

# SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES

## Evaluación geotécnica y estructural de la cimentación de aerogeneradores del parque eólico La Herradura 1

MSc. Yusleydis Cano Ricardo, Dr.C. Nereyda Pupo Sintras, Dr.C Noel Iraola Valdés, Ing. Lilibel Caballo Campos



### 1. INTRODUCCION (OBJETIVOS)

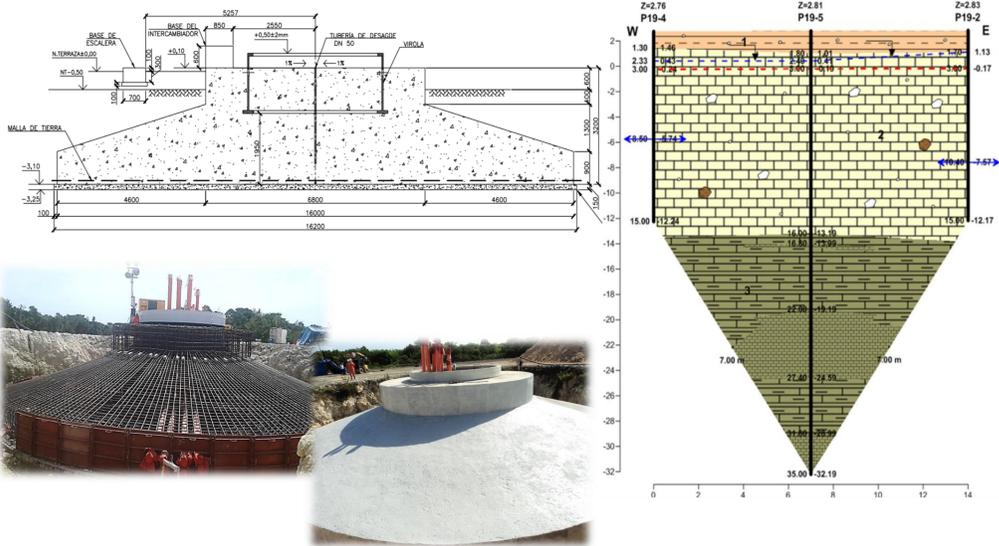
En Cuba, existen en la actualidad 20 aerogeneradores de tecnología onshore, distribuidos en los cuatro parques eólicos existentes: Turiguanó, Los Canarreos, Gibara 1 y Gibara 2. La potencia instalada en conjunto es de 11,7 MW, con lo que la nación se ubica en el puesto 69 a nivel mundial en el empleo de esta fuente de energía limpia (Galbán, 2018). El gobierno tiene en marcha un plan que contempla la construcción de otros 13 parques en la zona nororiental del país, para incrementar la capacidad eólica a 656 MW (Sáez, 2018).



Objetivo de la investigación: evaluar la solución de cimentación de aerogeneradores del parque eólico La Herradura 1 desde el punto de vista geotécnico y estructural para comprobar si es apropiada para zonas costeras.

### 2. METODOLOGIA

En la revisión bibliográfica realizada se valoran criterios de diseño geotécnico y estructural según diferentes normativas internacionales tales como: Eurocode 7 (2007), Det Norske Veritas (DNV) (2002), NBE-AE-88: Acciones en la edificación (1988), EHE-08 Instrucción de hormigón estructural (2010), además del análisis crítico de los enfoques que establecen las normas cubanas vigentes NC1321:2019 (2019) y NC 207:2019 (2019), lo que favorece la revisión de soluciones de cimentaciones en tipologías disímiles.

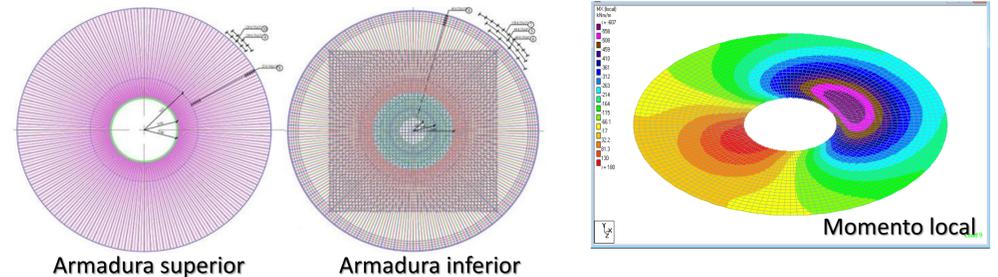


### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calavera Ruiz, J. (2000). Cálculo de estructuras de cimentación (Cuarta ed.). Madrid, España: INTEMAC, SA.
- Canadian Geotechnical Society. (2006). Canadian Foundation Engineering Manual.
- Det Norske Veritas, Copenhagen. (2002). Guidelines for design of wind turbines. 2. Dinamarca: Det Norske Veritas and Risø National Laboratory.
- EHE-08. (2008). Instrucción de Hormigón Estructural, 4. Madrid, España: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica.
- ENIA. (2013). Estudio Ingeniero-Geológico Parque Eólico 51 MW La Herradura I. Plataforma 19. Estudio Ingeniero Geológico, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Unidad de Investigaciones para la Construcción Holguín, Holguín.
- Galbán, N. (22 de enero de 2018). ESPECIAL: Mayor parque eólico de Cuba se construye con tecnología china. Obtenido de [http://spanish.xinhuanet.com/2018-01/22/c\\_136913500.htm](http://spanish.xinhuanet.com/2018-01/22/c_136913500.htm)
- Leiva, V. (2018). Proyecto Parque Eólico Herradura-1.51MW. Memoria descriptiva, INEL Ingeniería.
- NBE-AE-88. (1988). Normativa Española de acciones en la edificación. España.
- NC 1321:2019. (octubre de 2019). Diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, 1. Cuba.
- NC 207: 2019. (abril de 2019). REQUISITOS GENERALES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN, Segunda. Cuba. Recuperado el noviembre de 2020, de [www.nc.cubaindustria.cu](http://www.nc.cubaindustria.cu)
- NC 53-82-01. (2001). Diseño estructural de cimentaciones superficiales. Método de cálculo y diseño, 1.
- Power China Beijing Engineering Corporation Limited. (s.f.). Instrucción general de Turbina de viento Foundation.
- Sáez, D. P. (9 de mayo de 2018). Las Tunas acogerá los dos parques eólicos más grandes de Cuba. Recuperado el 25 de abril de 2020, de CiberCuba: <http://www.cibercuba.com/noticias/2018-05-09-u43231-s27061-aqui-se-levanta-primero-parque-eolico-tunas>
- UNE-ENV 1997-1. (Marzo de 1999). Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Madrid, España: AENOR 1999.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Se observa en el chequeo al vuelco que el método propuesto por NC1321:2019 es el más conservador de todos con una diferencia de 78 %. En el caso del chequeo al deslizamiento las diferencias en por ciento varían muy poco, se justifica por el hecho de haber asumido en todos los casos el mismo criterio con respecto al coeficiente de rozamiento en la base del cimiento sobre roca. En cuanto a la capacidad de carga de la roca la normativa más conservadora es el Eurocode 7 debido al método prescriptivo que emplea para su determinación. El chequeo estructural se realiza a través de la norma española EHE-08 y la cubana NC 207:2019. Al no contar en estas con métodos específicos para resolver la tipología circular, se complejiza el análisis y se precisa del uso de software profesionales como el STAADPro. Se comprueban diferencias entre los momentos resistentes en relación a los actuantes, tanto en el sentido radial como en el circunferencial. Se fundamenta en el hecho de que la capacidad mecánica tanto del acero como del hormigón es notable para la solución en estudio. Los cálculos demuestran que las diferencias entre los momentos resistentes oscilan entre un 8 y un 10 % tanto para un armado como para otro y en dependencia de la normativa empleada, indica que el uso de la malla ortogonal no es necesario estructuralmente pues el armado radial y circunferencial es suficiente para garantizar la resistencia de esta cimentación.



### 4. CONCLUSIONES

La tecnología de aerogeneradores insertados en Cuba en zonas costeras es proclive a la aparición de diversas tipologías de cimentaciones proyectadas por normativas internacionales por lo que es amplia la información técnica sobre el tema, pero no de fácil acceso. Este trabajo es el primer acercamiento a la racionalidad en el diseño de cimentaciones de aerogeneradores, por lo que es un paso importante en este sentido.

Se constata que existen limitaciones con el empleo de las diferentes normativas para abordar el análisis geotécnico de la cimentación circular apoyada sobre roca en zonas costeras. Se exceptúa el caso de la norma cubana NC 1321:2019 que brinda expresiones que permiten abordar directamente este tipo de solución. Se comprueba que la cimentación es estable a través de los chequeos geotécnicos realizados cumpliéndose con un amplio margen derivado de la magnitud considerable de los momentos estabilizantes, aun cuando los efectos horizontales no son despreciables.

En el caso de la revisión estructural, al no contar en las normativas con métodos para resolver la tipología circular, se complejiza el análisis y se precisa del uso de software profesionales. De las comprobaciones realizadas a la cimentación por proyecto, según las normativas analizadas, se verifica que cumple con los criterios a flexión, cortante y punzonamiento con amplio margen, evidenciándose que se está en presencia de un cimiento casi rígido, con una masa elevada de hormigón y acero. Se evidencia que los momentos resistentes exceden por un amplio margen a los actuantes y esto se fundamenta por el hecho de que las áreas de las armaduras radiales y circunferenciales tienen valores cercanos a los mínimos establecidos por flexión y por retracción.

### AGRADECIMIENTOS Y CONTACTO

MSc. Yusleydis Cano Ricardo. E-mail: [yusleydis.cano@reduc.edu.cu](mailto:yusleydis.cano@reduc.edu.cu). Teléfono: +5354096213