

# OPTIMIZACIÓN CONJUNTA DEL BOMBEO Y DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL CONTEXTO DEL MERCADO ELÉCTRICO

**Autora: Matres Santos, Luz.**

Directores: García González, Javier.

Moraga Ruiz de la Muela, Rocío.

Entidad Colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este proyecto fin de carrera estudia la optimización conjunta de la energía hidráulica asociada al equipo de bombeo puro y la energía eólica en el contexto del Mercado Eléctrico. La entrada en vigor del RD436/2004 que permite a los parques eólicos acudir si lo desean al mercado a vender la energía de sus instalaciones, unido al impulso que en toda Europa se está dando a las energías renovables a causa de los problemas ambientales y los compromisos adoptados en Kyoto, motivan la realización de este estudio.

En primer lugar, debido al importante efecto que presenta la dependencia del recurso eólico sobre la posibilidad de ofertar al Mercado Mayorista, este proyecto desarrolla una metodología para optimizar las ofertas que presentan los productores eólicos que acuden al Mercado Eléctrico suponiendo que disponen de recursos de turbinación-bombeo para gestionar los posibles desvíos entre la cantidad ofertada y la generación finalmente vertida a la red.

Se estudian tres configuraciones. En la primera de ellas el parque eólico y la central de bombeo operan de forma independiente. Esta configuración servirá de referencia para posteriores comparaciones con los dos modelos de operación conjunta. En estos dos modelos el parque eólico aprovecha la gestión temporal de la energía que puede realizar la central de bombeo y que es una cualidad específica de estas instalaciones para

minimizar sus desvíos. De esta manera, en aquellas horas en las que la producción eólica supere la ofertada, es decir se disponga de un exceso de energía, este exceso será utilizado para almacenar energía bombeando agua desde un embalse inferior a otro superior. Posteriormente en aquellos períodos de déficit de producción respecto a la cantidad vendida en el mercado se podrá suplir dicho defecto de energía turbinando agua desde el embalse superior al inferior.

Los dos modelos de operación conjunta que analiza este proyecto difieren en la posibilidad de comprar energía al Mercado Diario. En ambos se considera a la central de bombeo y el parque eólico como una sola entidad, de tal forma que se ofertaría al mercado conjuntamente la producción eólica e hidráulica e internamente los excesos de producción serían utilizados para compensar el mencionado déficit de producción. En el primer modelo de operación conjunta se permite comprar energía en el mercado, limitando la oferta de compra a lo que la central puede bombear y en el segundo modelo la única oferta que se admite es de venta. Por tanto en este último caso la central únicamente podrá abastecerse del parque eólico para poder operar.

En este proyecto se muestra cómo efectivamente este tratamiento permite una explotación más eficiente de los parques eólicos ya que, al disponer de cierta capacidad de almacenamiento, es posible optimizar la producción conjunta, almacenando energía en horas de valle para luego generarla en horas de punta donde, los precios son más altos al haber una mayor demanda de energía.

La metodología desarrollada se aplica a un parque eólico de 30 MW y a una central de bombeo de 10 MW y se obtienen resultados acerca de los desvíos generados en cada una de las tres estrategias o configuraciones descritas, así como de los beneficios y las penalizaciones por los desvíos mencionados en el día de operación que se analizará.

En segundo lugar, y con el objetivo de limitar el riesgo de la producción eólica, se investiga qué cobertura de un parque eólico se consigue con una central de bombeo determinada. Se analizan los beneficios obtenidos y las penalizaciones por desvíos en las que incurre el parque anterior cuando opera con centrales de bombeo cuyo rango de potencia varía entre 5 y 30 MW. Como resultado de este punto se logra conocer qué dimensiones de embalses y qué potencia ha de tener la turbina-bomba para dar una

mayor cobertura, en términos de reducción de la penalización por desvíos, al parque que se propone como caso ejemplo.

Finalmente se obtienen conclusiones sobre todos los aspectos de este estudio.

## JOINT OPTIMIZATION OF WIND AND WATERPOWER IN THE NATIONAL ELECTRICITY MARKET FRAMEWORK

This final year project focuses on the joint optimization of wind and waterpower in the National Electricity Market framework. The Spanish new provisions and regulations (RD436/2004) coming into effect, that allow wind farms to go to the market to sell the energy generated by their facilities, combined with the major boost that Europe is giving to the renewable energy sector, due of environmental problems and Kyoto commitments, are the main aims for this Study.

First of all, facing the problem of the unpredictability of the wind farms production, the Study develops a methodology to improve the offers made by the wind power production companies when selling their production to the Wholesale Electricity Market, assuming that these companies have enough means of turbine-based pumping in order to manage possible deflections between the offered amount and the final generation injected to the network.

In this thesis, three models have been studied. In the first one the wind farm and the pumping station works in an independent way. This configuration will be used as a reference to subsequent benchmarking with the other two models of combined work. In these two other models, the wind farm takes advantage of the pumping station energy management capacity over time in order to minimize their deflections. By this way, in the hours in which the wind power production exceeds the offered production, that is, a surplus of energy is available. This surplus will be used to store energy by the water pumping from a lower reservoir to an upper one. Afterwards, in the production deficit periods, regarding the amount of energy sold to the market, the production deficit will be corrected by the water released from the upper reservoir to the lower one.

The two combined work models analyzed in this thesis defer in the way that both the wind farm and the pumping station are allowed to sell their production and buy energy from the daily market.. In both cases, the pumping station and the wind farm are

considered as the same entity, so the wind and waterpower productions are sold jointly, and the surplus of production will be used to compensate the deficit of production, mentioned before. In the first model of combined work, the energy purchase in the market is allowed, restricting the purchase offer to the station pumping capability. Though, in the second model the only selling offers are allowed. Therefore, in this case, only the wind farm can supply the pumping station.

In this thesis it is shown how the last method enables a more efficient operation of wind farms because it optimizes their production, in the sense that the energy storage is possible in certain moments of low demand, so that it can be generated in peak demand, where the prices are higher because of the higher demand of energy.

The methodology developed is applied to a 30 MW wind farm and to a 10 MW pumping station, and the results of the generated deviation are obtained for each of the three strategies or configurations described before. Furthermore, the benefits and the penalties due to these deviations are obtained, in a specific day.

Additionally, focussing in wind power production minimising risks, a special analysis is made to obtain the hedging of a wind power production park by a specific pumping station. A benchmarking on benefits obtained vs possible penalties, based on a specific wind farm and the use of pumping station in the range 5 –30 MW is done. The expected results from the study are the reservoir sizing and the right pumping capacity to minimize possible penalties, all related to the specific wind farm considered. This approach will ensure a lower and upper limit for penalties, as well as benefits expected, for a specific day, in a probability range.

The overall model aims to optimize the power plant, wind farm and pumping-reservoir system, in order to maximize the market incomes while minimizing the production deflections. This model has been formulated as a linear programming optimization problem. For the software development, a commercial software tool has been used: “CPLEX Optimizer”, as well as “GAMS” software development environment. Matlab is used as a visual interface. For Information interchange between Matlab and GAMS MatGams (“Matlab and Gams: Interfacing Optimization and visualization Software”) has been used.

The final year project ends with final conclusions and the executive report.

