

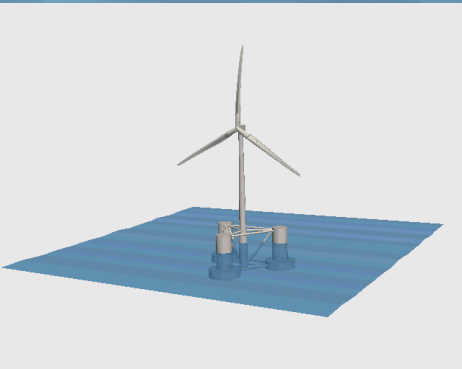


AEROGENERADORES

Aspectos Generales y Puntos para la Discusión

Ernesto Cruz Z., EQCO

Marzo 2019



Aerogeneradores

El “sistema” que nos preocupa consiste de tres componentes principales:

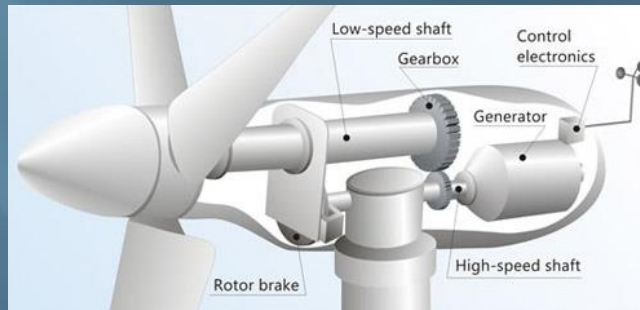
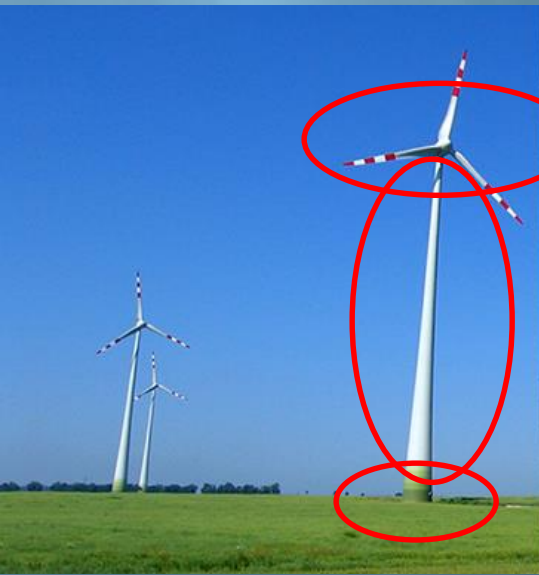
Aerogenerador (equipo)

Torre de Soporte (y anclaje)

Fundación

Ingeniería del
Proveedor del Equipo

Ingeniería del
Contratista Civil



Aerogenerador y Torre de Soporte

El proveedor certifica su equipo con estándares internacionales (asociados a las compañías aseguradoras). DNV (Det Norske Veritas, Noruega) y/o GL (Germanischer Lloyd, Alemania) ahora en un grupo desde Dic 2017. Respecto a calidad, “performance”, y resistencia al efecto del viento.

Estos requisitos establecen que el efecto del sismo se debe tratar “localmente” y queda explícitamente excluido de su evaluación, por lo que tener el “certificado” de estas instituciones NO ES SUFICIENTE.

Normativa Aplicable

- ▣ Depende del tipo de Proyecto: si NO cae en la categoría de Pequeños Medios de Generación Distribuida o PMGD (Potencia Total Instalada en el parque $< 10\text{MW}$) entonces queda cubierto por la Norma Técnica de Calidad y Seguridad de Servicio (NTSyCS) de la CNE.
- ▣ La NTSyCS establece que a menos que haya una norma NCh específica se debe usar la ETG 1020 (de la antigua ENDESA) o normas internacionales aceptadas (*).
- ▣ (*) Esto resulta en un requisito ambiguo ya que en realidad no existen normas internacionales para el tema Sísmico, que sólo es mencionado cómo algo de que preocuparse cuando el sitio está en zona sísmica (p. ej. Norma IEC 61400). Podría servir como referencia ASCE/AWEA RP201, Recommended Practice for Compliance of Large Land-based Wind Turbine Support Structures (basada en práctica profesional EE.UU.).

Normativa Aplicable

- ▣ Aunque uso de ETG 1020 es común entre Empresas Generadoras tradicionales en Chile, para proyectos de parques eólicos hay mucha anarquía, ya que hay muchos otros actores, muchos de ellos Fondos de Inversión y Proveedores y Contratistas extranjeros SIN (o con muy poca) experiencia en Chile.
- ▣ Notar que NCh2369 (2003) y NCh433 (2009) no son aplicables, ya que no incorporan la “tipología estructural” y “filosofía de diseño”. Orientadas a otro tipo de estructuras e instalaciones (edificios).

Comportamiento Sismico

- ▣ Si se considera el sistema completo (aerogenerador, torre soporte y fundación), estudiar el comportamiento requiere usar simultáneamente las ecuaciones que modelan el comportamiento aerodinámico (aspas y góndola) en el flujo de viento y las que modelan el comportamiento dinámico estructural considerando el sismo en la base.
- ▣ El problema es altamente no lineal y los efectos de “inercia” (sismo) interactúan con los efectos aerodinámicos (viento), que aquí es “carga normal o permanente.”

Enfoque Proveedores

- ▣ Fuerzas Sísmicas son mucho menores que Fuerzas de Viento Extremo → El sismo se puede tratar como fuerza estática sobre la Torre de Soporte ...
- ▣ No se hace verificación sísmica de los componentes del equipo (aspas, rotor, caja de engranajes, generador, etc.) ... sólo para solicitaciones mecánicas debido a las condiciones generadas por viento y detención abrupta.
- ▣ En nuestra experiencia esto está OK, pero sólo para equipos no muy grandes. El límite naturalmente depende del diseño, pero podría ser para Chile (ETG), alrededor de 2 a 2.5 MW de potencia y Torre de Soporte de acero. Notar que el tamaño de las aspas puede ser una condición relevante.

Enfoque Proveedores

- ▣ Respecto a la Torre de Soporte:
- ▣ Análisis de Viento, por simulación aerodinámica, considerando diferentes condiciones de viento y posibles ocurrencias de “accidentes”, definiciones en Norma IEC 61400, muchos Design Load Cases (DLC) diferentes.
- ▣ Software dedicado (GH Bladed, FAST, MSC.ADAMS, ...). Normalmente para el diseño civil se entrega sólo envolventes de las cargas máximas en la base.
- ▣ Análisis Sísmico, Modelo de viga simple (o a veces Modelo EF), base fija (o con “resortes de suelo”), y Análisis por Superposición Modal Espectral ...
- ▣ Sismo y Viento son evaluados en forma independiente. Se superponen usando ABS (en Chile) o RMS (en EE.UU.).

Diseño Civil (Fundación)

- ▣ Anclaje ... El diseño del anclaje de la torre de soporte a la fundación es parte del alcance del proveedor. Diferentes configuraciones, desde MUCHOS pernos largos “envainados” hasta inserto de acero de alta resistencia (cilindro con plancha de empuje/retención).
- ▣ Fundación ... Losa de Hormigón Armado de gran espesor creciente hacia el centro (0.5m a 2.5m), apoyada sobre el terreno o en pilotes. Para estabilidad requisito de 80% área comprimida para $(D + OP + a E_h + b E_v)$ y considerar o no la inercia de la fundación es clave para el diseño final.
- ▣ Diseño de refuerzo usando ACI 318.

Para el futuro ... NCh2369

- ▣ En la versión actualmente en revisión final por el Comité, después de la Consulta Pública:
- ▣ Cap. 14 incluye sección especial para este tipo de sistemas, con una serie de requisitos particulares.
- ▣ Hace explícito el tratamiento del tema sísmico, y es consistente con lo que sugiere el sistema de calificación de los aseguradores (DNV / GL).
- ▣ Similar a la recomendación ASCE – AWEA (RP 2011).
- ▣ Usa el espectro de la ETG 1020, modificado (menor amplitud para $T > 1s$) y ampliado a períodos largos.

Muchas Gracias ...

