

Estado del arte del proyecto: “Desarrollo de la primera turbina eólica offshore en Colombia: Prefactibilidad y Diseño.”

Autores: Cabello Eras Juan José - Sagastume Gutiérrez Alexis - Ospino Castro Adalberto José.

Resumen:

El presente proyecto generará conocimiento para el desarrollo la tecnología de extracción de energía eólica marina, conocida en inglés como Offshore Wind Energy (OWE) a través de turbinas eólicas instaladas en el mar. En el océano la velocidad del viento es mayor y más estable con respecto al viento continental, debido a que la rugosidad de la superficie del mar es mucho menor. Entonces, el potencial de generación de energía eléctrica en parques eólicos marinos es superior y de mayor confiabilidad con respecto a los parques eólicos tradicionales. Los aportes de investigación del presente proyecto permitirán elaborar los diseños de la primera turbina eólica offshore capaz de operar en aguas marinas del departamento del Atlántico, zona en la cual se presentar el mayor potencial eólico costero y offshore de Colombia (IDEAM, 2017). Además, se efectuará el análisis del ciclo de vida y se analizarán los costos constructivos y operacionales actuales de la tecnología Ema orientados a la generación de conocimiento, y al fortalecimiento de la capacidad técnica nacional. Para el diseño se analizará el comportamiento hidro-aero-mecánica y estructural de la turbina ante diversos escenarios climáticos, a través de modelación física en laboratorio y modelación numérica computacional. Esta propuesta toma como base los resultados de investigación de la primera tesis doctoral sobre turbinas eólicas offshore en Colombia. Los resultados de la investigación permitirán fijar un importante precedente para que el Estado oriente recursos y apoyo administrativo para el desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a la consecución de recursos energéticos marinos costeros de alto potencial eólico energético.

Marco teórico:

A la fecha en Colombia se han realizado investigaciones para conocer con más detalle el potencial de sus energías renovables, principalmente las asociadas a oleaje, mareas, corrientes, viento y gradientes termohalinos. En 2014 se realizó una investigación sobre el potencial de las aguas marítimas de Colombia para generar electricidad a través de la tecnología OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion). OTEC se fundamenta en el principio del ciclo de Rankine, donde en un sistema cíclico de circulación, se extrae agua cálida superficial y agua fría del fondo para impulsar turbinas generadoras de energía. La investigación concluyó que la isla de San Andrés es ideal para implementar la tecnología propuesta (Devis-Morales A, Montoya-Sánchez R, Osorio A, 2014). En el año 2010 Ortega presentó una investigación sobre las posibles tecnologías de aprovechamiento de energía de oleaje (S. Ortega, 2010). El sitio de estudio fue la Isla Fuerte cercana a la costa del departamento de Córdoba en Colombia. Las conclusiones de la investigación recomendaron a modo de pre-factibilidad la tecnología Seabased Wave Energy Converter debido a que puede trabajar en aguas muy someras, a la simplicidad de sus componentes y por el mecanismo de generación de energía. Los resultados finales de la investigación indicaron

que, para Isla Fuerte, la disponibilidad de energía de oleaje es poca para suplir los costos de construcción y mantenimiento. Si bien los resultados de la investigación son concluyentes desde el punto de vista de disponibilidad energética, la falta de información disponible sobre las especificaciones técnicas del equipo generador y de información in situ de oleaje limitaron establecer en la investigación recomendaciones o estrategias de factibilidad de proyectos de aprovechamiento energético para la zona de estudio. Los investigadores Alvarez-Silva y Osorio (Alvarez-Silva O, Osorio A, 2015) publicaron resultados de investigación sobre el potencial de extracción de energía renovable a través de gradiente salino en Colombia. Los resultados indicaron que el potencial en la desembocadura del río Magdalena es de 15,157 MW, y del río León es de 187 MW, siendo ambos puntos estables para una confiable extracción del recurso. En el 2011 Realpe-Jiménez et al. (Realpe-Jiménez A, Diazgranados J, Acevedo-Morantes M, 2011), efectuaron una evaluación del potencial de energía eólica en islas de Colombia. Mediante modelación numérica, estimaron que el mayor potencial de energía eólica se registró en la Isla de San Andrés, con 5,106 MWh/año a 70 m de altitud. En el 2016 se llevó a cabo una investigación sobre la estimación de los potenciales de energía marina disponible en diferentes fuentes en Colombia (Osorio A, Ortega S, Arango-Aramburo S, 2016). Los investigadores calcularon el potencial de energía a partir de las corrientes, el oleaje, las mareas y los gradientes térmicos y salinos. Los resultados del estudio mencionan que según la fuente de energía, existen diversos puntos o zonas distribuidas en Colombia. Para la costa Caribe colombiana, se proponen cinco puntos para aprovechamiento de gradiente salino y uno para oleaje; en cercanías a la Isla de San Andrés, se señala un punto para la extracción de energía a partir de gradiente térmico. Para la costa del Pacífico colombiano, se recomiendan tres puntos para extracción a partir de oleaje y tres puntos para mareas. Los trabajos de investigación citados han presentado información relevante del potencial de energía marina renovable en Colombia, principalmente de las corrientes, el oleaje, las mareas y los gradientes termohalinos. En estos estudios se recomienda profundizar en la disponibilidad y calidad de estas fuentes, así como en la viabilidad técnica y económica de la extracción de los mismos. Sin embargo, no se tiene una información pública actualizada del potencial de energía eólica offshore para zonas específicas ni la factibilidad técnica ni económica para las actividades de instalación, extracción y operación de parques eólicos en las aguas marítimas colombianas. La reducción de la disponibilidad de energía hidroeléctrica que generó el fenómeno del Niño en Colombia en el periodo 2015-2016, y los altos costos de los hidrocarburos del momento, llevaron al país al borde de una crisis energética (Publicaciones Semana S.A, 2015). Lo anterior ha motivado a incrementar la oferta de energía interna. Las iniciativas para el aprovechamiento de energía renovable en Colombia se evidencian en las recientes decisiones tomadas por el sector público y privado, respaldadas por proyectos orientados a determinar el potencial energético de diversas fuentes renovables. La energía eólica offshore presenta una mayor disponibilidad y calidad con respecto a la energía eólica onshore, lo que ha motivado a diversos países de Europa a desarrollar proyectos de ingeniería desde hace una década. La exitosa ejecución de proyectos de ingeniería offshore en el sector de la energía eólica, requiere de políticas públicas que motiven y respalden al sector privado para iniciar con proyectos piloto, que a futuro serán parques o granjas eólicas eficientes y rentables. Considerando lo anterior, se requiere de personal formado en diversos niveles y áreas del conocimiento, para que estos proyectos puedan ser logrados. A la fecha, Colombia no posee profesionales formados específicamente en ingeniería offshore, por lo que es necesario que el Estado promueva y fortalezca programas académicos, de investigación y desarrollo que conduzcan a la formación de

personal especializado, y a través de ellos se puedan tomar decisiones que respalden la realización de proyectos de extracción de energía offshore.

Estado del arte:

Como resultado del alto potencial que existe para la extracción de energía eólica offshore, varios países principalmente de Europa tomaron la decisión de realizar consultas técnicas y económicas para analizar definir la factibilidad de extracción y distribución de esta energía renovable en sus países. Irlanda en el año 2002 decidió establecer los costos y beneficios que generaría la extracción de energía eólica offshore (OWE, Offshore Wind Energy) a través de un estudio de consultoría. El estudio evidenció las barreras y las limitaciones financieras y políticas en las que se encontraba en ese momento el Estado, como también la oportunidad de evitar la emisión anual de 2400 Ton de CO₂ y la importación de combustible fósil hasta por 100,000 euros si se implementaban las tecnologías OWE. Por último, el informe recomienda que se estructure y lleve a cabo un programa piloto o demostrativo. Este piloto mejoraría la confianza en el mercado energético y de esta manera motivaría a inversionistas, acreedores financieros y desarrolladores de tecnología para apalancar el desarrollo de las OWE en Irlanda (Irish Energy Centre, 2002). En el 2012 se estimó para las zonas marinas europeas del norte, una capacidad instalada de 4 GW de producción de energía eólica offshore, y se proyectó para 2020 incrementar la capacidad a 40 GW con posibilidad de aumentar a 150 GW a 2030. Las proyecciones de capacidad instalada a 2020 para las tecnologías de energía proveniente de las mareas y las olas, son de 2GW de producción, lo que demuestra el creciente interés de la Unión Europea en incentivar la industria de energía eólica offshore (MERMAID project, 2012). La Unión Europea durante el periodo 2012-2016 llevó a cabo el proyecto MERMAID, el cual tiene como objetivo principal desarrollar la siguiente generación de plataformas offshore multipropósito (extracción de energía marina renovable y acuicultura). El proyecto está integrado por 11 universidades, 8 centros de investigación, 5 grandes empresas y 4 pequeñas y medianas empresas (PYMES). Es posible mencionar otros proyectos de ingeniería offshore los cuales han tenido relación con MERMAID y son: SI OCEAN, MARINET, SOWFIA, TROPOS, H2OCEAN, DEMOWFLOAT, MARINA platform, HiPRWind Project, UPWIND Project, PolyWEC project, ORECCA, SAFEWIND, 7MW-WEC-BY-11, NORSEWIND, PROTEST, RELIAWIND, TOPFARM, WAVEPORT, SEANERGY 2020 (MERMAID project, 2012). España, Francia y Portugal aún no han implementado la tecnología OWE debido a que las aguas oceánicas con profundidades menores a 50 m son pocas en relación a los mares Bálticos y del Norte. Por lo anterior se requieren turbinas flotantes que aún se encuentran en desarrollo e investigación, con algunos prototipos en prueba. En España no existen políticas energéticas que brinden un marco de regulación estable que proteja los intereses de los inversionistas, conduciendo a que no exista un interés en desarrollar la tecnología OWE (Colmenar-Santos A, Perera-Perez J, Borge-Diez D, dePalacio-Rodríguez C, 2016). Por el contrario, el sindicato de energías renovables en Francia apunta a generar 15 GW en 2030 utilizando turbinas de viento marinas. Este objetivo tiene en cuenta del potencial eólico del país, la voluntad política de implementar energías propias, así como de las oportunidades de desarrollo de la filial industrial. Este estudio también resalta algunos aspectos necesarios para

alcanzar el objetivo como la necesidad de reorientar la investigación, innovación, industria y educación para impulsar el desarrollo de las OWE El Gobierno francés se comprometió con Europa, a producir 6000 MW de energía eólica offshore a partir del año 2020. A 2013 Francia logró producir 3000 MW de energía, y según la revisión de las proyecciones, la expectativa de producción no se cumpliría a 2020. Por lo anterior, Francia decidió ampliar el año de cumplimiento de la meta a 2030, incrementar la producción a 15,000 MW y crear 30000 puestos de trabajo (Sindicat des énergies renouvelables, 2013). Con respecto a Turquía, este país presenta un crecimiento del 8% anual en la demanda de energía eléctrica, y por ello ha importado el 72% de fuentes de energía para atender ese requerimiento. Si bien el potencial de energía es de 48,000 MW, la capacidad instalada para el aprovechamiento a 2014 es de 2,959 MW (Kaplan Y, 2015). Se ha identificado que la complejidad y lentitud de los procesos administrativos gubernamentales, han limitado el desarrollo de la energía eólica en Turquía. Sin embargo, la Asociación de Energía Eólica Turca se propuso en 2013, producir 5 GW al año 2020 mediante el mejoramiento de la red energética nacional (GWEC, 2013). Latinoamérica y el Caribe poseen la mayor extensión y variedad de fuentes de energía renovable en el mundo donde, con excepción de la energía hidroeléctrica, las otras fuentes de energía no han alcanzado un desarrollo importante de extracción. El potencial que posee la región para la generación de energía eléctrica de fuentes renovables se estima que es superior a los 78,000 TW.h (Flavin C, Gonzalez M, Majano A, Ochs A, Rocha Oliveira M, Tagwerker P, 2014). En el estudio realizado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) adscrita al Ministerio de Minas y Energía de Colombia (MinMinas), para la integración de energías renovables no convencionales en Colombia, se encontró que Perú, Panamá, Chile, México y Brasil cuentan hoy con capacidades eólicas instaladas o cerca de ser comisionadas (a 2014) de 148 MW, 220 MW, 836 MW, 2.3 GW, y 5.9 GW, respectivamente, y que en el caso de Colombia solo se cuenta con 19.5 MW los cuales no se han incrementado desde el año 2003 (UPME - MinMinas, 2015).

Bibliografía:

Alvarez-Silva O, Osorio A. (2015). Salinity gradient energy potential in Colombia considering site specific. *Renewable*

Energy(74), 737-748.

American Petroleum Institute. (2007). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore*

Platforms—Working Stress Design

Arvesen A, Nes R, Huertas-Hernando D, Hertwich E. (2014). Life cycle assessment of an offshore grid interconnecting

wind farms and customers across the North Sea. *Int J Life Cycle Assess*, 19, 826-837.

doi:DOI 10.1007/s11367-014-

0709-2

Colmenar-Santos A, Perera-Perez J, Borge-Diez D, dePalacio-Rodríguez C. (2016).

Offshore wind energy: A review of

the current status, challenges and future development in Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 64, 1-18.

Contreras J, Rodríguez J. (2016). Incentives for wind power investment in Colombia.

Renewable Energy(87), 279- 288.

Desholm M, Petersen I, Kahlert J, Clausager I. (2003). Base-line investigations of birds in relation to an offshore wind

farm at Rødsand. National Environmental Research Institute

Det Norske Veritas AS . (2014). *Offshore Standard DNV-OS-J101*.

Devis-Morales A, Montoya-Sánchez R, Osorio A. (2014). Ocean thermal energy resources in Colombia. *Renewable*

Energy(66), 759-769.

DONG Energy. (2016). DONG Energy. Recuperado el 27 de 09 de 2016, de

<http://www.dongenergy.co.uk/news/pressreleases/articles/worlds-largest-ever-offshore-wind-farm-to-be-built-by-dong-energy>

Gemini. (2016). Gemini Offshore Wind Park. Recuperado el 27 de 09 de 2016, de http://geminiwindfarm.com/e_home.html#n2

Gimenez-Alvarez J, Gómez-Targarona J. (2011). Generación eólica empleando distintos tipos de generadores

considerando su impacto en el sistema de potencia. *Dyna*, 78(169), 95-104.

Gimenez-Alvarez J, Schweickardt G, Gómez-Targarona J. (2012). An overview of wind energy, taking into

consideration several important issues including and analysis of regulatory requirements for the connection of wind

generation into the power system. *Dyna*, 79(172), 108-117.

GWEC. (2013). Global wind 2012 report.

IDEAM. (2017). Wind atlas of Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado el

08 de 07 de 2017, de <http://www.ideam.gov.co/>

Ioannou, A., Angus, A., & Brennan, F. (2018). A lifecycle techno-economic model of offshore wind energy for different

entry and exit instances. *Applied Energy*, 221, 406–424.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.143>

Ingemansson Technology AB. (2003). Measurements of underwater noise. Göteborg.

Byrne Ó Cléirigh for the Sustainable Energy Authority of Ireland. Jacobsen V, Rugbjerg M. (s.f.). Offshore wind farms -

the need of MetOcean data. OPENHAGEN OFFSHORE WIND CONFERENCE 2005.

Kaplan Y. (2015). Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 562-568.

LORC. (2016). LORC. Recuperado el 27 de 09 de 2016, de [http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/londonarray- 1](http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/londonarray-1)

MERMAID project. (2012). EU-FP7 funded projects selected for funding in response to Ocean 2011 on multi-use

offshore platforms (FP7-OCEAN.2011-1 "Multi-use offshore platforms"). Obtenido de Innovative Multi-purpose offshore platforms: planning, design and operation: www.mermaidproject.eu

Metoc Plc. (2000). An assessment of the environmental effects of offshore wind farms. London: Crown UK.

Oerlemans S, Fisher M, Maeder T, Kögler K. (2008). Reduction of wind turbine noise using optimized airfoils and

trailing-edge serrations. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Osorio A, Ortega S, Arango-Aramburo S. (2016). Assessment of the marine power potential in Colombia. Renewable

and Sustainable Energy Reviews(53), 966–977.

Pérez E, Osorio J. (2002). Energía, pobreza y deterioro ecológico en Colombia: introducción a las energías alternativas.

Medellín: Estrategias y Desarrollo.

Perveen R, Kishor N, Mohanty S. (2014). Off-shore wind farm development: Present status and challenges. Renewable

and Sustainable Energy Reviews , 29 (2014) 780–792(29), 780-792.

Publicaciones Semana S.A. (28 de 10 de 2015). revista Dinero. Recuperado el 28 de 09 de 2016, de

<http://www.dinero.com/edicion-impresa/caratula/articulo/raconamiento-energia-colombia-fenomeno-elnino/215309>

Punch J, James R, Pabst D. (2010). Wind-turbine noise: what audiologists should know. Audiology Today, 8, 20–31.

Qin, C., Saunders, G., & Loth, E. (2017). Offshore wind energy storage concept for cost-of-rated-power savings.

Applied Energy, 201, 148–157. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2017.04.077>

Realpe-Jiménez A, Diazgranados J, Acevedo-Morantes M. (2011). Electricity generation and wind potential assessment

in regions of Colombia. *Dyna*, 79(171), 116-122.

Rueda-Bayona J.G. (2015). Caracterización hidromecánica de plataformas marinas en aguas intermedias sometidas a

cargas de oleaje y corriente mediante modelación numérica. Tesis de Maestría. Medellín: Universidad Nacional de

Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/51907/1/72357502.2015.pdf>

Rueda-Bayona, J.G. (2017). Identificación de la Influencia de las Variaciones Convectivas en la Generación de Cargas

Transitorias y su Efecto Hidromecánico en las Estructuras Offshore. Barranquilla: Universidad del Norte

S. Ortega. (2010). Estudio de aprovechamiento de la energía del oleaje en Isla Fuerte (Caribe Colombiano). Medellín:

Universidad Nacional sede Medellín.

Shafiee M. (2015). Maintenance logistics organization for offshore wind energy: Current progress and future

perspectives. *Renewable Energy* , 77, 182-193

Siemens. (2009). EWEA. Recuperado el 11 de 03 de 2018, de

http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics/OperationalOffshoreFarms2009.pdf Sindicat des

énergies renouvelables. (2013). Feuille de Route pour l'éolien en mer. Recuperado el 07 de 02 de 2017,

Smith K, Christie N, Burdon D, Atkins J, Barnes R, Elliot M. (2015). Renewables-to-reefs? – Decommissioning options

for the offshore wind power industry. *Marine Pollution Bulletin* , 90, 247–258.

Son E, Kim H, Choi W, Lee S. (2010). Integrated numerical method for the prediction wind turbine noise and the long

range propagation. *Current Applied Physics*(10(2):S316–9).

The World Bank. (2010). Review of policy framework for increased reliance on wind energy in Colombia. Sustainable

Development Department - Latin America and Caribbean Region

Torrance EP, Goff K. (2009). A quiet revolution. *Engineering and Technology*, 7, 10-44.

UPME - MinMinas. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. UPME - MinMinas

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Bogotá: La Imprenta Editores S.A.

UPME. (03 de 02 de 2016). Unidad de Planeación Minero Energética. Recuperado el 2016 de 09 de 29, de

http://www.upme.gov.co/Comunicados/2016/Comunicado_UPME_No02-2016.pdf Wind energy defence & civil aviation

interest working group. (2002). *Wind energy and aviation interest - interim guidelines*. London: Crown.

García-León, R., Echavez Díaz, R., & Flórez Solano, E. (2018). Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA 66-209. *INGE CUC*, 14(2), 9-18.

<https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.01>

Nuñez, M., Correa, J., Herrera, G., Gómez, P., Morón, S., & Fonseca, N. (2018). Estudio de percepción sobre energía limpia y auto sostenible. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*, 3(1), 11-15. Recuperado a partir de

<http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/89>

Y. De la Peña, G. Bordeth; H. Campo; & U. Murillo "Clean Energies: An Opportunity to Save the Planet", *IJMSOR*, vol. 3, no. 1, pp. 21-25, 2018. <https://doi.org/10.17981/ijmsor.03.01.04>