,00	76,14	76,14	0,00	0,13629
21/03/2016 1:10	238,17	432,00	-193,83	31,79	31,79	36,83	-1	0,00	193,83	193,83	0,00	0,97690
21/03/2016 1:20	273,03	445,29	-172,26	31,79	31,79	36,83	-1	0,00	172,26	172,26	0,00	0,86821
21/03/2016 1:30	311,61	467,72	-156,11	31,79	31,79	36,83	-1	0,00	156,11	156,11	0,00	0,78678
21/03/2016 1:40	316,76	483,87	-167,11	31,79	31,79	36,83	-1	0,00	167,11	167,11	0,00	0,84223
21/03/2016 1:50	288,52	501,81	-213,29	31,79	31,79	36,83	-1	0,00	213,29	213,29	0,00	1,07500
21/03/2016 2:00	312,55	527,77	-215,22	31,79	31,79	36,83	-1	0,00	215,22	215,22	0,00	1,08468
21/03/2016 2:10	314,37	549,62	-235,25	28,68	28,68	37,47	-1	0,00	235,25	235,25	0,00	2,06787

21/03/2016 2:20	424,11	562,48	-138,37	28,68	28,68	37,47	-1	0,00	138,37	138,37	0,00	1,21627
21/03/2016 2:30	529,31	583,39	-54,08	28,68	28,68	37,47	-1	0,00	54,08	54,08	0,00	0,47535
21/03/2016 2:40	505,09	606,94	-101,85	28,68	28,68	37,47	-1	0,00	101,85	101,85	0,00	0,89526
21/03/2016 2:50	520,37	618,72	-98,35	28,68	28,68	37,47	-1	0,00	98,35	98,35	0,00	0,86450
21/03/2016 3:00	510,41	625,25	-114,84	28,68	28,68	37,47	-1	0,00	114,84	114,84	0,00	1,00946
21/03/2016 3:10	404,13	634,01	-229,88	28,01	28,01	37,37	-1	0,00	229,88	229,88	0,00	2,15163
21/03/2016 3:20	290,59	642,77	-352,18	28,01	28,01	37,37	-1	0,00	352,18	352,18	0,00	3,29645
21/03/2016 3:30	416,63	655,11	-238,48	28,01	28,01	37,37	-1	0,00	238,48	238,48	0,00	2,23217
21/03/2016 3:40	467,60	663,35	-195,75	28,01	28,01	37,37	-1	0,00	195,75	195,75	0,00	1,83219
21/03/2016 3:50	359,68	674,35	-314,67	28,01	28,01	37,37	-1	0,00	314,67	314,67	0,00	2,94529
21/03/2016 4:00	350,77	682,09	-331,32	28,01	28,01	37,37	-1	0,00	331,32	331,32	0,00	3,10114
21/03/2016 4:10	403,70	694,23	-290,53	28,01	28,01	32,74	-1	0,00	290,53	290,53	0,00	1,37419
21/03/2016 4:20	321,14	701,32	-380,18	28,01	28,01	32,74	-1	0,00	380,18	380,18	0,00	1,79823
21/03/2016 4:30	366,86	714,32	-347,46	28,01	28,01	32,74	-1	0,00	347,46	347,46	0,00	1,64348
21/03/2016 4:40	349,78	725,71	-375,93	28,01	28,01	32,74	-1	0,00	375,93	375,93	0,00	1,77816
21/03/2016 4:50	286,54	736,75	-450,21	28,01	28,01	32,74	-1	0,00	450,21	450,21	0,00	2,12950
21/03/2016 5:00	316,71	725,93	-409,22	28,01	28,01	32,74	-1	0,00	409,22	409,22	0,00	1,93561
21/03/2016 5:10	236,29	729,35	-493,06	28,01	28,01	36,22	-1	0,00	493,06	493,06	0,00	4,04800
21/03/2016 5:20	151,61	728,44	-576,83	28,01	28,01	36,22	-1	0,00	576,83	576,83	0,00	4,73575
21/03/2016 5:30	209,64	739,03	-529,39	28,01	28,01	36,22	-1	0,00	529,39	529,39	0,00	4,34626
21/03/2016 5:40	182,82	742,51	-559,69	28,01	28,01	36,22	-1	0,00	559,69	559,69	0,00	4,59505
21/03/2016 5:50	160,29	758,81	-598,52	28,01	28,01	36,22	-1	0,00	598,52	598,52	0,00	4,91386
21/03/2016 6:00	78,35	764,44	-686,09	28,01	28,01	36,22	-1	0,00	686,09	686,09	0,00	5,63281
21/03/2016 6:10	281,06	785,99	-504,93	32,01	32,01	38,67	-1	0,00	504,93	504,93	0,00	3,36285
21/03/2016 6:20	410,88	799,72	-388,84	32,01	32,01	38,67	-1	0,00	388,84	388,84	0,00	2,58969

21/03/2016 6:30	289,86	815,39	-525,53	32,01	32,01	38,67	-1	0,00	525,53	525,53	0,00	3,50006
21/03/2016 6:40	366,72	837,48	-470,76	32,01	32,01	38,67	-1	0,00	470,76	470,76	0,00	3,13526
21/03/2016 6:50	383,46	856,84	-473,38	32,01	32,01	38,67	-1	0,00	473,38	473,38	0,00	3,15269
21/03/2016 7:00	372,01	874,50	-502,49	32,01	32,01	38,67	-1	0,00	502,49	502,49	0,00	3,34661
21/03/2016 7:10	435,10	891,25	-456,15	38,00	24,16	38,00	1	456,15	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 7:20	565,00	908,02	-343,02	38,00	24,16	38,00	1	343,02	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 7:30	577,40	923,05	-345,65	38,00	24,16	38,00	1	345,65	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 7:40	620,87	945,90	-325,03	38,00	24,16	38,00	1	325,03	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 7:50	689,24	963,36	-274,12	38,00	24,16	38,00	1	274,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 8:00	588,75	987,70	-398,95	38,00	24,16	38,00	1	398,95	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 8:10	630,66	994,15	-363,49	40,14	40,14	40,14	1	363,49	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 8:20	676,88	998,70	-321,82	40,14	40,14	40,14	1	321,82	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 8:30	670,88	1005,89	-335,01	40,14	40,14	40,14	1	335,01	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 8:40	960,87	1012,95	-52,08	40,14	40,14	40,14	1	52,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 8:50	820,27	1023,01	-202,74	40,14	40,14	40,14	1	202,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 9:00	750,00	1032,28	-282,28	40,14	40,14	40,14	1	282,28	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 9:10	870,90	1035,42	-164,52	41,22	41,22	47,22	-1	0,00	164,52	164,52	0,00	0,98712
21/03/2016 9:20	769,36	1036,74	-267,38	41,22	41,22	47,22	-1	0,00	267,38	267,38	0,00	1,60427
21/03/2016 9:30	646,87	1047,79	-400,92	41,22	41,22	47,22	-1	0,00	400,92	400,92	0,00	2,40551
21/03/2016 9:40	546,18	1052,82	-506,64	41,22	41,22	47,22	-1	0,00	506,64	506,64	0,00	3,03982
21/03/2016 9:50	842,13	1055,00	-212,87	41,22	41,22	47,22	-1	0,00	212,87	212,87	0,00	1,27724
21/03/2016 10:00	917,86	1058,86	-141,00	41,22	41,22	47,22	-1	0,00	141,00	141,00	0,00	0,84600
21/03/2016 10:10	748,81	1063,39	-314,58	40,00	40,00	52,00	-1	0,00	314,58	314,58	0,00	3,77492
21/03/2016 10:20	591,72	1069,05	-477,33	40,00	40,00	52,00	-1	0,00	477,33	477,33	0,00	5,72794
21/03/2016 10:30	714,46	1076,38	-361,92	40,00	40,00	52,00	-1	0,00	361,92	361,92	0,00	4,34303

21/03/2016 10:40	901,44	1081,51	-180,07	40,00	40,00	52,00	-1	0,00	180,07	180,07	0,00	2,16081
21/03/2016 10:50	656,10	1084,75	-428,65	40,00	40,00	52,00	-1	0,00	428,65	428,65	0,00	5,14378
21/03/2016 11:00	481,81	1091,53	-609,72	40,00	40,00	52,00	-1	0,00	609,72	609,72	0,00	7,31661
21/03/2016 11:10	461,91	1094,01	-632,10	40,00	40,00	47,10	-1	0,00	632,10	632,10	0,00	4,48791
21/03/2016 11:20	476,99	1086,15	-609,16	40,00	40,00	47,10	-1	0,00	609,16	609,16	0,00	4,32504
21/03/2016 11:30	417,76	1079,14	-661,38	40,00	40,00	47,10	-1	0,00	661,38	661,38	0,00	4,69582
21/03/2016 11:40	539,02	1075,75	-536,73	40,00	40,00	47,10	-1	0,00	536,73	536,73	0,00	3,81080
21/03/2016 11:50	605,88	1083,28	-477,40	40,00	40,00	47,10	-1	0,00	477,40	477,40	0,00	3,38954
21/03/2016 12:00	559,91	1097,88	-537,97	40,00	40,00	47,10	-1	0,00	537,97	537,97	0,00	3,81959
21/03/2016 12:10	525,43	1098,53	-573,10	40,05	40,05	47,19	-1	0,00	573,10	573,10	0,00	4,09195
21/03/2016 12:20	785,59	1103,43	-317,84	40,05	40,05	47,19	-1	0,00	317,84	317,84	0,00	2,26936
21/03/2016 12:30	1050,30	1111,84	-61,54	40,05	40,05	47,19	-1	0,00	61,54	61,54	0,00	0,43943
21/03/2016 12:40	1225,74	1122,70	103,04	40,05	40,05	47,19	-1	103,04	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 12:50	963,83	1128,19	-164,36	40,05	40,05	47,19	-1	0,00	164,36	164,36	0,00	1,17350
21/03/2016 13:00	1046,89	1137,70	-90,81	40,05	40,05	47,19	-1	0,00	90,81	90,81	0,00	0,64837
21/03/2016 13:10	1204,03	1143,12	60,91	40,00	40,00	47,45	-1	60,91	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 13:20	849,87	1149,99	-300,12	40,00	40,00	47,45	-1	0,00	300,12	300,12	0,00	2,23587
21/03/2016 13:30	865,72	1161,46	-295,74	40,00	40,00	47,45	-1	0,00	295,74	295,74	0,00	2,20327
21/03/2016 13:40	1265,76	1175,94	89,82	40,00	40,00	47,45	-1	89,82	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 13:50	1423,39	1197,51	225,88	40,00	40,00	47,45	-1	225,88	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 14:00	1370,55	1208,15	162,40	40,00	40,00	47,45	-1	162,40	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 14:10	1441,80	1227,35	214,45	38,69	38,69	47,25	-1	214,45	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 14:20	1467,16	1234,61	232,55	38,69	38,69	47,25	-1	232,55	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 14:30	1481,84	1251,78	230,06	38,69	38,69	47,25	-1	230,06	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 14:40	1113,84	1267,14	-153,30	38,69	38,69	47,25	-1	0,00	153,30	153,30	0,00	1,31225

21/03/2016 14:50	1188,88	1284,27	-95,39	38,69	38,69	47,25	-1	0,00	95,39	95,39	0,00	0,81652
21/03/2016 15:00	1374,59	1300,51	74,08	38,69	38,69	47,25	-1	74,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 15:10	1371,31	1303,79	67,52	37,52	37,52	47,01	-1	67,52	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 15:20	1409,91	1309,25	100,66	37,52	37,52	47,01	-1	100,66	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 15:30	1471,97	1304,38	167,59	37,52	37,52	47,01	-1	167,59	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 15:40	1471,49	1298,18	173,31	37,52	37,52	47,01	-1	173,31	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 15:50	1150,99	1295,28	-144,29	37,52	37,52	47,01	-1	0,00	144,29	144,29	0,00	1,36930
21/03/2016 16:00	1504,96	1288,34	216,62	37,52	37,52	47,01	-1	216,62	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 16:10	1639,22	1281,29	357,93	36,46	36,46	44,92	-1	357,93	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 16:20	1464,09	1275,90	188,19	36,46	36,46	44,92	-1	188,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 16:30	1431,41	1270,64	160,77	36,46	36,46	44,92	-1	160,77	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 16:40	1333,85	1267,32	66,53	36,46	36,46	44,92	-1	66,53	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 16:50	1200,26	1263,96	-63,70	36,46	36,46	44,92	-1	0,00	63,70	63,70	0,00	0,53891
21/03/2016 17:00	1036,16	1265,46	-229,30	36,46	36,46	44,92	-1	0,00	229,30	229,30	0,00	1,93989
21/03/2016 17:10	924,26	1267,80	-343,54	35,43	35,43	44,39	-1	0,00	343,54	343,54	0,00	3,07810
21/03/2016 17:20	864,38	1270,92	-406,54	35,43	35,43	44,39	-1	0,00	406,54	406,54	0,00	3,64259
21/03/2016 17:30	1002,73	1283,86	-281,13	35,43	35,43	44,39	-1	0,00	281,13	281,13	0,00	2,51892
21/03/2016 17:40	1075,06	1279,56	-204,50	35,43	35,43	44,39	-1	0,00	204,50	204,50	0,00	1,83229
21/03/2016 17:50	1156,06	1275,47	-119,41	35,43	35,43	44,39	-1	0,00	119,41	119,41	0,00	1,06992
21/03/2016 18:00	1237,14	1271,61	-34,47	35,43	35,43	44,39	-1	0,00	34,47	34,47	0,00	0,30889
21/03/2016 18:10	1169,99	1267,15	-97,16	34,37	34,37	41,22	-1	0,00	97,16	97,16	0,00	0,66554
21/03/2016 18:20	1130,42	1261,71	-131,29	34,37	34,37	41,22	-1	0,00	131,29	131,29	0,00	0,89935
21/03/2016 18:30	1124,68	1255,03	-130,35	34,37	34,37	41,22	-1	0,00	130,35	130,35	0,00	0,89292
21/03/2016 18:40	1024,46	1242,86	-218,40	34,37	34,37	41,22	-1	0,00	218,40	218,40	0,00	1,49604
21/03/2016 18:50	1060,68	1223,81	-163,13	34,37	34,37	41,22	-1	0,00	163,13	163,13	0,00	1,11742

21/03/2016 19:00	1119,06	1211,34	-92,28	34,37	34,37	41,22	-1	0,00	92,28	92,28	0,00	0,63209
21/03/2016 19:10	1130,91	1193,75	-62,84	40,20	40,20	51,68	-1	0,00	62,84	62,84	0,00	0,72146
21/03/2016 19:20	1168,32	1177,40	-9,08	40,20	40,20	51,68	-1	0,00	9,08	9,08	0,00	0,10429
21/03/2016 19:30	1099,09	1154,35	-55,26	40,20	40,20	51,68	-1	0,00	55,26	55,26	0,00	0,63444
21/03/2016 19:40	965,34	1107,24	-141,90	40,20	40,20	51,68	-1	0,00	141,90	141,90	0,00	1,62898
21/03/2016 19:50	851,02	1023,58	-172,56	40,20	40,20	51,68	-1	0,00	172,56	172,56	0,00	1,98101
21/03/2016 20:00	869,68	956,09	-86,41	40,20	40,20	51,68	-1	0,00	86,41	86,41	0,00	0,99201
21/03/2016 20:10	770,89	924,60	-153,71	40,05	40,05	41,00	-1	0,00	153,71	153,71	0,00	0,14602
21/03/2016 20:20	710,59	903,88	-193,29	40,05	40,05	41,00	-1	0,00	193,29	193,29	0,00	0,18363
21/03/2016 20:30	753,73	885,25	-131,52	40,05	40,05	41,00	-1	0,00	131,52	131,52	0,00	0,12495
21/03/2016 20:40	777,21	869,10	-91,89	40,05	40,05	41,00	-1	0,00	91,89	91,89	0,00	0,08730
21/03/2016 20:50	724,48	861,07	-136,59	40,05	40,05	41,00	-1	0,00	136,59	136,59	0,00	0,12976
21/03/2016 21:00	695,27	852,12	-156,85	40,05	40,05	41,00	-1	0,00	156,85	156,85	0,00	0,14901
21/03/2016 21:10	694,82	842,92	-148,10	39,29	22,33	39,29	1	148,10	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 21:20	761,59	853,58	-91,99	39,29	22,33	39,29	1	91,99	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 21:30	621,73	858,37	-236,64	39,29	22,33	39,29	1	236,64	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 21:40	549,77	860,00	-310,23	39,29	22,33	39,29	1	310,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 21:50	439,44	851,61	-412,17	39,29	22,33	39,29	1	412,17	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 22:00	409,41	845,32	-435,91	39,29	22,33	39,29	1	435,91	0,00	0,00	0,00	0,00000
21/03/2016 22:10	306,49	843,22	-536,73	35,86	35,86	40,38	-1	0,00	536,73	536,73	0,00	2,42600
21/03/2016 22:20	228,36	841,74	-613,38	35,86	35,86	40,38	-1	0,00	613,38	613,38	0,00	2,77248
21/03/2016 22:30	240,93	837,56	-596,63	35,86	35,86	40,38	-1	0,00	596,63	596,63	0,00	2,69675
21/03/2016 22:40	356,50	843,46	-486,96	35,86	35,86	40,38	-1	0,00	486,96	486,96	0,00	2,20105
21/03/2016 22:50	527,16	845,36	-318,20	35,86	35,86	40,38	-1	0,00	318,20	318,20	0,00	1,43827
21/03/2016 23:00	460,37	852,90	-392,53	35,86	35,86	40,38	-1	0,00	392,53	392,53	0,00	1,77422

21/03/2016 23:10	318,95	857,28	-538,33	32,78	32,78	42,87	-1	0,00	538,33	538,33	0,00	5,43179
21/03/2016 23:20	493,40	862,86	-369,46	32,78	32,78	42,87	-1	0,00	369,46	369,46	0,00	3,72785
21/03/2016 23:30	534,33	864,75	-330,42	32,78	32,78	42,87	-1	0,00	330,42	330,42	0,00	3,33393
21/03/2016 23:40	431,53	857,45	-425,92	32,78	32,78	42,87	-1	0,00	425,92	425,92	0,00	4,29757
21/03/2016 23:50	418,25	853,71	-435,46	32,78	32,78	42,87	-1	0,00	435,46	435,46	0,00	4,39378
22/03/2016 0:00	381,60	842,84	-461,24	32,78	32,78	42,87	-1	0,00	461,24	461,24	0,00	4,65396
22/03/2016 0:10	347,02	845,04	-498,02	31,83	31,83	37,62	-1	0,00	498,02	498,02	0,00	2,88351
22/03/2016 0:20	504,75	847,90	-343,15	31,83	31,83	37,62	-1	0,00	343,15	343,15	0,00	1,98685
22/03/2016 0:30	695,59	841,97	-146,38	31,83	31,83	37,62	-1	0,00	146,38	146,38	0,00	0,84755
22/03/2016 0:40	921,38	836,73	84,65	31,83	31,83	37,62	-1	84,65	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 0:50	1023,08	827,42	195,66	31,83	31,83	37,62	-1	195,66	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 1:00	1138,04	816,29	321,75	31,83	31,83	37,62	-1	321,75	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 1:10	1325,70	804,31	521,39	28,01	28,01	37,17	-1	521,39	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 1:20	1303,51	797,40	506,11	28,01	28,01	37,17	-1	506,11	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 1:30	1264,04	784,50	479,54	28,01	28,01	37,17	-1	479,54	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 1:40	1247,40	779,29	468,11	28,01	28,01	37,17	-1	468,11	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 1:50	1146,68	776,67	370,01	28,01	28,01	37,17	-1	370,01	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 2:00	950,61	773,96	176,65	28,01	28,01	37,17	-1	176,65	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 2:10	902,91	768,71	134,20	27,70	27,70	37,49	-1	134,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 2:20	843,39	767,32	76,07	27,70	27,70	37,49	-1	76,07	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 2:30	923,00	764,10	158,90	27,70	27,70	37,49	-1	158,90	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 2:40	763,50	758,30	5,20	27,70	27,70	37,49	-1	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 2:50	713,94	749,92	-35,98	27,70	27,70	37,49	-1	0,00	35,98	35,98	0,00	0,35227
22/03/2016 3:00	589,41	745,66	-156,25	27,70	27,70	37,49	-1	0,00	156,25	156,25	0,00	1,52970
22/03/2016 3:10	404,20	743,00	-338,80	26,94	26,94	39,41	-1	0,00	338,80	338,80	0,00	4,22480

22/03/2016 3:20	222,30	737,08	-514,78	26,94	26,94	39,41	-1	0,00	514,78	514,78	0,00	6,41934
22/03/2016 3:30	132,15	731,95	-599,80	26,94	26,94	39,41	-1	0,00	599,80	599,80	0,00	7,47953
22/03/2016 3:40	164,36	725,25	-560,89	26,94	26,94	39,41	-1	0,00	560,89	560,89	0,00	6,99433
22/03/2016 3:50	292,91	722,12	-429,21	26,94	26,94	39,41	-1	0,00	429,21	429,21	0,00	5,35222
22/03/2016 4:00	338,48	728,95	-390,47	26,94	26,94	39,41	-1	0,00	390,47	390,47	0,00	4,86913
22/03/2016 4:10	410,79	724,57	-313,78	25,69	25,69	37,17	-1	0,00	313,78	313,78	0,00	3,60215
22/03/2016 4:20	515,38	742,54	-227,16	25,69	25,69	37,17	-1	0,00	227,16	227,16	0,00	2,60780
22/03/2016 4:30	423,79	747,59	-323,80	25,69	25,69	37,17	-1	0,00	323,80	323,80	0,00	3,71721
22/03/2016 4:40	431,07	751,93	-320,86	25,69	25,69	37,17	-1	0,00	320,86	320,86	0,00	3,68348
22/03/2016 4:50	461,37	762,22	-300,85	25,69	25,69	37,17	-1	0,00	300,85	300,85	0,00	3,45375
22/03/2016 5:00	479,57	775,34	-295,77	25,69	25,69	37,17	-1	0,00	295,77	295,77	0,00	3,39548
22/03/2016 5:10	530,13	783,99	-253,86	27,59	27,59	35,18	-1	0,00	253,86	253,86	0,00	1,92681
22/03/2016 5:20	506,78	794,23	-287,45	27,59	27,59	35,18	-1	0,00	287,45	287,45	0,00	2,18178
22/03/2016 5:30	580,84	801,95	-221,11	27,59	27,59	35,18	-1	0,00	221,11	221,11	0,00	1,67822
22/03/2016 5:40	594,68	809,36	-214,68	27,59	27,59	35,18	-1	0,00	214,68	214,68	0,00	1,62945
22/03/2016 5:50	692,99	822,56	-129,57	27,59	27,59	35,18	-1	0,00	129,57	129,57	0,00	0,98341
22/03/2016 6:00	623,56	833,92	-210,36	27,59	27,59	35,18	-1	0,00	210,36	210,36	0,00	1,59667
22/03/2016 6:10	677,97	843,08	-165,11	33,02	33,02	36,41	-1	0,00	165,11	165,11	0,00	0,55972
22/03/2016 6:20	703,32	851,89	-148,57	33,02	33,02	36,41	-1	0,00	148,57	148,57	0,00	0,50364
22/03/2016 6:30	690,34	876,36	-186,02	33,02	33,02	36,41	-1	0,00	186,02	186,02	0,00	0,63062
22/03/2016 6:40	680,00	907,93	-227,93	33,02	33,02	36,41	-1	0,00	227,93	227,93	0,00	0,77267
22/03/2016 6:50	558,54	934,61	-376,07	33,02	33,02	36,41	-1	0,00	376,07	376,07	0,00	1,27488
22/03/2016 7:00	604,59	977,25	-372,66	33,02	33,02	36,41	-1	0,00	372,66	372,66	0,00	1,26332
22/03/2016 7:10	681,55	1014,42	-332,87	38,10	28,47	38,10	1	332,87	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 7:20	690,03	1056,17	-366,14	38,10	28,47	38,10	1	366,14	0,00	0,00	0,00	0,00000

22/03/2016 7:30	739,32	1103,99	-364,67	38,10	28,47	38,10	1	364,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 7:40	607,50	1119,85	-512,35	38,10	28,47	38,10	1	512,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 7:50	507,39	1115,08	-607,69	38,10	28,47	38,10	1	607,69	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 8:00	407,33	1075,92	-668,59	38,10	28,47	38,10	1	668,59	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 8:10	259,57	1028,05	-768,48	39,72	39,72	45,23	-1	0,00	768,48	768,48	0,00	4,23434
22/03/2016 8:20	286,83	984,10	-697,27	39,72	39,72	45,23	-1	0,00	697,27	697,27	0,00	3,84197
22/03/2016 8:30	390,77	917,72	-526,95	39,72	39,72	45,23	-1	0,00	526,95	526,95	0,00	2,90351
22/03/2016 8:40	552,08	843,25	-291,17	39,72	39,72	45,23	-1	0,00	291,17	291,17	0,00	1,60432
22/03/2016 8:50	798,51	801,93	-3,42	39,72	39,72	45,23	-1	0,00	3,42	3,42	0,00	0,01885
22/03/2016 9:00	1065,66	764,42	301,24	39,72	39,72	45,23	-1	301,24	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 9:10	955,48	717,99	237,49	38,91	38,91	53,94	-1	237,49	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 9:20	983,67	674,00	309,67	38,91	38,91	53,94	-1	309,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 9:30	635,18	629,38	5,80	38,91	38,91	53,94	-1	5,80	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 9:40	457,40	588,07	-130,67	38,91	38,91	53,94	-1	0,00	130,67	130,67	0,00	1,96392
22/03/2016 9:50	318,59	552,46	-233,87	38,91	38,91	53,94	-1	0,00	233,87	233,87	0,00	3,51508
22/03/2016 10:00	414,46	519,31	-104,85	38,91	38,91	53,94	-1	0,00	104,85	104,85	0,00	1,57589
22/03/2016 10:10	473,48	483,29	-9,81	38,40	38,40	44,08	-1	0,00	9,81	9,81	0,00	0,05575
22/03/2016 10:20	550,51	451,44	99,07	38,40	38,40	44,08	-1	99,07	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 10:30	485,91	418,39	67,52	38,40	38,40	44,08	-1	67,52	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 10:40	612,33	389,48	222,85	38,40	38,40	44,08	-1	222,85	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 10:50	668,65	353,15	315,50	38,40	38,40	44,08	-1	315,50	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 11:00	601,73	321,99	279,74	38,40	38,40	44,08	-1	279,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 11:10	477,95	286,44	191,51	38,59	38,59	45,31	-1	191,51	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 11:20	494,36	250,71	243,65	38,59	38,59	45,31	-1	243,65	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 11:30	543,97	217,98	325,99	38,59	38,59	45,31	-1	325,99	0,00	0,00	0,00	0,00000

22/03/2016 11:40	490,42	204,03	286,39	38,59	38,59	45,31	-1	286,39	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 11:50	532,44	197,11	335,33	38,59	38,59	45,31	-1	335,33	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 12:00	445,65	186,39	259,26	38,59	38,59	45,31	-1	259,26	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 12:10	323,27	179,46	143,81	38,59	38,59	41,06	-1	143,81	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 12:20	247,95	172,72	75,23	38,59	38,59	41,06	-1	75,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 12:30	306,99	165,65	141,34	38,59	38,59	41,06	-1	141,34	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 12:40	414,11	158,23	255,88	38,59	38,59	41,06	-1	255,88	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 12:50	235,26	167,33	67,93	38,59	38,59	41,06	-1	67,93	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 13:00	221,75	172,44	49,31	38,59	38,59	41,06	-1	49,31	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 13:10	368,41	183,70	184,71	38,19	38,19	41,87	-1	184,71	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 13:20	423,52	194,53	228,99	38,19	38,19	41,87	-1	228,99	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 13:30	383,99	207,28	176,71	38,19	38,19	41,87	-1	176,71	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 13:40	280,69	219,32	61,37	38,19	38,19	41,87	-1	61,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 13:50	415,40	234,73	180,67	38,19	38,19	41,87	-1	180,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 14:00	322,08	238,01	84,07	38,19	38,19	41,87	-1	84,07	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 14:10	267,30	244,87	22,43	37,50	37,50	39,13	-1	22,43	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 14:20	287,16	249,61	37,55	37,50	37,50	39,13	-1	37,55	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 14:30	538,91	253,34	285,57	37,50	37,50	39,13	-1	285,57	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 14:40	360,65	257,83	102,82	37,50	37,50	39,13	-1	102,82	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 14:50	555,02	262,49	292,53	37,50	37,50	39,13	-1	292,53	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 15:00	512,89	268,83	244,06	37,50	37,50	39,13	-1	244,06	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 15:10	825,83	284,28	541,55	35,86	35,86	38,51	-1	541,55	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 15:20	865,15	296,28	568,87	35,86	35,86	38,51	-1	568,87	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 15:30	735,89	304,15	431,74	35,86	35,86	38,51	-1	431,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 15:40	687,91	313,01	374,90	35,86	35,86	38,51	-1	374,90	0,00	0,00	0,00	0,00000

22/03/2016 15:50	501,53	319,78	181,75	35,86	35,86	38,51	-1	181,75	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 16:00	410,53	325,79	84,74	35,86	35,86	38,51	-1	84,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 16:10	395,90	331,49	64,41	35,51	35,51	36,71	-1	64,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 16:20	449,47	339,33	110,14	35,51	35,51	36,71	-1	110,14	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 16:30	401,58	345,99	55,59	35,51	35,51	36,71	-1	55,59	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 16:40	405,41	349,06	56,35	35,51	35,51	36,71	-1	56,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 16:50	340,55	356,26	-15,71	35,51	35,51	36,71	-1	0,00	15,71	15,71	0,00	0,01885
22/03/2016 17:00	248,84	371,13	-122,29	35,51	35,51	36,71	-1	0,00	122,29	122,29	0,00	0,14674
22/03/2016 17:10	193,93	386,81	-192,88	34,69	34,69	37,50	-1	0,00	192,88	192,88	0,00	0,54200
22/03/2016 17:20	169,64	391,78	-222,14	34,69	34,69	37,50	-1	0,00	222,14	222,14	0,00	0,62420
22/03/2016 17:30	203,15	397,59	-194,44	34,69	34,69	37,50	-1	0,00	194,44	194,44	0,00	0,54637
22/03/2016 17:40	81,19	402,81	-321,62	34,69	34,69	37,50	-1	0,00	321,62	321,62	0,00	0,90375
22/03/2016 17:50	87,69	405,56	-317,87	34,69	34,69	37,50	-1	0,00	317,87	317,87	0,00	0,89322
22/03/2016 18:00	174,44	418,76	-244,32	34,69	34,69	37,50	-1	0,00	244,32	244,32	0,00	0,68655
22/03/2016 18:10	179,88	432,71	-252,83	36,73	30,91	36,73	1	252,83	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 18:20	229,96	447,23	-217,27	36,73	30,91	36,73	1	217,27	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 18:30	293,48	468,26	-174,78	36,73	30,91	36,73	1	174,78	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 18:40	339,19	479,61	-140,42	36,73	30,91	36,73	1	140,42	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 18:50	375,00	488,20	-113,20	36,73	30,91	36,73	1	113,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 19:00	338,96	497,75	-158,79	36,73	30,91	36,73	1	158,79	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 19:10	343,35	505,57	-162,22	40,64	30,91	40,64	1	162,22	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 19:20	305,26	503,46	-198,20	40,64	30,91	40,64	1	198,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 19:30	296,93	501,15	-204,22	40,64	30,91	40,64	1	204,22	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 19:40	282,96	498,72	-215,76	40,64	30,91	40,64	1	215,76	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 19:50	293,84	493,18	-199,34	40,64	30,91	40,64	1	199,34	0,00	0,00	0,00	0,00000

22/03/2016 20:00	336,29	487,82	-151,53	40,64	30,91	40,64	1	151,53	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 20:10	282,25	481,22	-198,97	38,10	21,58	38,10	1	198,97	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 20:20	270,39	469,40	-199,01	38,10	21,58	38,10	1	199,01	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 20:30	199,24	473,35	-274,11	38,10	21,58	38,10	1	274,11	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 20:40	238,29	462,16	-223,87	38,10	21,58	38,10	1	223,87	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 20:50	223,07	437,38	-214,31	38,10	21,58	38,10	1	214,31	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 21:00	206,96	422,24	-215,28	38,10	21,58	38,10	1	215,28	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 21:10	204,33	417,62	-213,29	36,20	16,98	36,20	1	213,29	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 21:20	137,90	416,45	-278,55	36,20	16,98	36,20	1	278,55	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 21:30	164,20	415,47	-251,27	36,20	16,98	36,20	1	251,27	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 21:40	137,39	425,20	-287,81	36,20	16,98	36,20	1	287,81	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 21:50	131,95	431,17	-299,22	36,20	16,98	36,20	1	299,22	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 22:00	162,05	446,85	-284,80	36,20	16,98	36,20	1	284,80	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 22:10	161,60	452,55	-290,95	33,35	16,55	33,35	1	290,95	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 22:20	153,58	455,31	-301,73	33,35	16,55	33,35	1	301,73	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 22:30	152,97	459,71	-306,74	33,35	16,55	33,35	1	306,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 22:40	157,98	465,10	-307,12	33,35	16,55	33,35	1	307,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 22:50	184,59	468,94	-284,35	33,35	16,55	33,35	1	284,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 23:00	208,97	472,30	-263,33	33,35	16,55	33,35	1	263,33	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 23:10	245,63	475,10	-229,47	31,48	4,99	31,48	1	229,47	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 23:20	257,34	486,07	-228,73	31,48	4,99	31,48	1	228,73	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 23:30	185,15	491,97	-306,82	31,48	4,99	31,48	1	306,82	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 23:40	142,01	497,20	-355,19	31,48	4,99	31,48	1	355,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
22/03/2016 23:50	169,71	503,45	-333,74	31,48	4,99	31,48	1	333,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 0:00	213,93	505,32	-291,39	31,48	4,99	31,48	1	291,39	0,00	0,00	0,00	0,00000

23/03/2016 0:10	319,15	508,55	-189,40	30,21	15,85	30,21	1	189,40	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 0:20	376,28	513,17	-136,89	30,21	15,85	30,21	1	136,89	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 0:30	333,18	505,41	-172,23	30,21	15,85	30,21	1	172,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 0:40	240,44	498,90	-258,46	30,21	15,85	30,21	1	258,46	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 0:50	228,56	485,28	-256,72	30,21	15,85	30,21	1	256,72	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 1:00	195,85	478,57	-282,72	30,21	15,85	30,21	1	282,72	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 1:10	182,27	475,53	-293,26	27,79	8,62	27,79	1	293,26	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 1:20	101,18	477,71	-376,53	27,79	8,62	27,79	1	376,53	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 1:30	142,22	479,31	-337,09	27,79	8,62	27,79	1	337,09	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 1:40	264,95	483,10	-218,15	27,79	8,62	27,79	1	218,15	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 1:50	287,08	486,32	-199,24	27,79	8,62	27,79	1	199,24	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 2:00	309,33	485,74	-176,41	27,79	8,62	27,79	1	176,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 2:10	319,85	483,55	-163,70	25,42	11,67	25,42	1	163,70	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 2:20	369,01	478,33	-109,32	25,42	11,67	25,42	1	109,32	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 2:30	264,89	479,97	-215,08	25,42	11,67	25,42	1	215,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 2:40	221,33	483,08	-261,75	25,42	11,67	25,42	1	261,75	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 2:50	146,38	489,79	-343,41	25,42	11,67	25,42	1	343,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 3:00	86,76	492,26	-405,50	25,42	11,67	25,42	1	405,50	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 3:10	95,65	498,29	-402,64	23,13	9,81	23,13	1	402,64	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 3:20	220,96	503,11	-282,15	23,13	9,81	23,13	1	282,15	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 3:30	328,41	507,95	-179,54	23,13	9,81	23,13	1	179,54	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 3:40	280,28	518,71	-238,43	23,13	9,81	23,13	1	238,43	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 3:50	220,94	530,00	-309,06	23,13	9,81	23,13	1	309,06	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 4:00	190,77	537,14	-346,37	23,13	9,81	23,13	1	346,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 4:10	178,03	545,15	-367,12	22,42	14,53	22,42	1	367,12	0,00	0,00	0,00	0,00000

23/03/2016 4:20	139,06	552,02	-412,96	22,42	14,53	22,42	1	412,96	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 4:30	111,27	559,27	-448,00	22,42	14,53	22,42	1	448,00	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 4:40	101,66	563,47	-461,81	22,42	14,53	22,42	1	461,81	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 4:50	134,62	567,82	-433,20	22,42	14,53	22,42	1	433,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 5:00	150,59	569,45	-418,86	22,42	14,53	22,42	1	418,86	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 5:10	224,37	574,39	-350,02	24,56	14,53	24,56	1	350,02	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 5:20	208,17	579,58	-371,41	24,56	14,53	24,56	1	371,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 5:30	212,39	581,86	-369,47	24,56	14,53	24,56	1	369,47	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 5:40	258,22	586,72	-328,50	24,56	14,53	24,56	1	328,50	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 5:50	357,69	594,48	-236,79	24,56	14,53	24,56	1	236,79	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 6:00	394,77	598,62	-203,85	24,56	14,53	24,56	1	203,85	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 6:10	352,45	603,34	-250,89	29,20	12,86	29,20	1	250,89	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 6:20	321,17	608,15	-286,98	29,20	12,86	29,20	1	286,98	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 6:30	293,08	615,18	-322,10	29,20	12,86	29,20	1	322,10	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 6:40	272,19	605,97	-333,78	29,20	12,86	29,20	1	333,78	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 6:50	250,18	597,10	-346,92	29,20	12,86	29,20	1	346,92	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 7:00	255,27	584,93	-329,66	29,20	12,86	29,20	1	329,66	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 7:10	227,56	589,82	-362,26	35,43	22,63	35,43	1	362,26	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 7:20	219,52	593,72	-374,20	35,43	22,63	35,43	1	374,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 7:30	290,82	601,73	-310,91	35,43	22,63	35,43	1	310,91	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 7:40	354,72	609,90	-255,18	35,43	22,63	35,43	1	255,18	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 7:50	247,66	617,10	-369,44	35,43	22,63	35,43	1	369,44	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 8:00	291,17	628,98	-337,81	35,43	22,63	35,43	1	337,81	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 8:10	450,32	642,40	-192,08	36,50	36,50	36,50	-1	192,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 8:20	629,59	658,16	-28,57	36,50	36,50	36,50	-1	28,57	0,00	0,00	0,00	0,00000

23/03/2016 8:30	692,68	734,78	-42,10	36,50	36,50	36,50	-1	42,10	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 8:40	792,82	809,93	-17,11	36,50	36,50	36,50	-1	17,11	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 8:50	696,02	873,61	-177,59	36,50	36,50	36,50	-1	177,59	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 9:00	636,18	922,82	-286,64	36,50	36,50	36,50	-1	286,64	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 9:10	638,79	1005,79	-367,00	35,00	35,00	40,00	-1	0,00	367,00	367,00	0,00	1,83502
23/03/2016 9:20	670,43	1086,58	-416,15	35,00	35,00	40,00	-1	0,00	416,15	416,15	0,00	2,08075
23/03/2016 9:30	737,30	1143,27	-405,97	35,00	35,00	40,00	-1	0,00	405,97	405,97	0,00	2,02985
23/03/2016 9:40	847,35	1167,73	-320,38	35,00	35,00	40,00	-1	0,00	320,38	320,38	0,00	1,60188
23/03/2016 9:50	943,92	1207,44	-263,52	35,00	35,00	40,00	-1	0,00	263,52	263,52	0,00	1,31760
23/03/2016 10:00	935,86	1213,99	-278,13	35,00	35,00	40,00	-1	0,00	278,13	278,13	0,00	1,39067
23/03/2016 10:10	1113,90	1179,00	-65,10	33,25	33,25	39,55	-1	0,00	65,10	65,10	0,00	0,41011
23/03/2016 10:20	1232,97	1157,51	75,46	33,25	33,25	39,55	-1	75,46	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 10:30	1466,15	1067,16	398,99	33,25	33,25	39,55	-1	398,99	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 10:40	1330,37	966,40	363,97	33,25	33,25	39,55	-1	363,97	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 10:50	1148,64	885,52	263,12	33,25	33,25	39,55	-1	263,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 11:00	1100,29	763,56	336,73	33,25	33,25	39,55	-1	336,73	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 11:10	1005,81	697,66	308,15	32,19	32,19	37,99	-1	308,15	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 11:20	880,06	638,27	241,79	32,19	32,19	37,99	-1	241,79	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 11:30	836,72	554,30	282,42	32,19	32,19	37,99	-1	282,42	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 11:40	464,03	503,90	-39,87	32,19	32,19	37,99	-1	0,00	39,87	39,87	0,00	0,23126
23/03/2016 11:50	369,84	498,31	-128,47	32,19	32,19	37,99	-1	0,00	128,47	128,47	0,00	0,74513
23/03/2016 12:00	409,51	495,41	-85,90	32,19	32,19	37,99	-1	0,00	85,90	85,90	0,00	0,49822
23/03/2016 12:10	628,67	493,18	135,49	31,60	31,60	35,89	-1	135,49	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 12:20	846,60	497,96	348,64	31,60	31,60	35,89	-1	348,64	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 12:30	844,66	506,50	338,16	31,60	31,60	35,89	-1	338,16	0,00	0,00	0,00	0,00000

23/03/2016 12:40	1023,43	523,95	499,48	31,60	31,60	35,89	-1	499,48	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 12:50	1051,21	546,37	504,84	31,60	31,60	35,89	-1	504,84	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 13:00	1393,12	567,45	825,67	31,60	31,60	35,89	-1	825,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 13:10	1316,33	584,67	731,66	30,10	9,08	30,10	1	0,00	731,66	0,00	731,66	15,37956
23/03/2016 13:20	1277,28	589,12	688,16	30,10	9,08	30,10	1	0,00	688,16	0,00	688,16	14,46514
23/03/2016 13:30	1354,98	597,09	757,89	30,10	9,08	30,10	1	0,00	757,89	0,00	757,89	15,93079
23/03/2016 13:40	1108,65	605,26	503,39	30,10	9,08	30,10	1	0,00	503,39	0,00	503,39	10,58121
23/03/2016 13:50	915,58	613,34	302,24	30,10	9,08	30,10	1	0,00	302,24	0,00	302,24	6,35317
23/03/2016 14:00	871,66	624,61	247,05	30,10	9,08	30,10	1	0,00	247,05	0,00	247,05	5,19309
23/03/2016 14:10	925,83	622,29	303,54	27,03	1,74	27,03	1	0,00	303,54	0,00	303,54	7,67651
23/03/2016 14:20	899,60	620,44	279,16	27,03	1,74	27,03	1	0,00	279,16	0,00	279,16	7,05994
23/03/2016 14:30	797,91	604,71	193,20	27,03	1,74	27,03	1	0,00	193,20	0,00	193,20	4,88592
23/03/2016 14:40	827,72	589,35	238,37	27,03	1,74	27,03	1	0,00	238,37	0,00	238,37	6,02847
23/03/2016 14:50	749,94	564,80	185,14	27,03	1,74	27,03	1	0,00	185,14	0,00	185,14	4,68214
23/03/2016 15:00	654,41	503,99	150,42	27,03	1,74	27,03	1	0,00	150,42	0,00	150,42	3,80416
23/03/2016 15:10	650,27	437,63	212,64	24,69	6,18	24,69	1	0,00	212,64	0,00	212,64	3,93598
23/03/2016 15:20	843,72	389,14	454,58	24,69	6,18	24,69	1	0,00	454,58	0,00	454,58	8,41434
23/03/2016 15:30	775,77	375,06	400,71	24,69	6,18	24,69	1	0,00	400,71	0,00	400,71	7,41721
23/03/2016 15:40	637,61	362,25	275,36	24,69	6,18	24,69	1	0,00	275,36	0,00	275,36	5,09683
23/03/2016 15:50	971,13	351,25	619,88	24,69	6,18	24,69	1	0,00	619,88	0,00	619,88	11,47405
23/03/2016 16:00	1116,03	343,35	772,68	24,69	6,18	24,69	1	0,00	772,68	0,00	772,68	14,30238
23/03/2016 16:10	828,36	338,68	489,68	24,18	4,97	24,18	1	0,00	489,68	0,00	489,68	9,40678
23/03/2016 16:20	483,35	331,15	152,20	24,18	4,97	24,18	1	0,00	152,20	0,00	152,20	2,92381
23/03/2016 16:30	457,17	328,66	128,51	24,18	4,97	24,18	1	0,00	128,51	0,00	128,51	2,46874
23/03/2016 16:40	588,79	335,14	253,65	24,18	4,97	24,18	1	0,00	253,65	0,00	253,65	4,87260

23/03/2016 16:50	715,14	341,17	373,97	24,18	4,97	24,18	1	0,00	373,97	0,00	373,97	7,18390
23/03/2016 17:00	754,38	346,40	407,98	24,18	4,97	24,18	1	0,00	407,98	0,00	407,98	7,83734
23/03/2016 17:10	818,90	348,97	469,93	28,00	20,38	28,00	1	0,00	469,93	0,00	469,93	3,58088
23/03/2016 17:20	857,64	352,97	504,67	28,00	20,38	28,00	1	0,00	504,67	0,00	504,67	3,84558
23/03/2016 17:30	784,13	355,50	428,63	28,00	20,38	28,00	1	0,00	428,63	0,00	428,63	3,26616
23/03/2016 17:40	764,27	359,55	404,72	28,00	20,38	28,00	1	0,00	404,72	0,00	404,72	3,08394
23/03/2016 17:50	740,51	360,04	380,47	28,00	20,38	28,00	1	0,00	380,47	0,00	380,47	2,89921
23/03/2016 18:00	803,70	364,37	439,33	28,00	20,38	28,00	1	0,00	439,33	0,00	439,33	3,34770
23/03/2016 18:10	954,48	367,45	587,03	32,44	21,79	32,44	1	0,00	587,03	0,00	587,03	6,25191
23/03/2016 18:20	851,13	369,83	481,30	32,44	21,79	32,44	1	0,00	481,30	0,00	481,30	5,12586
23/03/2016 18:30	967,58	373,94	593,64	32,44	21,79	32,44	1	0,00	593,64	0,00	593,64	6,32230
23/03/2016 18:40	916,22	379,51	536,71	32,44	21,79	32,44	1	0,00	536,71	0,00	536,71	5,71600
23/03/2016 18:50	828,99	386,90	442,09	32,44	21,79	32,44	1	0,00	442,09	0,00	442,09	4,70829
23/03/2016 19:00	669,20	394,21	274,99	32,44	21,79	32,44	1	0,00	274,99	0,00	274,99	2,92869
23/03/2016 19:10	770,54	415,27	355,27	37,16	4,33	37,16	1	0,00	355,27	0,00	355,27	11,66357
23/03/2016 19:20	760,93	426,50	334,43	37,16	4,33	37,16	1	0,00	334,43	0,00	334,43	10,97934
23/03/2016 19:30	804,90	438,75	366,15	37,16	4,33	37,16	1	0,00	366,15	0,00	366,15	12,02064
23/03/2016 19:40	652,47	459,73	192,74	37,16	4,33	37,16	1	0,00	192,74	0,00	192,74	6,32763
23/03/2016 19:50	748,09	465,98	282,11	37,16	4,33	37,16	1	0,00	282,11	0,00	282,11	9,26152
23/03/2016 20:00	550,39	473,24	77,15	37,16	4,33	37,16	1	0,00	77,15	0,00	77,15	2,53283
23/03/2016 20:10	637,67	475,18	162,49	36,80	24,34	36,80	1	0,00	162,49	0,00	162,49	2,02456
23/03/2016 20:20	595,98	471,32	124,66	36,80	24,34	36,80	1	0,00	124,66	0,00	124,66	1,55332
23/03/2016 20:30	599,76	465,27	134,49	36,80	24,34	36,80	1	0,00	134,49	0,00	134,49	1,67580
23/03/2016 20:40	590,14	451,97	138,17	36,80	24,34	36,80	1	0,00	138,17	0,00	138,17	1,72164
23/03/2016 20:50	572,08	443,45	128,63	36,80	24,34	36,80	1	0,00	128,63	0,00	128,63	1,60276

23/03/2016 21:00	549,78	439,58	110,20	36,80	24,34	36,80	1	0,00	110,20	0,00	110,20	1,37312
23/03/2016 21:10	599,06	431,79	167,27	32,96	16,16	32,96	1	0,00	167,27	0,00	167,27	2,81019
23/03/2016 21:20	576,82	422,44	154,38	32,96	16,16	32,96	1	0,00	154,38	0,00	154,38	2,59365
23/03/2016 21:30	611,46	415,21	196,25	32,96	16,16	32,96	1	0,00	196,25	0,00	196,25	3,29704
23/03/2016 21:40	662,98	417,86	245,12	32,96	16,16	32,96	1	0,00	245,12	0,00	245,12	4,11807
23/03/2016 21:50	722,03	423,30	298,73	32,96	16,16	32,96	1	0,00	298,73	0,00	298,73	5,01872
23/03/2016 22:00	618,10	421,93	196,17	32,96	16,16	32,96	1	0,00	196,17	0,00	196,17	3,29564
23/03/2016 22:10	532,03	416,70	115,33	32,51	16,91	32,51	1	0,00	115,33	0,00	115,33	1,79910
23/03/2016 22:20	493,61	408,08	85,53	32,51	16,91	32,51	1	0,00	85,53	0,00	85,53	1,33421
23/03/2016 22:30	554,58	399,32	155,26	32,51	16,91	32,51	1	0,00	155,26	0,00	155,26	2,42204
23/03/2016 22:40	587,43	391,82	195,61	32,51	16,91	32,51	1	0,00	195,61	0,00	195,61	3,05156
23/03/2016 22:50	576,46	384,95	191,51	32,51	16,91	32,51	1	0,00	191,51	0,00	191,51	2,98752
23/03/2016 23:00	538,04	368,75	169,29	32,51	16,91	32,51	1	0,00	169,29	0,00	169,29	2,64088
23/03/2016 23:10	490,23	352,15	138,08	30,10	30,10	38,01	-1	138,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 23:20	440,38	330,04	110,34	30,10	30,10	38,01	-1	110,34	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 23:30	570,68	314,42	256,26	30,10	30,10	38,01	-1	256,26	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 23:40	497,82	298,84	198,98	30,10	30,10	38,01	-1	198,98	0,00	0,00	0,00	0,00000
23/03/2016 23:50	323,81	276,77	47,04	30,10	30,10	38,01	-1	47,04	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 0:00	255,84	261,08	-5,24	30,10	30,10	38,01	-1	0,00	5,24	5,24	0,00	0,04147
24/03/2016 0:10	185,12	253,81	-68,69	25,00	25,00	35,36	-1	0,00	68,69	68,69	0,00	0,71160
24/03/2016 0:20	146,64	246,16	-99,52	25,00	25,00	35,36	-1	0,00	99,52	99,52	0,00	1,03105
24/03/2016 0:30	168,77	238,93	-70,16	25,00	25,00	35,36	-1	0,00	70,16	70,16	0,00	0,72690
24/03/2016 0:40	239,58	231,18	8,40	25,00	25,00	35,36	-1	8,40	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 0:50	230,15	229,48	0,67	25,00	25,00	35,36	-1	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 1:00	214,38	225,85	-11,47	25,00	25,00	35,36	-1	0,00	11,47	11,47	0,00	0,11883

24/03/2016 1:10	367,25	223,95	143,30	23,12	23,12	35,86	-1	143,30	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 1:20	367,09	221,17	145,92	23,12	23,12	35,86	-1	145,92	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 1:30	382,97	220,87	162,10	23,12	23,12	35,86	-1	162,10	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 1:40	303,79	223,83	79,96	23,12	23,12	35,86	-1	79,96	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 1:50	181,52	226,53	-45,01	23,12	23,12	35,86	-1	0,00	45,01	45,01	0,00	0,57341
24/03/2016 2:00	169,84	230,85	-61,01	23,12	23,12	35,86	-1	0,00	61,01	61,01	0,00	0,77725
24/03/2016 2:10	262,09	233,53	28,56	22,17	22,17	35,69	-1	28,56	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 2:20	199,39	238,06	-38,67	22,17	22,17	35,69	-1	0,00	38,67	38,67	0,00	0,52276
24/03/2016 2:30	158,38	243,62	-85,24	22,17	22,17	35,69	-1	0,00	85,24	85,24	0,00	1,15248
24/03/2016 2:40	91,45	245,39	-153,94	22,17	22,17	35,69	-1	0,00	153,94	153,94	0,00	2,08122
24/03/2016 2:50	47,65	248,68	-201,03	22,17	22,17	35,69	-1	0,00	201,03	201,03	0,00	2,71796
24/03/2016 3:00	7,31	252,72	-245,41	22,17	22,17	35,69	-1	0,00	245,41	245,41	0,00	3,31796
24/03/2016 3:10	12,57	258,13	-245,56	21,38	21,38	35,63	-1	0,00	245,56	245,56	0,00	3,49930
24/03/2016 3:20	101,14	267,12	-165,98	21,38	21,38	35,63	-1	0,00	165,98	165,98	0,00	2,36520
24/03/2016 3:30	224,89	275,22	-50,33	21,38	21,38	35,63	-1	0,00	50,33	50,33	0,00	0,71717
24/03/2016 3:40	230,85	281,06	-50,21	21,38	21,38	35,63	-1	0,00	50,21	50,21	0,00	0,71549
24/03/2016 3:50	173,59	293,41	-119,82	21,38	21,38	35,63	-1	0,00	119,82	119,82	0,00	1,70744
24/03/2016 4:00	220,98	295,49	-74,51	21,38	21,38	35,63	-1	0,00	74,51	74,51	0,00	1,06173
24/03/2016 4:10	202,77	298,76	-95,99	21,75	21,75	35,30	-1	0,00	95,99	95,99	0,00	1,30062
24/03/2016 4:20	152,34	296,64	-144,30	21,75	21,75	35,30	-1	0,00	144,30	144,30	0,00	1,95522
24/03/2016 4:30	163,20	292,86	-129,66	21,75	21,75	35,30	-1	0,00	129,66	129,66	0,00	1,75687
24/03/2016 4:40	226,81	281,40	-54,59	21,75	21,75	35,30	-1	0,00	54,59	54,59	0,00	0,73969
24/03/2016 4:50	278,79	268,56	10,23	21,75	21,75	35,30	-1	10,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 5:00	150,60	254,24	-103,64	21,75	21,75	35,30	-1	0,00	103,64	103,64	0,00	1,40431
24/03/2016 5:10	108,50	213,22	-104,72	23,08	23,08	35,63	-1	0,00	104,72	104,72	0,00	1,31424

24/03/2016 5:20	0,91	198,20	-197,29	23,08	23,08	35,63	-1	0,00	197,29	197,29	0,00	2,47603
24/03/2016 5:30	7,31	163,60	-156,29	23,08	23,08	35,63	-1	0,00	156,29	156,29	0,00	1,96142
24/03/2016 5:40	49,21	155,53	-106,32	23,08	23,08	35,63	-1	0,00	106,32	106,32	0,00	1,33436
24/03/2016 5:50	6,19	151,71	-145,52	23,08	23,08	35,63	-1	0,00	145,52	145,52	0,00	1,82627
24/03/2016 6:00	0,00	148,25	-148,25	23,08	23,08	35,63	-1	0,00	148,25	148,25	0,00	1,86054
24/03/2016 6:10	0,00	153,05	-153,05	25,85	25,85	35,60	-1	0,00	153,05	153,05	0,00	1,49220
24/03/2016 6:20	0,00	155,90	-155,90	25,85	25,85	35,60	-1	0,00	155,90	155,90	0,00	1,52003
24/03/2016 6:30	0,00	159,63	-159,63	25,85	25,85	35,60	-1	0,00	159,63	159,63	0,00	1,55636
24/03/2016 6:40	0,00	162,61	-162,61	25,85	25,85	35,60	-1	0,00	162,61	162,61	0,00	1,58547
24/03/2016 6:50	0,00	173,91	-173,91	25,85	25,85	35,60	-1	0,00	173,91	173,91	0,00	1,69561
24/03/2016 7:00	0,00	178,43	-178,43	25,85	25,85	35,60	-1	0,00	178,43	178,43	0,00	1,73969
24/03/2016 7:10	0,00	175,39	-175,39	30,50	25,87	30,50	1	175,39	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 7:20	0,01	171,14	-171,13	30,50	25,87	30,50	1	171,13	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 7:30	4,87	162,17	-157,30	30,50	25,87	30,50	1	157,30	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 7:40	34,15	153,82	-119,67	30,50	25,87	30,50	1	119,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 7:50	21,26	137,93	-116,67	30,50	25,87	30,50	1	116,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 8:00	0,39	124,77	-124,38	30,50	25,87	30,50	1	124,38	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 8:10	0,00	115,04	-115,04	32,40	18,71	32,40	1	115,04	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 8:20	8,03	107,54	-99,51	32,40	18,71	32,40	1	99,51	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 8:30	13,80	101,26	-87,46	32,40	18,71	32,40	1	87,46	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 8:40	32,12	98,49	-66,37	32,40	18,71	32,40	1	66,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 8:50	61,66	92,07	-30,41	32,40	18,71	32,40	1	30,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 9:00	75,71	85,08	-9,37	32,40	18,71	32,40	1	9,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 9:10	69,42	68,23	1,19	32,40	32,40	37,69	-1	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 9:20	34,91	49,11	-14,20	32,40	32,40	37,69	-1	0,00	14,20	14,20	0,00	0,07509

24/03/2016 9:30	31,46	27,72	3,74	32,40	32,40	37,69	-1	3,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 9:40	0,47	15,39	-14,92	32,40	32,40	37,69	-1	0,00	14,92	14,92	0,00	0,07891
24/03/2016 9:50	9,21	11,52	-2,31	32,40	32,40	37,69	-1	0,00	2,31	2,31	0,00	0,01224
24/03/2016 10:00	2,06	8,05	-5,99	32,40	32,40	37,69	-1	0,00	5,99	5,99	0,00	0,03169
24/03/2016 10:10	0,00	3,57	-3,57	31,69	31,69	35,00	-1	0,00	3,57	3,57	0,00	0,01181
24/03/2016 10:20	0,00	5,89	-5,89	31,69	31,69	35,00	-1	0,00	5,89	5,89	0,00	0,01950
24/03/2016 10:30	0,00	8,01	-8,01	31,69	31,69	35,00	-1	0,00	8,01	8,01	0,00	0,02652
24/03/2016 10:40	0,00	7,69	-7,69	31,69	31,69	35,00	-1	0,00	7,69	7,69	0,00	0,02544
24/03/2016 10:50	0,00	10,79	-10,79	31,69	31,69	35,00	-1	0,00	10,79	10,79	0,00	0,03570
24/03/2016 11:00	0,00	11,24	-11,24	31,69	31,69	35,00	-1	0,00	11,24	11,24	0,00	0,03721
24/03/2016 11:10	0,00	7,67	-7,67	31,00	31,00	36,43	-1	0,00	7,67	7,67	0,00	0,04165
24/03/2016 11:20	0,00	9,52	-9,52	31,00	31,00	36,43	-1	0,00	9,52	9,52	0,00	0,05172
24/03/2016 11:30	0,00	11,88	-11,88	31,00	31,00	36,43	-1	0,00	11,88	11,88	0,00	0,06452
24/03/2016 11:40	0,00	13,61	-13,61	31,00	31,00	36,43	-1	0,00	13,61	13,61	0,00	0,07393
24/03/2016 11:50	0,00	11,94	-11,94	31,00	31,00	36,43	-1	0,00	11,94	11,94	0,00	0,06483
24/03/2016 12:00	0,00	15,70	-15,70	31,00	31,00	36,43	-1	0,00	15,70	15,70	0,00	0,08527
24/03/2016 12:10	0,00	13,32	-13,32	28,62	28,62	35,16	-1	0,00	13,32	13,32	0,00	0,08709
24/03/2016 12:20	0,00	12,94	-12,94	28,62	28,62	35,16	-1	0,00	12,94	12,94	0,00	0,08465
24/03/2016 12:30	0,00	11,33	-11,33	28,62	28,62	35,16	-1	0,00	11,33	11,33	0,00	0,07412
24/03/2016 12:40	0,00	8,53	-8,53	28,62	28,62	35,16	-1	0,00	8,53	8,53	0,00	0,05575
24/03/2016 12:50	0,95	6,83	-5,88	28,62	28,62	35,16	-1	0,00	5,88	5,88	0,00	0,03847
24/03/2016 13:00	144,80	9,20	135,60	28,62	28,62	35,16	-1	135,60	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 13:10	35,98	12,17	23,81	27,27	4,97	27,27	1	0,00	23,81	0,00	23,81	0,53092
24/03/2016 13:20	28,52	15,56	12,96	27,27	4,97	27,27	1	0,00	12,96	0,00	12,96	0,28908
24/03/2016 13:30	70,12	17,82	52,30	27,27	4,97	27,27	1	0,00	52,30	0,00	52,30	1,16638

24/03/2016 13:40	38,82	23,99	14,83	27,27	4,97	27,27	1	0,00	14,83	0,00	14,83	0,33067
24/03/2016 13:50	41,52	28,04	13,48	27,27	4,97	27,27	1	0,00	13,48	0,00	13,48	0,30060
24/03/2016 14:00	16,72	37,84	-21,12	27,27	4,97	27,27	1	21,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 14:10	28,71	45,32	-16,61	26,50	10,98	26,50	1	16,61	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 14:20	19,27	86,34	-67,07	26,50	10,98	26,50	1	67,07	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 14:30	25,20	105,52	-80,32	26,50	10,98	26,50	1	80,32	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 14:40	114,66	126,60	-11,94	26,50	10,98	26,50	1	11,94	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 14:50	109,46	134,00	-24,54	26,50	10,98	26,50	1	24,54	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 15:00	172,05	142,91	29,14	26,50	10,98	26,50	1	0,00	29,14	0,00	29,14	0,45224
24/03/2016 15:10	249,65	158,54	91,11	25,35	9,79	25,35	1	0,00	91,11	0,00	91,11	1,41771
24/03/2016 15:20	210,17	169,33	40,84	25,35	9,79	25,35	1	0,00	40,84	0,00	40,84	0,63544
24/03/2016 15:30	193,02	183,26	9,76	25,35	9,79	25,35	1	0,00	9,76	0,00	9,76	0,15186
24/03/2016 15:40	191,19	197,90	-6,71	25,35	9,79	25,35	1	6,71	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 15:50	211,48	206,98	4,50	25,35	9,79	25,35	1	0,00	4,50	0,00	4,50	0,07005
24/03/2016 16:00	199,43	219,55	-20,12	25,35	9,79	25,35	1	20,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 16:10	189,27	233,51	-44,24	26,60	8,13	26,60	1	44,24	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 16:20	178,08	248,78	-70,70	26,60	8,13	26,60	1	70,70	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 16:30	234,61	260,27	-25,66	26,60	8,13	26,60	1	25,66	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 16:40	363,83	275,76	88,07	26,60	8,13	26,60	1	0,00	88,07	0,00	88,07	1,62658
24/03/2016 16:50	283,78	279,25	4,53	26,60	8,13	26,60	1	0,00	4,53	0,00	4,53	0,08370
24/03/2016 17:00	336,17	285,00	51,17	26,60	8,13	26,60	1	0,00	51,17	0,00	51,17	0,94515
24/03/2016 17:10	342,98	286,78	56,20	30,00	10,23	30,00	1	0,00	56,20	0,00	56,20	1,11105
24/03/2016 17:20	342,74	289,33	53,41	30,00	10,23	30,00	1	0,00	53,41	0,00	53,41	1,05600
24/03/2016 17:30	393,71	298,77	94,94	30,00	10,23	30,00	1	0,00	94,94	0,00	94,94	1,87694
24/03/2016 17:40	379,92	309,27	70,65	30,00	10,23	30,00	1	0,00	70,65	0,00	70,65	1,39678

24/03/2016 17:50	322,69	322,38	0,31	30,00	10,23	30,00	1	0,00	0,31	0,00	0,31	0,00621
24/03/2016 18:00	420,56	330,49	90,07	30,00	10,23	30,00	1	0,00	90,07	0,00	90,07	1,78067
24/03/2016 18:10	195,67	333,76	-138,09	32,30	17,82	32,30	1	138,09	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 18:20	178,06	331,39	-153,33	32,30	17,82	32,30	1	153,33	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 18:30	121,72	320,14	-198,42	32,30	17,82	32,30	1	198,42	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 18:40	194,28	305,90	-111,62	32,30	17,82	32,30	1	111,62	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 18:50	187,90	291,10	-103,20	32,30	17,82	32,30	1	103,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 19:00	253,08	278,94	-25,86	32,30	17,82	32,30	1	25,86	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 19:10	181,23	262,24	-81,01	35,18	12,00	35,18	1	81,01	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 19:20	222,97	249,38	-26,41	35,18	12,00	35,18	1	26,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 19:30	206,96	241,33	-34,37	35,18	12,00	35,18	1	34,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 19:40	168,28	238,76	-70,48	35,18	12,00	35,18	1	70,48	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 19:50	178,45	235,20	-56,75	35,18	12,00	35,18	1	56,75	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 20:00	288,61	233,26	55,35	35,18	12,00	35,18	1	0,00	55,35	0,00	55,35	1,28292
24/03/2016 20:10	262,56	230,06	32,50	33,97	33,97	39,16	-1	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 20:20	225,39	233,71	-8,32	33,97	33,97	39,16	-1	0,00	8,32	8,32	0,00	0,04317
24/03/2016 20:30	199,20	238,52	-39,32	33,97	33,97	39,16	-1	0,00	39,32	39,32	0,00	0,20407
24/03/2016 20:40	121,30	240,15	-118,85	33,97	33,97	39,16	-1	0,00	118,85	118,85	0,00	0,61685
24/03/2016 20:50	130,44	243,90	-113,46	33,97	33,97	39,16	-1	0,00	113,46	113,46	0,00	0,58887
24/03/2016 21:00	166,93	245,95	-79,02	33,97	33,97	39,16	-1	0,00	79,02	79,02	0,00	0,41013
24/03/2016 21:10	240,15	248,76	-8,61	32,69	32,69	36,92	-1	0,00	8,61	8,61	0,00	0,03641
24/03/2016 21:20	212,61	256,70	-44,09	32,69	32,69	36,92	-1	0,00	44,09	44,09	0,00	0,18652
24/03/2016 21:30	224,81	261,53	-36,72	32,69	32,69	36,92	-1	0,00	36,72	36,72	0,00	0,15532
24/03/2016 21:40	191,69	266,01	-74,32	32,69	32,69	36,92	-1	0,00	74,32	74,32	0,00	0,31439
24/03/2016 21:50	112,72	274,80	-162,08	32,69	32,69	36,92	-1	0,00	162,08	162,08	0,00	0,68561

24/03/2016 22:00	124,85	275,77	-150,92	32,69	32,69	36,92	-1	0,00	150,92	150,92	0,00	0,63837
24/03/2016 22:10	125,73	286,47	-160,74	32,00	21,83	32,00	1	160,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 22:20	168,59	299,36	-130,77	32,00	21,83	32,00	1	130,77	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 22:30	258,82	318,52	-59,70	32,00	21,83	32,00	1	59,70	0,00	0,00	0,00	0,00000
24/03/2016 22:40	440,24	324,19	116,05	32,00	21,83	32,00	1	0,00	116,05	0,00	116,05	1,18024
24/03/2016 22:50	581,85	350,48	231,37	32,00	21,83	32,00	1	0,00	231,37	0,00	231,37	2,35308
24/03/2016 23:00	417,67	367,43	50,24	32,00	21,83	32,00	1	0,00	50,24	0,00	50,24	0,51098
24/03/2016 23:10	252,60	375,35	-122,75	28,54	28,54	40,67	-1	0,00	122,75	122,75	0,00	1,48899
24/03/2016 23:20	204,40	384,53	-180,13	28,54	28,54	40,67	-1	0,00	180,13	180,13	0,00	2,18499
24/03/2016 23:30	244,42	389,30	-144,88	28,54	28,54	40,67	-1	0,00	144,88	144,88	0,00	1,75742
24/03/2016 23:40	307,51	384,37	-76,86	28,54	28,54	40,67	-1	0,00	76,86	76,86	0,00	0,93234
24/03/2016 23:50	172,81	375,64	-202,83	28,54	28,54	40,67	-1	0,00	202,83	202,83	0,00	2,46029
25/03/2016 0:00	216,06	370,47	-154,41	28,54	28,54	40,67	-1	0,00	154,41	154,41	0,00	1,87302
25/03/2016 0:10	223,06	368,43	-145,37	30,00	0,00	30,00	1	145,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 0:20	214,83	365,75	-150,92	30,00	0,00	30,00	1	150,92	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 0:30	160,77	369,33	-208,56	30,00	0,00	30,00	1	208,56	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 0:40	194,79	373,89	-179,10	30,00	0,00	30,00	1	179,10	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 0:50	220,26	381,74	-161,48	30,00	0,00	30,00	1	161,48	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 1:00	240,09	387,28	-147,19	30,00	0,00	30,00	1	147,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 1:10	198,74	394,81	-196,07	23,50	1,00	23,50	1	196,07	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 1:20	183,65	405,99	-222,34	23,50	1,00	23,50	1	222,34	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 1:30	148,06	419,39	-271,33	23,50	1,00	23,50	1	271,33	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 1:40	109,68	433,05	-323,37	23,50	1,00	23,50	1	323,37	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 1:50	168,10	440,35	-272,25	23,50	1,00	23,50	1	272,25	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 2:00	211,53	452,63	-241,10	23,50	1,00	23,50	1	241,10	0,00	0,00	0,00	0,00000

25/03/2016 2:10	173,56	467,73	-294,17	21,51	0,00	21,51	1	294,17	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 2:20	120,50	503,06	-382,56	21,51	0,00	21,51	1	382,56	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 2:30	203,11	576,01	-372,90	21,51	0,00	21,51	1	372,90	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 2:40	271,60	617,87	-346,27	21,51	0,00	21,51	1	346,27	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 2:50	318,46	652,62	-334,16	21,51	0,00	21,51	1	334,16	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 3:00	414,30	689,87	-275,57	21,51	0,00	21,51	1	275,57	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 3:10	407,28	695,97	-288,69	20,00	0,89	20,00	1	288,69	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 3:20	534,93	703,50	-168,57	20,00	0,89	20,00	1	168,57	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 3:30	383,82	700,56	-316,74	20,00	0,89	20,00	1	316,74	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 3:40	266,67	673,02	-406,35	20,00	0,89	20,00	1	406,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 3:50	245,84	631,34	-385,50	20,00	0,89	20,00	1	385,50	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 4:00	264,13	586,36	-322,23	20,00	0,89	20,00	1	322,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 4:10	325,32	533,83	-208,51	20,01	20,01	36,39	-1	0,00	208,51	208,51	0,00	3,41545
25/03/2016 4:20	271,86	499,37	-227,51	20,01	20,01	36,39	-1	0,00	227,51	227,51	0,00	3,72663
25/03/2016 4:30	202,75	467,69	-264,94	20,01	20,01	36,39	-1	0,00	264,94	264,94	0,00	4,33972
25/03/2016 4:40	189,57	445,15	-255,58	20,01	20,01	36,39	-1	0,00	255,58	255,58	0,00	4,18645
25/03/2016 4:50	135,44	421,43	-285,99	20,01	20,01	36,39	-1	0,00	285,99	285,99	0,00	4,68456
25/03/2016 5:00	105,94	398,01	-292,07	20,01	20,01	36,39	-1	0,00	292,07	292,07	0,00	4,78408
25/03/2016 5:10	111,28	378,67	-267,39	20,30	20,30	36,74	-1	0,00	267,39	267,39	0,00	4,39590
25/03/2016 5:20	108,58	356,69	-248,11	20,30	20,30	36,74	-1	0,00	248,11	248,11	0,00	4,07899
25/03/2016 5:30	48,62	347,56	-298,94	20,30	20,30	36,74	-1	0,00	298,94	298,94	0,00	4,91466
25/03/2016 5:40	16,63	331,07	-314,44	20,30	20,30	36,74	-1	0,00	314,44	314,44	0,00	5,16937
25/03/2016 5:50	22,50	320,35	-297,85	20,30	20,30	36,74	-1	0,00	297,85	297,85	0,00	4,89660
25/03/2016 6:00	95,31	323,29	-227,98	20,30	20,30	36,74	-1	0,00	227,98	227,98	0,00	3,74792
25/03/2016 6:10	159,36	325,39	-166,03	23,31	23,31	37,71	-1	0,00	166,03	166,03	0,00	2,39084

25/03/2016 6:20	119,38	320,11	-200,73	23,31	23,31	37,71	-1	0,00	200,73	200,73	0,00	2,89057
25/03/2016 6:30	127,20	316,79	-189,59	23,31	23,31	37,71	-1	0,00	189,59	189,59	0,00	2,73006
25/03/2016 6:40	120,09	313,18	-193,09	23,31	23,31	37,71	-1	0,00	193,09	193,09	0,00	2,78049
25/03/2016 6:50	151,08	307,81	-156,73	23,31	23,31	37,71	-1	0,00	156,73	156,73	0,00	2,25686
25/03/2016 7:00	172,05	301,77	-129,72	23,31	23,31	37,71	-1	0,00	129,72	129,72	0,00	1,86801
25/03/2016 7:10	126,41	296,48	-170,07	27,19	27,19	33,00	-1	0,00	170,07	170,07	0,00	0,98809
25/03/2016 7:20	131,96	291,30	-159,34	27,19	27,19	33,00	-1	0,00	159,34	159,34	0,00	0,92576
25/03/2016 7:30	153,67	293,80	-140,13	27,19	27,19	33,00	-1	0,00	140,13	140,13	0,00	0,81418
25/03/2016 7:40	184,47	285,61	-101,14	27,19	27,19	33,00	-1	0,00	101,14	101,14	0,00	0,58764
25/03/2016 7:50	180,02	279,68	-99,66	27,19	27,19	33,00	-1	0,00	99,66	99,66	0,00	0,57903
25/03/2016 8:00	188,31	275,87	-87,56	27,19	27,19	33,00	-1	0,00	87,56	87,56	0,00	0,50874
25/03/2016 8:10	169,08	271,36	-102,28	26,69	16,91	26,69	1	102,28	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 8:20	209,21	267,56	-58,35	26,69	16,91	26,69	1	58,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 8:30	217,73	265,99	-48,26	26,69	16,91	26,69	1	48,26	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 8:40	247,22	268,41	-21,19	26,69	16,91	26,69	1	21,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 8:50	225,96	270,65	-44,69	26,69	16,91	26,69	1	44,69	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 9:00	263,61	278,89	-15,28	26,69	16,91	26,69	1	15,28	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 9:10	320,53	289,68	30,85	27,44	22,00	27,44	1	0,00	30,85	0,00	30,85	0,16783
25/03/2016 9:20	280,84	305,54	-24,70	27,44	22,00	27,44	1	24,70	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 9:30	265,87	336,63	-70,76	27,44	22,00	27,44	1	70,76	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 9:40	352,47	362,42	-9,95	27,44	22,00	27,44	1	9,95	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 9:50	399,83	405,88	-6,05	27,44	22,00	27,44	1	6,05	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 10:00	381,46	444,11	-62,65	27,44	22,00	27,44	1	62,65	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 10:10	404,63	496,49	-91,86	27,26	27,26	32,73	-1	0,00	91,86	91,86	0,00	0,50248
25/03/2016 10:20	410,35	528,38	-118,03	27,26	27,26	32,73	-1	0,00	118,03	118,03	0,00	0,64561

25/03/2016 10:30	384,47	567,40	-182,93	27,26	27,26	32,73	-1	0,00	182,93	182,93	0,00	1,00064
25/03/2016 10:40	316,49	591,60	-275,11	27,26	27,26	32,73	-1	0,00	275,11	275,11	0,00	1,50483
25/03/2016 10:50	327,47	603,73	-276,26	27,26	27,26	32,73	-1	0,00	276,26	276,26	0,00	1,51112
25/03/2016 11:00	359,79	617,84	-258,05	27,26	27,26	32,73	-1	0,00	258,05	258,05	0,00	1,41155
25/03/2016 11:10	328,70	628,58	-299,88	28,91	28,91	32,12	-1	0,00	299,88	299,88	0,00	0,96262
25/03/2016 11:20	301,97	642,33	-340,36	28,91	28,91	32,12	-1	0,00	340,36	340,36	0,00	1,09255
25/03/2016 11:30	306,28	657,72	-351,44	28,91	28,91	32,12	-1	0,00	351,44	351,44	0,00	1,12813
25/03/2016 11:40	243,45	668,46	-425,01	28,91	28,91	32,12	-1	0,00	425,01	425,01	0,00	1,36427
25/03/2016 11:50	316,37	672,12	-355,75	28,91	28,91	32,12	-1	0,00	355,75	355,75	0,00	1,14197
25/03/2016 12:00	319,93	679,73	-359,80	28,91	28,91	32,12	-1	0,00	359,80	359,80	0,00	1,15496
25/03/2016 12:10	331,68	685,04	-353,36	27,87	27,87	29,04	-1	0,00	353,36	353,36	0,00	0,41343
25/03/2016 12:20	448,90	692,90	-244,00	27,87	27,87	29,04	-1	0,00	244,00	244,00	0,00	0,28548
25/03/2016 12:30	590,54	699,79	-109,25	27,87	27,87	29,04	-1	0,00	109,25	109,25	0,00	0,12782
25/03/2016 12:40	546,48	710,46	-163,98	27,87	27,87	29,04	-1	0,00	163,98	163,98	0,00	0,19186
25/03/2016 12:50	417,02	723,79	-306,77	27,87	27,87	29,04	-1	0,00	306,77	306,77	0,00	0,35892
25/03/2016 13:00	635,42	729,27	-93,85	27,87	27,87	29,04	-1	0,00	93,85	93,85	0,00	0,10980
25/03/2016 13:10	451,05	737,41	-286,36	27,06	27,06	31,51	-1	0,00	286,36	286,36	0,00	1,27430
25/03/2016 13:20	655,12	747,14	-92,02	27,06	27,06	31,51	-1	0,00	92,02	92,02	0,00	0,40950
25/03/2016 13:30	621,19	750,93	-129,74	27,06	27,06	31,51	-1	0,00	129,74	129,74	0,00	0,57732
25/03/2016 13:40	412,54	745,81	-333,27	27,06	27,06	31,51	-1	0,00	333,27	333,27	0,00	1,48306
25/03/2016 13:50	423,67	752,30	-328,63	27,06	27,06	31,51	-1	0,00	328,63	328,63	0,00	1,46239
25/03/2016 14:00	612,05	759,43	-147,38	27,06	27,06	31,51	-1	0,00	147,38	147,38	0,00	0,65586
25/03/2016 14:10	504,63	781,94	-277,31	26,50	26,50	29,82	-1	0,00	277,31	277,31	0,00	0,92068
25/03/2016 14:20	401,28	806,57	-405,29	26,50	26,50	29,82	-1	0,00	405,29	405,29	0,00	1,34558
25/03/2016 14:30	474,71	839,32	-364,61	26,50	26,50	29,82	-1	0,00	364,61	364,61	0,00	1,21050

25/03/2016 14:40	461,32	883,91	-422,59	26,50	26,50	29,82	-1	0,00	422,59	422,59	0,00	1,40301
25/03/2016 14:50	404,77	924,96	-520,19	26,50	26,50	29,82	-1	0,00	520,19	520,19	0,00	1,72704
25/03/2016 15:00	779,43	958,90	-179,47	26,50	26,50	29,82	-1	0,00	179,47	179,47	0,00	0,59586
25/03/2016 15:10	707,44	1003,56	-296,12	24,44	24,44	30,73	-1	0,00	296,12	296,12	0,00	1,86258
25/03/2016 15:20	819,74	1066,25	-246,51	24,44	24,44	30,73	-1	0,00	246,51	246,51	0,00	1,55053
25/03/2016 15:30	872,20	1114,07	-241,87	24,44	24,44	30,73	-1	0,00	241,87	241,87	0,00	1,52133
25/03/2016 15:40	1029,23	1173,12	-143,89	24,44	24,44	30,73	-1	0,00	143,89	143,89	0,00	0,90507
25/03/2016 15:50	886,83	1225,75	-338,92	24,44	24,44	30,73	-1	0,00	338,92	338,92	0,00	2,13183
25/03/2016 16:00	1115,28	1250,08	-134,80	24,44	24,44	30,73	-1	0,00	134,80	134,80	0,00	0,84789
25/03/2016 16:10	1105,10	1264,62	-159,52	23,50	23,50	27,73	-1	0,00	159,52	159,52	0,00	0,67479
25/03/2016 16:20	1160,13	1270,57	-110,44	23,50	23,50	27,73	-1	0,00	110,44	110,44	0,00	0,46716
25/03/2016 16:30	1078,38	1268,71	-190,33	23,50	23,50	27,73	-1	0,00	190,33	190,33	0,00	0,80510
25/03/2016 16:40	1155,48	1251,54	-96,06	23,50	23,50	27,73	-1	0,00	96,06	96,06	0,00	0,40632
25/03/2016 16:50	1075,10	1223,17	-148,07	23,50	23,50	27,73	-1	0,00	148,07	148,07	0,00	0,62636
25/03/2016 17:00	1049,56	1201,25	-151,69	23,50	23,50	27,73	-1	0,00	151,69	151,69	0,00	0,64166
25/03/2016 17:10	1044,14	1192,17	-148,03	26,10	26,10	32,00	-1	0,00	148,03	148,03	0,00	0,87336
25/03/2016 17:20	1136,53	1185,61	-49,08	26,10	26,10	32,00	-1	0,00	49,08	49,08	0,00	0,28960
25/03/2016 17:30	1131,13	1180,12	-48,99	26,10	26,10	32,00	-1	0,00	48,99	48,99	0,00	0,28903
25/03/2016 17:40	1094,20	1178,91	-84,71	26,10	26,10	32,00	-1	0,00	84,71	84,71	0,00	0,49979
25/03/2016 17:50	1034,38	1163,02	-128,64	26,10	26,10	32,00	-1	0,00	128,64	128,64	0,00	0,75899
25/03/2016 18:00	1129,08	1148,93	-19,85	26,10	26,10	32,00	-1	0,00	19,85	19,85	0,00	0,11713
25/03/2016 18:10	1036,72	1126,75	-90,03	27,20	27,20	31,67	-1	0,00	90,03	90,03	0,00	0,40244
25/03/2016 18:20	1113,97	1105,54	8,43	27,20	27,20	31,67	-1	8,43	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 18:30	1204,45	1094,50	109,95	27,20	27,20	31,67	-1	109,95	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 18:40	1121,59	1086,37	35,22	27,20	27,20	31,67	-1	35,22	0,00	0,00	0,00	0,00000

25/03/2016 18:50	1092,35	1069,86	22,49	27,20	27,20	31,67	-1	22,49	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 19:00	1194,30	1042,06	152,24	27,20	27,20	31,67	-1	152,24	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 19:10	1113,40	1045,10	68,30	33,08	21,00	33,08	1	0,00	68,30	0,00	68,30	0,82509
25/03/2016 19:20	1209,30	1047,52	161,78	33,08	21,00	33,08	1	0,00	161,78	0,00	161,78	1,95429
25/03/2016 19:30	1284,70	1051,69	233,01	33,08	21,00	33,08	1	0,00	233,01	0,00	233,01	2,81481
25/03/2016 19:40	1411,75	1040,69	371,06	33,08	21,00	33,08	1	0,00	371,06	0,00	371,06	4,48241
25/03/2016 19:50	1527,11	1038,10	489,01	33,08	21,00	33,08	1	0,00	489,01	0,00	489,01	5,90719
25/03/2016 20:00	1501,11	1035,18	465,93	33,08	21,00	33,08	1	0,00	465,93	0,00	465,93	5,62838
25/03/2016 20:10	1495,75	1039,91	455,84	32,95	3,59	32,95	1	0,00	455,84	0,00	455,84	13,38349
25/03/2016 20:20	1352,51	1037,03	315,48	32,95	3,59	32,95	1	0,00	315,48	0,00	315,48	9,26244
25/03/2016 20:30	1498,48	1034,69	463,79	32,95	3,59	32,95	1	0,00	463,79	0,00	463,79	13,61695
25/03/2016 20:40	1501,78	1037,06	464,72	32,95	3,59	32,95	1	0,00	464,72	0,00	464,72	13,64429
25/03/2016 20:50	1339,03	1041,22	297,81	32,95	3,59	32,95	1	0,00	297,81	0,00	297,81	8,74379
25/03/2016 21:00	1262,51	1043,01	219,50	32,95	3,59	32,95	1	0,00	219,50	0,00	219,50	6,44442
25/03/2016 21:10	1500,75	1050,43	450,32	31,94	4,00	31,94	1	0,00	450,32	0,00	450,32	12,58192
25/03/2016 21:20	1547,82	1057,67	490,15	31,94	4,00	31,94	1	0,00	490,15	0,00	490,15	13,69490
25/03/2016 21:30	1637,57	1065,33	572,24	31,94	4,00	31,94	1	0,00	572,24	0,00	572,24	15,98851
25/03/2016 21:40	1643,41	1078,90	564,51	31,94	4,00	31,94	1	0,00	564,51	0,00	564,51	15,77228
25/03/2016 21:50	1601,73	1093,43	508,30	31,94	4,00	31,94	1	0,00	508,30	0,00	508,30	14,20191
25/03/2016 22:00	1347,63	1106,27	241,36	31,94	4,00	31,94	1	0,00	241,36	0,00	241,36	6,74352
25/03/2016 22:10	1454,01	1132,36	321,65	31,91	20,17	31,91	1	0,00	321,65	0,00	321,65	3,77616
25/03/2016 22:20	1444,90	1153,86	291,04	31,91	20,17	31,91	1	0,00	291,04	0,00	291,04	3,41685
25/03/2016 22:30	1468,37	1187,52	280,85	31,91	20,17	31,91	1	0,00	280,85	0,00	280,85	3,29715
25/03/2016 22:40	1672,87	1204,88	467,99	31,91	20,17	31,91	1	0,00	467,99	0,00	467,99	5,49416
25/03/2016 22:50	1769,51	1229,07	540,44	31,91	20,17	31,91	1	0,00	540,44	0,00	540,44	6,34480

25/03/2016 23:00	1871,38	1255,47	615,91	31,91	20,17	31,91	1	0,00	615,91	0,00	615,91	7,23081
25/03/2016 23:10	1925,75	1286,04	639,71	30,00	30,00	33,79	-1	639,71	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 23:20	1969,22	1329,41	639,81	30,00	30,00	33,79	-1	639,81	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 23:30	1894,37	1368,50	525,87	30,00	30,00	33,79	-1	525,87	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 23:40	1723,71	1409,51	314,20	30,00	30,00	33,79	-1	314,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
25/03/2016 23:50	1590,06	1453,66	136,40	30,00	30,00	33,79	-1	136,40	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 0:00	1775,36	1500,71	274,65	30,00	30,00	33,79	-1	274,65	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 0:10	1698,34	1534,82	163,52	30,00	30,00	31,75	-1	163,52	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 0:20	1611,39	1567,41	43,98	30,00	30,00	31,75	-1	43,98	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 0:30	1448,22	1578,86	-130,64	30,00	30,00	31,75	-1	0,00	130,64	130,64	0,00	0,22862
26/03/2016 0:40	1259,10	1596,65	-337,55	30,00	30,00	31,75	-1	0,00	337,55	337,55	0,00	0,59071
26/03/2016 0:50	1221,33	1604,13	-382,80	30,00	30,00	31,75	-1	0,00	382,80	382,80	0,00	0,66990
26/03/2016 1:00	1316,15	1613,22	-297,07	30,00	30,00	31,75	-1	0,00	297,07	297,07	0,00	0,51988
26/03/2016 1:10	1382,20	1631,34	-249,14	24,32	24,32	29,76	-1	0,00	249,14	249,14	0,00	1,35534
26/03/2016 1:20	1391,87	1642,48	-250,61	24,32	24,32	29,76	-1	0,00	250,61	250,61	0,00	1,36334
26/03/2016 1:30	1246,80	1650,69	-403,89	24,32	24,32	29,76	-1	0,00	403,89	403,89	0,00	2,19717
26/03/2016 1:40	1138,46	1669,15	-530,69	24,32	24,32	29,76	-1	0,00	530,69	530,69	0,00	2,88694
26/03/2016 1:50	1382,00	1684,37	-302,37	24,32	24,32	29,76	-1	0,00	302,37	302,37	0,00	1,64487
26/03/2016 2:00	1413,46	1708,58	-295,12	24,32	24,32	29,76	-1	0,00	295,12	295,12	0,00	1,60547
26/03/2016 2:10	1591,27	1715,11	-123,84	21,11	21,11	31,79	-1	0,00	123,84	123,84	0,00	1,32264
26/03/2016 2:20	1643,75	1720,16	-76,41	21,11	21,11	31,79	-1	0,00	76,41	76,41	0,00	0,81604
26/03/2016 2:30	1234,69	1718,02	-483,33	21,11	21,11	31,79	-1	0,00	483,33	483,33	0,00	5,16201
26/03/2016 2:40	1159,48	1710,84	-551,36	21,11	21,11	31,79	-1	0,00	551,36	551,36	0,00	5,88851
26/03/2016 2:50	1235,87	1695,07	-459,20	21,11	21,11	31,79	-1	0,00	459,20	459,20	0,00	4,90421
26/03/2016 3:00	1223,11	1679,55	-456,44	21,11	21,11	31,79	-1	0,00	456,44	456,44	0,00	4,87474

26/03/2016 3:10	1289,23	1643,40	-354,17	20,00	20,00	31,79	-1	0,00	354,17	354,17	0,00	4,17562
26/03/2016 3:20	1258,63	1616,34	-357,71	20,00	20,00	31,79	-1	0,00	357,71	357,71	0,00	4,21741
26/03/2016 3:30	1164,23	1594,11	-429,88	20,00	20,00	31,79	-1	0,00	429,88	429,88	0,00	5,06827
26/03/2016 3:40	975,26	1562,59	-587,33	20,00	20,00	31,79	-1	0,00	587,33	587,33	0,00	6,92459
26/03/2016 3:50	963,24	1524,82	-561,58	20,00	20,00	31,79	-1	0,00	561,58	561,58	0,00	6,62098
26/03/2016 4:00	1133,62	1515,87	-382,25	20,00	20,00	31,79	-1	0,00	382,25	382,25	0,00	4,50677
26/03/2016 4:10	1366,90	1503,09	-136,19	20,00	20,00	32,00	-1	0,00	136,19	136,19	0,00	1,63428
26/03/2016 4:20	1548,94	1495,12	53,82	20,00	20,00	32,00	-1	53,82	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 4:30	1922,08	1498,72	423,36	20,00	20,00	32,00	-1	423,36	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 4:40	2220,40	1534,28	686,12	20,00	20,00	32,00	-1	686,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 4:50	2438,22	1617,93	820,29	20,00	20,00	32,00	-1	820,29	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 5:00	2198,68	1726,48	472,20	20,00	20,00	32,00	-1	472,20	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 5:10	1864,70	1834,76	29,94	20,01	20,01	32,00	-1	29,94	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 5:20	2055,80	1919,42	136,38	20,01	20,01	32,00	-1	136,38	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 5:30	2154,00	2014,06	139,94	20,01	20,01	32,00	-1	139,94	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 5:40	1988,58	2153,43	-164,85	20,01	20,01	32,00	-1	0,00	164,85	164,85	0,00	1,97655
26/03/2016 5:50	1958,86	2229,63	-270,77	20,01	20,01	32,00	-1	0,00	270,77	270,77	0,00	3,24657
26/03/2016 6:00	2085,65	2301,40	-215,75	20,01	20,01	32,00	-1	0,00	215,75	215,75	0,00	2,58689
26/03/2016 6:10	2004,10	2333,91	-329,81	20,01	20,01	31,73	-1	0,00	329,81	329,81	0,00	3,86538
26/03/2016 6:20	2054,48	2351,75	-297,27	20,01	20,01	31,73	-1	0,00	297,27	297,27	0,00	3,48406
26/03/2016 6:30	2359,22	2342,56	16,66	20,01	20,01	31,73	-1	16,66	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 6:40	2390,46	2346,30	44,16	20,01	20,01	31,73	-1	44,16	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 6:50	2372,61	2359,67	12,94	20,01	20,01	31,73	-1	12,94	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 7:00	2384,45	2361,13	23,32	20,01	20,01	31,73	-1	23,32	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 7:10	2502,71	2386,33	116,38	21,69	10,00	21,69	1	0,00	116,38	0,00	116,38	1,36046

26/03/2016 7:20	2431,17	2398,74	32,43	21,69	10,00	21,69	1	0,00	32,43	0,00	32,43	0,37913
26/03/2016 7:30	2420,19	2415,09	5,10	21,69	10,00	21,69	1	0,00	5,10	0,00	5,10	0,05957
26/03/2016 7:40	2446,70	2419,51	27,19	21,69	10,00	21,69	1	0,00	27,19	0,00	27,19	0,31784
26/03/2016 7:50	2478,32	2425,03	53,29	21,69	10,00	21,69	1	0,00	53,29	0,00	53,29	0,62300
26/03/2016 8:00	2399,66	2407,00	-7,34	21,69	10,00	21,69	1	7,34	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 8:10	2319,60	2406,92	-87,32	22,49	22,49	37,89	-1	0,00	87,32	87,32	0,00	1,34467
26/03/2016 8:20	2385,32	2413,51	-28,19	22,49	22,49	37,89	-1	0,00	28,19	28,19	0,00	0,43419
26/03/2016 8:30	2508,82	2407,59	101,23	22,49	22,49	37,89	-1	101,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 8:40	2465,89	2401,74	64,15	22,49	22,49	37,89	-1	64,15	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 8:50	2442,91	2394,90	48,01	22,49	22,49	37,89	-1	48,01	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 9:00	2497,58	2391,68	105,90	22,49	22,49	37,89	-1	105,90	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 9:10	2417,15	2385,07	32,08	24,00	24,00	31,00	-1	32,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 9:20	2520,26	2376,25	144,01	24,00	24,00	31,00	-1	144,01	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 9:30	2527,05	2370,84	156,21	24,00	24,00	31,00	-1	156,21	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 9:40	2392,16	2368,48	23,68	24,00	24,00	31,00	-1	23,68	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 9:50	2278,71	2362,09	-83,38	24,00	24,00	31,00	-1	0,00	83,38	83,38	0,00	0,58366
26/03/2016 10:00	2232,77	2351,68	-118,91	24,00	24,00	31,00	-1	0,00	118,91	118,91	0,00	0,83236
26/03/2016 10:10	2311,94	2343,58	-31,64	23,03	23,03	30,35	-1	0,00	31,64	31,64	0,00	0,23161
26/03/2016 10:20	2267,26	2328,43	-61,17	23,03	23,03	30,35	-1	0,00	61,17	61,17	0,00	0,44776
26/03/2016 10:30	2354,66	2321,03	33,63	23,03	23,03	30,35	-1	33,63	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 10:40	2380,65	2296,57	84,08	23,03	23,03	30,35	-1	84,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 10:50	2415,57	2291,53	124,04	23,03	23,03	30,35	-1	124,04	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 11:00	2215,44	2278,11	-62,67	23,03	23,03	30,35	-1	0,00	62,67	62,67	0,00	0,45873
26/03/2016 11:10	2258,86	2273,09	-14,23	20,00	20,00	30,25	-1	0,00	14,23	14,23	0,00	0,14588
26/03/2016 11:20	2307,67	2261,73	45,94	20,00	20,00	30,25	-1	45,94	0,00	0,00	0,00	0,00000

26/03/2016 11:30	2256,37	2222,21	34,16	20,00	20,00	30,25	-1	34,16	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 11:40	2320,50	2203,24	117,26	20,00	20,00	30,25	-1	117,26	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 11:50	2187,41	2175,18	12,23	20,00	20,00	30,25	-1	12,23	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 12:00	1998,54	2149,10	-150,56	20,00	20,00	30,25	-1	0,00	150,56	150,56	0,00	1,54324
26/03/2016 12:10	2186,89	2125,75	61,14	19,06	4,50	19,06	1	0,00	61,14	0,00	61,14	0,89020
26/03/2016 12:20	1989,58	2135,27	-145,69	19,06	4,50	19,06	1	145,69	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 12:30	1934,02	2138,15	-204,13	19,06	4,50	19,06	1	204,13	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 12:40	2211,72	2147,18	64,54	19,06	4,50	19,06	1	0,00	64,54	0,00	64,54	0,93965
26/03/2016 12:50	2243,86	2153,94	89,92	19,06	4,50	19,06	1	0,00	89,92	0,00	89,92	1,30921
26/03/2016 13:00	2327,98	2156,26	171,72	19,06	4,50	19,06	1	0,00	171,72	0,00	171,72	2,50030
26/03/2016 13:10	2422,33	2154,70	267,63	18,09	5,03	18,09	1	0,00	267,63	0,00	267,63	3,49519
26/03/2016 13:20	2482,16	2147,71	334,45	18,09	5,03	18,09	1	0,00	334,45	0,00	334,45	4,36796
26/03/2016 13:30	2426,40	2125,12	301,28	18,09	5,03	18,09	1	0,00	301,28	0,00	301,28	3,93474
26/03/2016 13:40	2518,80	2113,67	405,13	18,09	5,03	18,09	1	0,00	405,13	0,00	405,13	5,29094
26/03/2016 13:50	2419,76	2100,43	319,33	18,09	5,03	18,09	1	0,00	319,33	0,00	319,33	4,17043
26/03/2016 14:00	2315,95	2086,51	229,44	18,09	5,03	18,09	1	0,00	229,44	0,00	229,44	2,99655
26/03/2016 14:10	2277,81	2074,15	203,66	16,28	16,28	31,70	-1	203,66	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 14:20	2247,92	2070,03	177,89	16,28	16,28	31,70	-1	177,89	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 14:30	2041,98	2059,78	-17,80	16,28	16,28	31,70	-1	0,00	17,80	17,80	0,00	0,27449
26/03/2016 14:40	1903,45	2028,75	-125,30	16,28	16,28	31,70	-1	0,00	125,30	125,30	0,00	1,93207
26/03/2016 14:50	2000,86	2011,62	-10,76	16,28	16,28	31,70	-1	0,00	10,76	10,76	0,00	0,16598
26/03/2016 15:00	1767,97	2003,02	-235,05	16,28	16,28	31,70	-1	0,00	235,05	235,05	0,00	3,62442
26/03/2016 15:10	2129,93	1988,91	141,02	13,56	0,00	13,56	1	0,00	141,02	0,00	141,02	1,91223
26/03/2016 15:20	2332,07	1993,47	338,60	13,56	0,00	13,56	1	0,00	338,60	0,00	338,60	4,59140
26/03/2016 15:30	2378,94	1992,18	386,76	13,56	0,00	13,56	1	0,00	386,76	0,00	386,76	5,24445

26/03/2016 15:40	2337,84	1996,59	341,25	13,56	0,00	13,56	1	0,00	341,25	0,00	341,25	4,62733
26/03/2016 15:50	2221,08	1975,36	245,72	13,56	0,00	13,56	1	0,00	245,72	0,00	245,72	3,33196
26/03/2016 16:00	2133,96	1952,92	181,04	13,56	0,00	13,56	1	0,00	181,04	0,00	181,04	2,45489
26/03/2016 16:10	2156,64	1924,89	231,75	13,60	6,44	13,60	1	0,00	231,75	0,00	231,75	1,65932
26/03/2016 16:20	2289,71	1910,46	379,25	13,60	6,44	13,60	1	0,00	379,25	0,00	379,25	2,71545
26/03/2016 16:30	2084,09	1894,18	189,91	13,60	6,44	13,60	1	0,00	189,91	0,00	189,91	1,35975
26/03/2016 16:40	1952,62	1879,47	73,15	13,60	6,44	13,60	1	0,00	73,15	0,00	73,15	0,52374
26/03/2016 16:50	1820,14	1885,89	-65,75	13,60	6,44	13,60	1	65,75	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 17:00	1751,31	1896,08	-144,77	13,60	6,44	13,60	1	144,77	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 17:10	1822,85	1890,76	-67,91	14,38	0,00	14,38	1	67,91	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 17:20	1773,66	1895,59	-121,93	14,38	0,00	14,38	1	121,93	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 17:30	1988,34	1896,45	91,89	14,38	0,00	14,38	1	0,00	91,89	0,00	91,89	1,32141
26/03/2016 17:40	1937,42	1892,30	45,12	14,38	0,00	14,38	1	0,00	45,12	0,00	45,12	0,64878
26/03/2016 17:50	1905,77	1884,60	21,17	14,38	0,00	14,38	1	0,00	21,17	0,00	21,17	0,30445
26/03/2016 18:00	1841,38	1886,57	-45,19	14,38	0,00	14,38	1	45,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 18:10	1644,26	1880,26	-236,00	17,63	0,00	17,63	1	236,00	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 18:20	1545,11	1872,16	-327,05	17,63	0,00	17,63	1	327,05	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 18:30	1437,50	1863,71	-426,21	17,63	0,00	17,63	1	426,21	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 18:40	1830,06	1860,31	-30,25	17,63	0,00	17,63	1	30,25	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 18:50	2207,91	1851,62	356,29	17,63	0,00	17,63	1	0,00	356,29	0,00	356,29	6,28132
26/03/2016 19:00	2011,33	1842,16	169,17	17,63	0,00	17,63	1	0,00	169,17	0,00	169,17	2,98242
26/03/2016 19:10	1983,08	1829,91	153,17	22,12	0,00	22,12	1	0,00	153,17	0,00	153,17	3,38813
26/03/2016 19:20	2144,84	1809,32	335,52	22,12	0,00	22,12	1	0,00	335,52	0,00	335,52	7,42171
26/03/2016 19:30	2304,20	1815,08	489,12	22,12	0,00	22,12	1	0,00	489,12	0,00	489,12	10,81943
26/03/2016 19:40	2384,58	1821,09	563,49	22,12	0,00	22,12	1	0,00	563,49	0,00	563,49	12,46445

26/03/2016 19:50	2408,23	1825,84	582,39	22,12	0,00	22,12	1	0,00	582,39	0,00	582,39	12,88236
26/03/2016 20:00	2232,57	1820,78	411,79	22,12	0,00	22,12	1	0,00	411,79	0,00	411,79	9,10876
26/03/2016 20:10	1987,54	1810,27	177,27	21,69	0,04	21,69	1	0,00	177,27	0,00	177,27	3,83796
26/03/2016 20:20	1773,47	1801,51	-28,04	21,69	0,04	21,69	1	28,04	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 20:30	1670,45	1785,32	-114,87	21,69	0,04	21,69	1	114,87	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 20:40	1672,52	1782,04	-109,52	21,69	0,04	21,69	1	109,52	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 20:50	1810,20	1776,17	34,03	21,69	0,04	21,69	1	0,00	34,03	0,00	34,03	0,73668
26/03/2016 21:00	1892,63	1769,40	123,23	21,69	0,04	21,69	1	0,00	123,23	0,00	123,23	2,66800
26/03/2016 21:10	1900,35	1752,46	147,89	23,00	0,01	23,00	1	0,00	147,89	0,00	147,89	3,39998
26/03/2016 21:20	1804,48	1748,13	56,35	23,00	0,01	23,00	1	0,00	56,35	0,00	56,35	1,29557
26/03/2016 21:30	1673,57	1721,87	-48,30	23,00	0,01	23,00	1	48,30	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 21:40	1646,14	1708,26	-62,12	23,00	0,01	23,00	1	62,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
26/03/2016 21:50	1837,24	1698,76	138,48	23,00	0,01	23,00	1	0,00	138,48	0,00	138,48	3,18365
26/03/2016 22:00	1951,73	1681,31	270,42	23,00	0,01	23,00	1	0,00	270,42	0,00	270,42	6,21694
26/03/2016 22:10	1845,88	1666,66	179,22	20,00	0,00	20,00	1	0,00	179,22	0,00	179,22	3,58439
26/03/2016 22:20	1746,10	1658,34	87,76	20,00	0,00	20,00	1	0,00	87,76	0,00	87,76	1,75527
26/03/2016 22:30	1885,92	1645,64	240,28	20,00	0,00	20,00	1	0,00	240,28	0,00	240,28	4,80565
26/03/2016 22:40	1846,74	1628,26	218,48	20,00	0,00	20,00	1	0,00	218,48	0,00	218,48	4,36966
26/03/2016 22:50	1874,24	1613,74	260,50	20,00	0,00	20,00	1	0,00	260,50	0,00	260,50	5,20996
26/03/2016 23:00	1930,92	1599,49	331,43	20,00	0,00	20,00	1	0,00	331,43	0,00	331,43	6,62861
26/03/2016 23:10	1670,06	1584,36	85,70	18,60	0,00	18,60	1	0,00	85,70	0,00	85,70	1,59396
26/03/2016 23:20	1939,75	1557,82	381,93	18,60	0,00	18,60	1	0,00	381,93	0,00	381,93	7,10390
26/03/2016 23:30	1866,14	1536,43	329,71	18,60	0,00	18,60	1	0,00	329,71	0,00	329,71	6,13265
26/03/2016 23:40	1824,40	1525,71	298,69	18,60	0,00	18,60	1	0,00	298,69	0,00	298,69	5,55560
26/03/2016 23:50	2143,96	1500,76	643,20	18,60	0,00	18,60	1	0,00	643,20	0,00	643,20	11,96355

27/03/2016 0:00	1926,07	1489,14	436,93	18,60	0,00	18,60	1	0,00	436,93	0,00	436,93	8,12691
27/03/2016 0:10	1855,52	1476,65	378,87	18,69	1,91	18,69	1	0,00	378,87	0,00	378,87	6,35750
27/03/2016 0:20	1946,19	1458,06	488,13	18,69	1,91	18,69	1	0,00	488,13	0,00	488,13	8,19090
27/03/2016 0:30	2221,86	1452,21	769,65	18,69	1,91	18,69	1	0,00	769,65	0,00	769,65	12,91481
27/03/2016 0:40	2132,94	1446,34	686,60	18,69	1,91	18,69	1	0,00	686,60	0,00	686,60	11,52120
27/03/2016 0:50	2107,12	1438,61	668,51	18,69	1,91	18,69	1	0,00	668,51	0,00	668,51	11,21752
27/03/2016 1:00	1924,06	1445,46	478,60	18,69	1,91	18,69	1	0,00	478,60	0,00	478,60	8,03097
27/03/2016 1:10	1848,31	1452,78	395,53	9,20	0,00	9,20	1	0,00	395,53	0,00	395,53	3,63890
27/03/2016 1:20	1776,59	1459,58	317,01	9,20	0,00	9,20	1	0,00	317,01	0,00	317,01	2,91645
27/03/2016 1:30	1694,32	1468,19	226,13	9,20	0,00	9,20	1	0,00	226,13	0,00	226,13	2,08040
27/03/2016 1:40	1681,13	1472,93	208,20	9,20	0,00	9,20	1	0,00	208,20	0,00	208,20	1,91541
27/03/2016 1:50	1680,99	1475,30	205,69	9,20	0,00	9,20	1	0,00	205,69	0,00	205,69	1,89238
27/03/2016 2:00	1824,32	1486,86	337,46	9,20	0,00	9,20	1	0,00	337,46	0,00	337,46	3,10465
27/03/2016 2:10	1619,15	1495,72	123,43	8,56	0,00	8,56	1	0,00	123,43	0,00	123,43	1,05655
27/03/2016 2:20	1658,18	1503,72	154,46	8,56	0,00	8,56	1	0,00	154,46	0,00	154,46	1,32221
27/03/2016 2:30	1545,47	1509,26	36,21	8,56	0,00	8,56	1	0,00	36,21	0,00	36,21	0,30997
27/03/2016 2:40	1575,03	1515,18	59,85	8,56	0,00	8,56	1	0,00	59,85	0,00	59,85	0,51235
27/03/2016 2:50	1748,83	1523,52	225,31	8,56	0,00	8,56	1	0,00	225,31	0,00	225,31	1,92867
27/03/2016 3:00	1973,34	1533,77	439,57	8,56	0,00	8,56	1	0,00	439,57	0,00	439,57	3,76275
27/03/2016 3:10	1858,93	1530,46	328,47	6,69	6,69	30,00	-1	328,47	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 3:20	1770,56	1525,71	244,85	6,69	6,69	30,00	-1	244,85	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 3:30	1739,02	1507,31	231,71	6,69	6,69	30,00	-1	231,71	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 3:40	1721,60	1486,53	235,07	6,69	6,69	30,00	-1	235,07	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 3:50	1783,25	1462,03	321,22	6,69	6,69	30,00	-1	321,22	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 4:00	1656,11	1439,54	216,57	6,69	6,69	30,00	-1	216,57	0,00	0,00	0,00	0,00000

27/03/2016 4:10	1621,57	1406,02	215,55	6,50	0,00	6,50	1	0,00	215,55	0,00	215,55	1,40110
27/03/2016 4:20	1331,54	1378,68	-47,14	6,50	0,00	6,50	1	47,14	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 4:30	1122,76	1354,09	-231,33	6,50	0,00	6,50	1	231,33	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 4:40	1145,45	1327,45	-182,00	6,50	0,00	6,50	1	182,00	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 4:50	1008,42	1303,77	-295,35	6,50	0,00	6,50	1	295,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 5:00	929,88	1266,21	-336,33	6,50	0,00	6,50	1	336,33	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 5:10	871,34	1251,78	-380,44	6,50	0,00	6,50	1	380,44	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 5:20	780,22	1234,26	-454,04	6,50	0,00	6,50	1	454,04	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 5:30	772,02	1222,93	-450,91	6,50	0,00	6,50	1	450,91	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 5:40	731,45	1210,35	-478,90	6,50	0,00	6,50	1	478,90	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 5:50	868,59	1195,12	-326,53	6,50	0,00	6,50	1	326,53	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 6:00	1023,30	1162,35	-139,05	6,50	0,00	6,50	1	139,05	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 6:10	1095,05	1133,88	-38,83	8,22	0,00	8,22	1	38,83	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 6:20	1155,93	1101,23	54,70	8,22	0,00	8,22	1	0,00	54,70	0,00	54,70	0,44966
27/03/2016 6:30	1112,69	1105,68	7,01	8,22	0,00	8,22	1	0,00	7,01	0,00	7,01	0,05759
27/03/2016 6:40	1128,17	1100,86	27,31	8,22	0,00	8,22	1	0,00	27,31	0,00	27,31	0,22450
27/03/2016 6:50	1187,67	1092,85	94,82	8,22	0,00	8,22	1	0,00	94,82	0,00	94,82	0,77940
27/03/2016 7:00	1385,76	1077,00	308,76	8,22	0,00	8,22	1	0,00	308,76	0,00	308,76	2,53797
27/03/2016 7:10	1438,70	1052,30	386,40	10,00	0,00	10,00	1	0,00	386,40	0,00	386,40	3,86395
27/03/2016 7:20	1383,66	1045,21	338,45	10,00	0,00	10,00	1	0,00	338,45	0,00	338,45	3,38445
27/03/2016 7:30	1445,18	1042,08	403,10	10,00	0,00	10,00	1	0,00	403,10	0,00	403,10	4,03102
27/03/2016 7:40	1216,18	1038,53	177,65	10,00	0,00	10,00	1	0,00	177,65	0,00	177,65	1,77652
27/03/2016 7:50	1131,48	1041,23	90,25	10,00	0,00	10,00	1	0,00	90,25	0,00	90,25	0,90249
27/03/2016 8:00	1304,27	1045,28	258,99	10,00	0,00	10,00	1	0,00	258,99	0,00	258,99	2,58992
27/03/2016 8:10	1347,28	1052,00	295,28	13,69	0,00	13,69	1	0,00	295,28	0,00	295,28	4,04233

27/03/2016 8:20	1538,15	1056,10	482,05	13,69	0,00	13,69	1	0,00	482,05	0,00	482,05	6,59929
27/03/2016 8:30	1604,95	1068,55	536,40	13,69	0,00	13,69	1	0,00	536,40	0,00	536,40	7,34328
27/03/2016 8:40	1486,74	1079,03	407,71	13,69	0,00	13,69	1	0,00	407,71	0,00	407,71	5,58160
27/03/2016 8:50	1575,81	1094,01	481,80	13,69	0,00	13,69	1	0,00	481,80	0,00	481,80	6,59581
27/03/2016 9:00	1608,18	1130,46	477,72	13,69	0,00	13,69	1	0,00	477,72	0,00	477,72	6,53992
27/03/2016 9:10	1764,73	1172,70	592,03	17,73	0,00	17,73	1	0,00	592,03	0,00	592,03	10,49665
27/03/2016 9:20	1714,98	1274,91	440,07	17,73	0,00	17,73	1	0,00	440,07	0,00	440,07	7,80246
27/03/2016 9:30	1858,35	1358,94	499,41	17,73	0,00	17,73	1	0,00	499,41	0,00	499,41	8,85445
27/03/2016 9:40	1737,27	1411,67	325,60	17,73	0,00	17,73	1	0,00	325,60	0,00	325,60	5,77281
27/03/2016 9:50	1904,06	1465,78	438,28	17,73	0,00	17,73	1	0,00	438,28	0,00	438,28	7,77073
27/03/2016 10:00	1927,17	1513,13	414,04	17,73	0,00	17,73	1	0,00	414,04	0,00	414,04	7,34091
27/03/2016 10:10	1962,07	1586,87	375,20	15,00	0,00	15,00	1	0,00	375,20	0,00	375,20	5,62803
27/03/2016 10:20	2177,24	1652,52	524,72	15,00	0,00	15,00	1	0,00	524,72	0,00	524,72	7,87086
27/03/2016 10:30	2151,67	1688,56	463,11	15,00	0,00	15,00	1	0,00	463,11	0,00	463,11	6,94665
27/03/2016 10:40	2400,16	1724,28	675,88	15,00	0,00	15,00	1	0,00	675,88	0,00	675,88	10,13816
27/03/2016 10:50	2062,91	1730,85	332,06	15,00	0,00	15,00	1	0,00	332,06	0,00	332,06	4,98094
27/03/2016 11:00	1970,18	1721,93	248,25	15,00	0,00	15,00	1	0,00	248,25	0,00	248,25	3,72378
27/03/2016 11:10	2046,50	1715,70	330,80	12,40	0,00	12,40	1	0,00	330,80	0,00	330,80	4,10188
27/03/2016 11:20	1927,25	1713,68	213,57	12,40	0,00	12,40	1	0,00	213,57	0,00	213,57	2,64828
27/03/2016 11:30	2092,05	1711,73	380,32	12,40	0,00	12,40	1	0,00	380,32	0,00	380,32	4,71596
27/03/2016 11:40	2192,05	1702,07	489,98	12,40	0,00	12,40	1	0,00	489,98	0,00	489,98	6,07576
27/03/2016 11:50	2027,22	1685,22	342,00	12,40	0,00	12,40	1	0,00	342,00	0,00	342,00	4,24080
27/03/2016 12:00	2212,44	1653,90	558,54	12,40	0,00	12,40	1	0,00	558,54	0,00	558,54	6,92587
27/03/2016 12:10	2224,27	1648,08	576,19	11,30	0,00	11,30	1	0,00	576,19	0,00	576,19	6,51095
27/03/2016 12:20	1745,41	1642,79	102,62	11,30	0,00	11,30	1	0,00	102,62	0,00	102,62	1,15961

27/03/2016 12:30	2212,69	1640,47	572,22	11,30	0,00	11,30	1	0,00	572,22	0,00	572,22	6,46612
27/03/2016 12:40	2240,58	1631,72	608,86	11,30	0,00	11,30	1	0,00	608,86	0,00	608,86	6,88016
27/03/2016 12:50	2358,40	1624,37	734,03	11,30	0,00	11,30	1	0,00	734,03	0,00	734,03	8,29457
27/03/2016 13:00	2200,40	1615,97	584,43	11,30	0,00	11,30	1	0,00	584,43	0,00	584,43	6,60406
27/03/2016 13:10	2229,28	1608,05	621,23	9,05	0,00	9,05	1	0,00	621,23	0,00	621,23	5,62212
27/03/2016 13:20	2155,87	1613,62	542,25	9,05	0,00	9,05	1	0,00	542,25	0,00	542,25	4,90736
27/03/2016 13:30	2166,58	1621,00	545,58	9,05	0,00	9,05	1	0,00	545,58	0,00	545,58	4,93746
27/03/2016 13:40	2193,23	1625,09	568,14	9,05	0,00	9,05	1	0,00	568,14	0,00	568,14	5,14163
27/03/2016 13:50	2211,63	1604,59	607,04	9,05	0,00	9,05	1	0,00	607,04	0,00	607,04	5,49373
27/03/2016 14:00	2187,29	1596,34	590,95	9,05	0,00	9,05	1	0,00	590,95	0,00	590,95	5,34812
27/03/2016 14:10	2136,56	1589,25	547,31	5,98	5,98	5,98	-1	547,31	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 14:20	2186,71	1586,89	599,82	5,98	5,98	5,98	-1	599,82	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 14:30	2250,95	1574,77	676,18	5,98	5,98	5,98	-1	676,18	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 14:40	2247,95	1569,42	678,53	5,98	5,98	5,98	-1	678,53	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 14:50	2262,71	1563,77	698,94	5,98	5,98	5,98	-1	698,94	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 15:00	2218,94	1562,65	656,29	5,98	5,98	5,98	-1	656,29	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 15:10	2172,75	1568,76	603,99	5,56	0,00	5,56	1	0,00	603,99	0,00	603,99	3,35819
27/03/2016 15:20	2413,44	1561,74	851,70	5,56	0,00	5,56	1	0,00	851,70	0,00	851,70	4,73545
27/03/2016 15:30	2256,01	1553,99	702,02	5,56	0,00	5,56	1	0,00	702,02	0,00	702,02	3,90323
27/03/2016 15:40	2246,79	1550,57	696,22	5,56	0,00	5,56	1	0,00	696,22	0,00	696,22	3,87098
27/03/2016 15:50	2292,70	1547,86	744,84	5,56	0,00	5,56	1	0,00	744,84	0,00	744,84	4,14132
27/03/2016 16:00	2413,32	1557,95	855,37	5,56	0,00	5,56	1	0,00	855,37	0,00	855,37	4,75585
27/03/2016 16:10	2433,46	1561,35	872,11	6,49	6,49	6,49	-1	872,11	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 16:20	2301,71	1555,92	745,79	6,49	6,49	6,49	-1	745,79	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 16:30	2259,06	1547,42	711,64	6,49	6,49	6,49	-1	711,64	0,00	0,00	0,00	0,00000

27/03/2016 16:40	2135,27	1562,08	573,19	6,49	6,49	6,49	-1	573,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 16:50	1975,88	1571,47	404,41	6,49	6,49	6,49	-1	404,41	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 17:00	2223,55	1573,01	650,54	6,49	6,49	6,49	-1	650,54	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 17:10	2201,10	1584,58	616,52	14,94	0,00	14,94	1	0,00	616,52	0,00	616,52	9,21074
27/03/2016 17:20	2336,97	1590,40	746,57	14,94	0,00	14,94	1	0,00	746,57	0,00	746,57	11,15373
27/03/2016 17:30	2070,02	1593,26	476,76	14,94	0,00	14,94	1	0,00	476,76	0,00	476,76	7,12281
27/03/2016 17:40	2000,43	1586,25	414,18	14,94	0,00	14,94	1	0,00	414,18	0,00	414,18	6,18786
27/03/2016 17:50	1970,16	1578,87	391,29	14,94	0,00	14,94	1	0,00	391,29	0,00	391,29	5,84582
27/03/2016 18:00	2105,15	1569,08	536,07	14,94	0,00	14,94	1	0,00	536,07	0,00	536,07	8,00892
27/03/2016 18:10	2147,56	1570,02	577,54	19,45	0,00	19,45	1	0,00	577,54	0,00	577,54	11,23319
27/03/2016 18:20	1992,13	1576,01	416,12	19,45	0,00	19,45	1	0,00	416,12	0,00	416,12	8,09349
27/03/2016 18:30	1925,52	1583,94	341,58	19,45	0,00	19,45	1	0,00	341,58	0,00	341,58	6,64369
27/03/2016 18:40	1941,93	1594,25	347,68	19,45	0,00	19,45	1	0,00	347,68	0,00	347,68	6,76238
27/03/2016 18:50	1980,37	1600,36	380,01	19,45	0,00	19,45	1	0,00	380,01	0,00	380,01	7,39110
27/03/2016 19:00	2333,45	1612,22	721,23	19,45	0,00	19,45	1	0,00	721,23	0,00	721,23	14,02784
27/03/2016 19:10	2560,17	1625,98	934,19	24,69	24,69	38,00	-1	934,19	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 19:20	2457,93	1639,22	818,71	24,69	24,69	38,00	-1	818,71	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 19:30	2203,34	1655,90	547,44	24,69	24,69	38,00	-1	547,44	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 19:40	2246,12	1674,37	571,75	24,69	24,69	38,00	-1	571,75	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 19:50	2272,10	1682,29	589,81	24,69	24,69	38,00	-1	589,81	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 20:00	2393,04	1695,96	697,08	24,69	24,69	38,00	-1	697,08	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 20:10	2280,62	1700,74	579,88	28,78	28,78	36,47	-1	579,88	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 20:20	2300,08	1709,57	590,51	28,78	28,78	36,47	-1	590,51	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 20:30	2347,89	1714,12	633,77	28,78	28,78	36,47	-1	633,77	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 20:40	2358,62	1721,94	636,68	28,78	28,78	36,47	-1	636,68	0,00	0,00	0,00	0,00000

27/03/2016 20:50	2306,96	1726,84	580,12	28,78	28,78	36,47	-1	580,12	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 21:00	2118,26	1735,39	382,87	28,78	28,78	36,47	-1	382,87	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 21:10	1908,52	1748,48	160,04	26,40	0,02	26,40	1	0,00	160,04	0,00	160,04	4,22192
27/03/2016 21:20	1896,27	1750,28	145,99	26,40	0,02	26,40	1	0,00	145,99	0,00	145,99	3,85123
27/03/2016 21:30	2006,34	1715,13	291,21	26,40	0,02	26,40	1	0,00	291,21	0,00	291,21	7,68213
27/03/2016 21:40	2174,65	1699,86	474,79	26,40	0,02	26,40	1	0,00	474,79	0,00	474,79	12,52503
27/03/2016 21:50	2160,40	1655,54	504,86	26,40	0,02	26,40	1	0,00	504,86	0,00	504,86	13,31819
27/03/2016 22:00	2045,97	1621,80	424,17	26,40	0,02	26,40	1	0,00	424,17	0,00	424,17	11,18966
27/03/2016 22:10	2052,13	1603,44	448,69	19,00	19,00	22,30	-1	448,69	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 22:20	2123,67	1588,98	534,69	19,00	19,00	22,30	-1	534,69	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 22:30	2045,62	1576,67	468,95	19,00	19,00	22,30	-1	468,95	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 22:40	2106,46	1559,11	547,35	19,00	19,00	22,30	-1	547,35	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 22:50	2096,93	1560,26	536,67	19,00	19,00	22,30	-1	536,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 23:00	2247,72	1565,84	681,88	19,00	19,00	22,30	-1	681,88	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 23:10	2224,48	1568,88	655,60	12,88	12,88	35,40	-1	655,60	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 23:20	2220,37	1562,23	658,14	12,88	12,88	35,40	-1	658,14	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 23:30	2179,80	1559,46	620,34	12,88	12,88	35,40	-1	620,34	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 23:40	2183,44	1556,77	626,67	12,88	12,88	35,40	-1	626,67	0,00	0,00	0,00	0,00000
27/03/2016 23:50	2094,97	1550,59	544,38	12,88	12,88	35,40	-1	544,38	0,00	0,00	0,00	0,00000
28/03/2016 0:00	2116,57	1542,79	573,78	12,88	12,88	35,40	-1	573,78	0,00	0,00	0,00	0,00000
TOTAL	931.062,16	924.266,96	6.795,20	---	---	---	---	100.304,6	159.623,3	79.134,5	80.488,8	1.899,02
MEDIA	---	---	---	27,01	20,00	31,21	---	---	---	---	---	---

Bibliografía de Referencia

- [1]: ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA, “Revista Eólica’15 (Anuario 2015)”, Asociación Empresarial Eólica, 2016.
- [2]: CONSEJERIA DE EDUCACIÓN, “La Energía Eólica en España y Andalucía: Situación y Perspectivas”, Junta de Andalucía, 2005.
- [3]: ¿Qué es la energía eólica? [En línea].
Disponible en: <http://www.energias.bienescomunes.org/>
- [4]: Periódico digital sobre energías renovables.
Disponible en: <http://www.erenovable.com/>
- [5]: Tienda virtual de energías renovables “Sol I Vent”.
Disponible en: <http://http://www.sol-i-vent.es/>
- [6]: Red Eléctrica España [En línea].
Disponible en: <http://www.ree.es/es/>
- [7]: Asociación Empresarial Eólica [En línea].
Disponible en: <http://www.aeeolica.org/es/>
- [8]: Global Wind Energy Council [En línea].
Disponible en: <http://www.gwec.net/>
- [9]: Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. BOE nº 310, de 27 de diciembre 2013, páginas 105198 a 105294, Referencia: BOE-A-2013-13645. [En línea].
Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-13645/
- [10]: Real Decreto-Ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico. BOE nº 312, de 24 de diciembre 2010, páginas 106386 a 106394, Referencia: BOE-A-2010-19757. [En línea].
Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-19757
- [11]: Real Decreto-ley 1/2012, de 27 enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. BOE nº 24, de 28 de enero 2012, páginas 8068 a 8072, Referencia: BOE-A- 2012-1310. [En línea].

Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-1310>
- [12]: Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. BOE nº 167, de 13 julio 2013, páginas 52106 a 52147, Referencia: BOE-A-2013-7705. [En línea].
Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-7705
- [13]: Resolución de 23 de diciembre de 2015, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se aprueban las Reglas de funcionamiento de los mercados diario e intradiario de producción de energía eléctrica. BOE nº 312, de 30 diciembre 2015, páginas 123280 a 123398, Referencia: BOE-A-2015-14278. [En línea].
Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-14278
- [14]: El Mercado Mayorista. Energía y Sociedad. [En línea].
Disponible en: <http://www.energiaysociedad.es/ficha/el-mercado-mayorista/>

- [15]: Operador del Mercado Ibérico de Energía [En línea].
Disponible en: <http://www.omie.es/>
- [16]: Operación del Sistema Eléctrico. Red Eléctrica España [En línea].
Disponible: <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico>
- [17]: Resolución de 18 de diciembre de 2015, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se establecen los criterios para participar en los servicios de ajuste del sistema y se aprueban determinados procedimientos de pruebas y procedimientos de operación para su adaptación al Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. BOE nº 303, de 19 diciembre 2015, páginas 119723 a 119944, Referencia: BOE-A- 2015-13875. [En línea].
Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-13875
- [18]: ESPEJO GONZÁLEZ, RAFAEL. “Mejora de la operación de plantas eólicas mediante instalación de dispositivos de almacenamiento o turbinas adicionales”, Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, 2014.
- [19]: Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. BOE nº 126, de 26 mayo 2007, páginas 22846 a 22886, Referencia: BOE-A-2007-10556. [En línea].
Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-10556>
- [20]: Real Decreto 1110/2007, de 24 agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. BOE nº 224, 24 agosto 2007, páginas 37860 a 37875, Referencia: BOE-A- 2007-16478. [En línea].
Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-16478
- [21]: Parque Eólico Experimental Sotavento [En línea].
Disponible en: <http://www.sotaventogalicia.com/>
- [22]: VÉLEZ MORENO, SAMUEL. “Estudio de un Sistema de Almacenamiento de Energía Eólica por Medio de Baterías”, Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 2012.
- [23]: GALLEGO MARTÍN, JOSÉ ANTONIO. “Sistemas de Acumulación de Energía Eléctrica para Centrales de Generación Hidráulicas Fluyentes”, Trabajo Fin de Máster, Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, 2014.
- [24]: Teoría Básica de Baterías [En línea].
Disponible en: http://rvalero.webcindario.com/Teoria_B%C3%A1sica.php/
- [25]: Conceptos Básicos de Baterías [En línea].
Disponible en: <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/baterias.html>
- [26]: Gaston Narada, aspectos técnicos de las baterías de Ión-Litio [En línea].
Disponible en: <http://www.gaston-lithium.com/tech-certificates.html>
- [27]: Proyecto Almacena. Red Eléctrica España [En línea].
Disponible: <http://www.ree.es/es/red21/idi/proyectos-idi/proyecto-almacena/>
- [28]: Baterías de Plomo Ácido: Principio Funcionamiento [En línea].
Disponible en: ayudaelectronica.com/baterias-de-plomo-acido-principio-de-funcionamiento

- [29]: Conceptos de Electrotecnia para Aplicaciones Industriales [En línea].
Disponible: http://www.sapiensman.com/electrotecnia/pilas_y_baterias1.htm
- [30]: Windpower Engineering & Development [En línea].
Disponible en: <http://www.windpowerengineering.com/>
- [31]: The Member journal of Minerals, Metals and Materials Society [En línea].
Disponible en: <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/jomhome.aspx>
- [32]: Sodium Sulfur High Power Battery [En línea].
Disponible en: www.twinkletoesengineering.info/battery.htm
- [33]: Foro de Ciencias Aplicadas y Experimentación [En línea].
Disponible en: <http://cienciaexperimental.foroactivo.com/>
- [34]: EELO Solutions [En línea].
Disponible en: <http://www.eelo.ca/>
- [35]: CONSEJERIA EDUCACIÓN, “La Energía Eólica en España y Andalucía: Situación y Perspectivas”, Junta de Andalucía, 2005.
- [36]: Redacción, (16/Febrero/2016). “Jofemar Energy sacará a la venta su batería de Zinc-Bromo en 2018”. El Periódico de la Energía. [En línea].
Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/jofemar-energy-sacara-a-la-venta-su-bateria-de-zinc-bromo-en-2018>
- [37]: Sistema de Información del Operador del Sistema [En línea].
Disponible en: <https://www.esios.ree.es/>
- [38]: Valdés Verde, Alfredo; Cruz Rodríguez Roberto Carlos; Roque Rodríguez, Alfredo; “Evaluación del pronóstico de viento del modelo Weather Research Forecast en torres de prospección eólica”, Revista Cubana de Meteorología, Vol. 21, nº 2, Julio-Diciembre, páginas 16-28, 2015. [En línea].
Disponible en: <http://www.met.inf.cu/contenido/biblioteca/revistas/2015/n2/02.pdf>
- [39]: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC); “Resultados del Mercado de Producción de Energía Eléctrica. [En línea].
Disponible en: <http://www.cnmc.es/es-es/energia/energíaeléctrica/mercadomayorista.aspx>
- [40]: Álvarez Jiménez, José Carlos; “Tabla de Actualización del Dinero CV1E”, Estudio de la Evolución del Precio del Dinero desde 1990, formato EXCEL. [En línea].
Disponible en: <http://www.cuantovaleuneuro.es/>
- [41]: CITI; “Investment Themes in 2015: Dealing with Divergence”, Citi GPS: Global Perspectives & Solutions, Enero 2015, formato PDF. [En línea].
Disponible en: <https://ir.citi.com/20AykGw9ptuHn0MbsxZVgmFyyppuQUUt3HVhTrcz4ibR%2Bx79LajBxIyoHIoSDJ3S%2BWRSMg8Woc%3D>
- [42]: RAMEZ NAAM; “How cheap can energy storage get?”, Ramez Naam Blog, Octubre 2015. [En línea].
Disponible en: <https://rameznaam.com/2015/10/14/how-cheap-can-energy-storage-get/>