



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



Lineamientos técnicos para el desarrollo de pequeñas centrales
hidroeléctricas

UNIDADES

Parte 2: Turbogenerador hidráulico

PCH/LT 003-2: 2019



AVISO LEGAL

El presente documento se ha elaborado sin edición oficial de las Naciones Unidas. Las denominaciones y la forma en que aparecen presentados los datos en este documento no implican, por parte de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites, o de su sistema económico o grado de desarrollo. Las denominaciones "desarrollado", "industrializado" y "en vías de desarrollo" se utilizan con fines estadísticos y no expresan necesariamente un juicio sobre la fase alcanzada por una zona o un país determinados en el proceso de desarrollo. La mención de nombres de empresas o productos comerciales no constituye ninguna aprobación por parte de la ONUDI. Aunque se ha puesto gran cuidado en mantener la exactitud de la información aquí contenida, ni la ONUDI ni sus Estados Miembros asumirán responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse del uso del material. El presente documento podrá citarse o reproducirse libremente, pero se ruega que se cite su procedencia.

Lineamientos técnicos para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas

UNIDADES

Parte 2: Turbogenerador hidráulico

PCH/LT 003-2: 2019

AGRADECIMIENTOS

Los lineamientos técnicos (LT) son el resultado de la colaboración entre la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) y la Red Internacional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (INSHP). Unos 80 expertos internacionales y 40 organismos internacionales participaron en la elaboración y revisión inter pares del documento, y aportaron comentarios y sugerencias concretos para que los LT fueran profesionales y aplicables.

La ONUUDI y la INSHP agradecen enormemente las contribuciones aportadas durante la elaboración de estos lineamientos y, en particular, las realizadas por las siguientes organizaciones internacionales:

El Mercado Común para el África Oriental y Meridional (COMESA)

La Red Mundial de Centros Regionales de Energía Sostenible (GN-SEC), en particular el Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la CEDEAO (ECREEE), el Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética de África Oriental (EACREEE), el Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética del Pacífico (PCRE EE) y el Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética del Caribe (CCREEE).

El Gobierno chino ha facilitado la finalización de estos lineamientos y ha sido de gran importancia para su conclusión.

La elaboración de estos lineamientos se ha beneficiado en gran medida de las valiosas aportaciones, revisiones y comentarios constructivos, así como de las contribuciones recibidas de Sr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Sr. Adoyi John Ochigbo, Sr. Arun Kumar, Sr. Atul Sarthak, Sr. Bassey Edet Nkposong, Sr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Sra. Chang Fangyuan, Sr. Chen Changjun, Sra. Chen Hongying, Sr. Chen Xiaodong, Sra. Chen Yan, Sra. Chen Yueqing, Sra. Cheng Xialei, Sra. Chileshe Kapaya Matantilo, Sra. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Sr. Deogratias Kamweya, Sr. Dolwin Khan, Sr. Dong Guofeng, Sr. Ejaz Hussain Butt, Sra. Eva Kremere, Sra. Fang Lin, Sr. Fu Liangliang, Sr. Garaio Donald Gafiye, Sr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Sr. Guo Chenguang, Sr. Guo Hongyou, Sr. Harold John Annegam, Sra. Hou Ling, Sr. Hu Jianwei, Sra. Hu Xiaobo, Sr. Hu Yunchu, Sr. Huang Haiyang, Sr. Huang Zhengmin, Sra. Januka Gyawali, Sr. Jiang Songkun, Sr. K. M. Dhahesan Unnithan, Sr. Kipyego Cheluget, Sr. Kolade Esan, Sr. Lamysier Castellanos Rigoberto, Sr. Li Zhiwu, Sra. Li Hui, Sr. Li Xiaoyong, Sra. Li Jingjing, Sra. Li Sa, Sr. Li Zhenggui, Sra. Liang Hong, Sr. LiangYong, Sr. Lin Xuxin, Sr. Liu Deyou, Sr. Liu Heng, Sr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Sra. Lu Xiaoyan, Sr. Lv Jianping, Sr. Manuel Mattiat, Sr. Martin Lugmayr, Sr. Mohamedain SeifElnasr, Sr. Mundia Simainga, Sr. Mukayi Musarurwa, Sr. Olumide TaiwoAlade, Sr. Ou Chuanqi, Sra. Pan Meiting, Sr. Pan Weiping, Sr. Ralf Steffen Kaeser, Sr. Rudolf Hupfl, Sr. Rui Jun, Sr. Rao Dayi, Sr. Sandeep Kher, Sr. Sergio Armando Trelles Jasso, Sr. Sindiso Ngwenga, Sr. Sidney Kilmete, Sra. Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, Sr. Shang Zhihong, Sr. Shen Cunke, Sr. Shi Rongqing, Sra. Sanja Komadina, Sr. Tareqemtairah, Sr. Tokihiko Fujimoto, Sr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Sr. Tan Xiangqing, Sr. Tong Leyi, Sr. Wang Xinliang, Sr. Wang Fuyun, Sr. Wang Baoluo, Sr. Wei Jianghui, Sr. Wu Cong, la Sra. Xie Lihua, el Sr. Xiong Jie, la Sra. Xu Jie, la Sra. Xu Xiaoyan, el Sr. Xu Wei, el Sr. Yohane Mukabe, el Sr. Yan Wenjiao, el Sr. Yang Weijun, la Sra. Yan Li, el Sr. Yao Shenghong, Sr. Zeng Jingnian, Sr. Zhao Guojun, Sr. Zhang Min, Sr. Zhang Liansheng, Sr. Zhang Zhenzhong, Sr. Zhang Xiaowen, Sra. Zhang Yingnan, Sr. Zheng Liang, Sr. Sr. Zheng Yu, Sr. Zhou Shuhua, Sra. Zhu Mingjuan.

Agradeceríamos cualquier otra recomendación o sugerencia de aplicación para la actualización.

Índice

Prólogo	II
Introducción.....	III
1 Alcance	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Términos y definiciones.....	2
4 Condiciones de servicio	2
5 Requisitos técnicos.....	2
5.1 Requisitos técnicos	2
5.2 Características eléctricas.....	3
5.3 Características mecánicas.....	12
5.4 Requisitos básicos de la estructura.....	14
5.5 Sistema de ventilación y refrigeración.....	15
5.6 Sistema de frenado	15
5.7 Sistema de extinción de incendios	16
5.8 Sistema de detección.....	16
5.9 Sistema de excitación	17
6 Alcance del suministro y piezas de repuesto	17
6.1 Alcance del suministro	17
6.2 Piezas de repuesto.....	17
7 Documentos técnicos	17
8 Inspección y aceptación.....	18
9 Placa de características, embalaje, transporte y almacenamiento	19
9.1 Placa de nombre	19
9.2 Placa de características, embalaje, transporte y almacenamiento	19
10 Instalación, uso y mantenimiento.....	20
10.1 Instalación.....	20
10.2 Funcionamiento y mantenimiento.....	20
11 Periodo de garantía de calidad	21
Apéndice A (Informativo).....	22
Principales piezas de repuesto para el turbogenerador hidráulico	22
Apéndice B (Informativo) Artículos de inspección de aceptación del turbogenerador hidráulico	23

Prólogo

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) es un organismo especializado del sistema de las Naciones Unidas para promover un Desarrollo Industrial Sostenible e Inclusivo (ISID) a escala mundial. La relevancia del ISID como enfoque integrado de los tres pilares del desarrollo sostenible está reconocida por la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los correspondientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que enmarcarán los esfuerzos de las Naciones Unidas y de los países hacia el desarrollo sostenible durante los próximos quince años. El mandato de la ONUDI para el ISID abarca la necesidad de apoyar la creación de sistemas energéticos sostenibles, ya que la energía es esencial para el desarrollo económico y social y para mejorar la calidad de vida. La preocupación y el debate internacionales sobre la energía han ido en aumento en las dos últimas décadas, en las que los problemas de la reducción de la pobreza, los riesgos medioambientales y el cambio climático han pasado a ocupar un lugar central.

La INSHP (Red Internacional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas) es una organización internacional de coordinación y promoción del desarrollo mundial de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), que se basa en la participación voluntaria de los puntos focales regionales, subregionales y nacionales, las instituciones pertinentes, los servicios públicos y las empresas, y tiene como principal objetivo el beneficio social. El objetivo de la INSHP es promover el desarrollo mundial de las PCH mediante la cooperación técnica y económica triangular entre países en desarrollo, países desarrollados y organizaciones internacionales, con el fin de suministrar a las zonas rurales de los países en desarrollo una solución energética respetuosa con el medio ambiente, asequible y adecuada, que permita aumentar las oportunidades de empleo, mejorar los entornos ecológicos, mitigar la pobreza, mejorar los niveles de vida y culturales locales y el desarrollo económico.

La ONUDI y la INSHP han estado cooperando en el Informe sobre el Desarrollo Mundial de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas desde el año 2010. Según los informes, el desarrollo de PCH en todo el mundo no ha sido suficiente para satisfacer la demanda. Uno de los obstáculos al desarrollo en la mayoría de los países es la falta de tecnologías. La ONUDI, en colaboración con la INSHP, a través de la cooperación mundial de expertos, y basándose en experiencias de desarrollo satisfactorias, decidió desarrollar los LT de PCH para satisfacer la demanda de los Estados miembros.

Estos LT se redactaron de acuerdo con las normas editoriales de las Directivas ISO/IEC, Parte 2 (véase www.iso.org/directives).

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de estos LT puedan estar sujetos a derechos de patente. La ONUDI y la INSHP no serán responsables de la identificación de tales derechos de patente.

Introducción

Las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) son objeto de un reconocimiento cada vez mayor como una importante solución de energía renovable para el reto que supone la electrificación de las zonas rurales remotas. Sin embargo, mientras que la mayoría de los países de Europa, América del Norte y del Sur y China cuentan con un alto grado de capacidad instalada, el potencial de las PCH en muchos países en desarrollo sigue sin explotarse y se ve obstaculizado por una serie de factores, como la falta de buenas prácticas o normas acordadas a nivel mundial para el desarrollo de las PCH.

Estos Lineamientos Técnicos (LT) para el Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas abordarán las limitaciones actuales de la normativa aplicada a los lineamientos técnicos para PCH aplicando los conocimientos especializados y las mejores prácticas existentes en todo el mundo. Se pretende que los países utilicen estos lineamientos acordados para apoyar su política, tecnología y ecosistemas actuales. Los países que tienen capacidades institucionales y técnicas limitadas podrán mejorar su base de conocimientos en el desarrollo de PCH, atrayendo así más inversiones en proyectos de PCH, fomentando políticas favorables y ayudando posteriormente al desarrollo económico a nivel nacional. Estos LT serán valiosos para todos los países, pero sobre todo permitirán compartir experiencias y buenas prácticas entre países con escasos conocimientos técnicos.

Los LT pueden utilizarse como principios y base para la planificación, el diseño, la construcción y la gestión de PCH de hasta 30 MW.

- Los términos y definiciones de los LT especifican los términos y definiciones técnicos profesionales utilizados habitualmente para las PCH.
- Los lineamientos de diseño proporcionan directrices sobre requisitos básicos, metodología y procedimiento en cuanto a selección del sitio, hidrología, geología, diseño del proyecto, configuraciones, cálculos energéticos, hidráulica, selección de equipos electromecánicos, construcción, estimación de costos del proyecto, valoración económica, financiación, y evaluaciones sociales y medioambientales, con el objetivo, en última instancia, de obtener las mejores soluciones de diseño.
- Los lineamientos de unidades especifican los requisitos técnicos de las turbinas de PCH, los sistemas del gobernador de las turbinas hidráulicas, los sistemas de excitación y las válvulas principales, así como los sistemas de supervisión, control, protección y las fuentes de alimentación de corriente directa.
- Los lineamientos de construcción pueden utilizarse como documentos técnicos de orientación para la construcción de proyectos de PCH.
- Los lineamientos de gestión proporcionan orientaciones técnicas para la gestión, el funcionamiento, el mantenimiento, la renovación técnica y la aceptación de proyectos de PCH.

Lineamientos técnicos para el desarrollo de pequeñas centrales/unidades hidroeléctricas

Parte 2: Turbogenerador hidráulico

1 Alcance

Esta parte de los lineamientos de unidades especifica los requisitos técnicos y los requisitos básicos para el alcance del suministro, las piezas de repuesto, los documentos técnicos, la inspección y la aceptación, el embalaje, el transporte, el almacenamiento, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento para el turbogenerador hidráulico síncrono trifásico de polos salientes de 50 Hz o 60 Hz de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) con capacidad nominal de hasta 12,5 MWA conectado a una turbina hidráulica.

2 Referencias normativas

En el texto, se hace referencia a los siguientes documentos, de forma tal que una parte o la totalidad del contenido de dichos documentos constituye los requisitos de este documento. Para las referencias fechadas, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, se aplica la última edición del documento de referencia (incluidas las modificaciones).

ISO 1680, *Acústica: código de prueba para la medición del ruido aéreo emitido por máquinas eléctricas giratorias*

IEC 60034-1, *Máquinas eléctricas rotativas: clasificación y rendimiento*

IEC 60034-2-1, *Determinación de pérdidas y eficiencia a partir de pruebas*

IEC 60034-2A, *Medición de pérdidas por el método calorimétrico*

IEC 60038, *voltajes estándar IEC*

IEC 60050-411, *Vocabulario electrotécnico (parte 411): Maquinaria rotativa*

IEC-60085, *Clasificación de los materiales para el aislamiento de las máquinas eléctricas*

PCH/LT 001, *Lineamientos técnicos para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas—Términos y definiciones*

3 Términos y definiciones

A efectos del presente documento, se aplicarán los términos y las definiciones que figuran en IEC 60034-1, IEC 60050-411 y PCH/LT 001.

4 Condiciones de servicio

El generador deberá instalarse en la planta protegida y podrá operar de manera continua bajo las siguientes condiciones de servicio:

- a) La altitud no supera los 1000 m. Cuando el generador se utilice en un lugar con una altitud superior a 1000 m, se considerará la reducción de las propiedades dieléctricas y la disminución del efecto de enfriamiento del aire, y el usuario deberá negociar con el proveedor.
- b) La temperatura del aire de refrigeración no supera los 40 °C: la temperatura de entrada del agua de los intercambiadores de calor del generador, como el enfriador de aire y el enfriador de aceite, no es superior a 28 °C ni inferior a 5 °C.
- c) La humedad relativa en la planta no supera el 85 %.
- d) Los valores de aceleración de diseño correspondientes a las intensidades sísmicas del sitio de servicio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de aceleración de diseño bajo diferentes intensidades sísmicas

Valor de aceleración de diseño	Intensidades sísmicas		
	7	8	9
Dirección horizontal	0,2 g	0,25 g	0,4 g
Dirección vertical	0,1 g	0,125 g	0,2 g

NOTA g es la aceleración gravitacional del sitio donde se utiliza el generador.

5 Requisitos técnicos

5.1 Requisitos técnicos

5.1.1 Salida de capacidad nominal

Bajo las siguientes condiciones, el generador podrá generar capacidad nominal:

- a) La desviación entre el voltaje y su valor nominal no excederá el $\pm 5\%$ a la velocidad de rotación nominal y el factor de potencia nominal.

- b) La desviación entre la frecuencia y su valor nominal no excederá el ± 1 % a la tensión nominal y al factor de potencia nominal.
- c) En el factor de potencia nominal, cuando la tensión y la frecuencia se desvían simultáneamente (las desviaciones no superan el ± 5 % y el ± 1 % respectivamente) y ambas desviaciones son positivas, la suma de las desviaciones no excederá el 6 %; si ambas desviaciones son negativas o una desviación es positiva mientras que otra desviación es negativa, la suma de los valores absolutos de los porcentajes de ambas desviaciones no excederá el 5 % (el generador deberá poder operar continuamente cuando las desviaciones de voltaje y frecuencia excedan los valores antes mencionados; en este momento, la capacidad de salida deberá garantizar que la corriente de excitación no exceda el valor nominal y la corriente del estátor no exceda el valor nominal en más del 105 %).

5.1.2 Factor de potencia nominal

El factor de potencia nominal del generador no debe ser inferior a 0,8 (retrasado).

NOTA Si el usuario tiene requisitos especiales, el factor de potencia nominal puede ser determinado por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.1.3 Tensión nominal

La tensión nominal del generador será determinada por el usuario y el proveedor mediante negociación y deberá cumplir con las disposiciones de la norma IEC 60038. Preferentemente se seleccionarán los siguientes grados de tensión (kV): 0,4; 0,48; 0,69; 3,15; 3,3; 4,16; 6,3; 10,5 y 11.

5.1.4 Velocidad de rotación nominal

La velocidad de rotación nominal del generador se seleccionará preferentemente de la Tabla 2:

Tabla 2. Velocidad de rotación nominal del turbogenerador hidráulico Unidad: r. p. m.

50 Hz	60 Hz
1500; 1000; 750; 600; 500; 428,6; 375; 333,3; 300; 250; 214,3; 200; 187,5; 166,7; 150; 142,9; 136,4; 125; 115,4; 107,1; 100; 93,8; 88,2; 83,3; 75	1200; 900; 720; 600; 514,3; 450; 400; 360; 300; 257,2; 240; 225; 200; 180; 171,5; 163,7; 150; 138,5; 128,5; 120; 112,6; 105,8; 100; 90

5.2 Características eléctricas

5.2.1 Capacidad

5.2.1.1 Se permite aumentar el valor de potencia activa del generador al valor de capacidad nominal (potencia aparente) mejorando el factor de potencia. Si el usuario lo requiere, se podrá establecer la capacidad máxima del generador; en este momento, el proveedor y el usuario determinarán mediante negociación el factor de potencia, el valor de los parámetros eléctricos, el aumento de temperatura permitido y el rendimiento del generador relacionado con el funcionamiento continuo.

5.2.1.2 El generador deberá tener un rendimiento de funcionamiento continuo a largo plazo en la fase de adelanto y en la fase de retraso. El proveedor y el usuario determinarán mediante negociación la capacidad permitida de las fases de avance y de retraso y el alcance de operación, así como la capacidad de carga permitida de la línea sin carga.

5.2.2 Eficiencia y pérdida

5.2.2.1 Eficiencia nominal

El valor garantizado de la eficiencia nominal del generador que funciona a la capacidad nominal, la tensión nominal, el factor de potencia nominal y la velocidad de rotación nominal se especificará en el contrato de pedido firmado entre el proveedor y el usuario.

La eficiencia nominal del generador será la siguiente:

- a) El generador con una capacidad nominal de 0,6 MVA a 1,25 MVA, con una eficiencia del 90 % al 95 %;
- b) el generador con capacidad nominal superior a 1,25 MVA a 2,5 MVA, con una eficiencia del 90 % al 96 %;
- c) El generador con capacidad nominal superior a 2,5 MVA a 6,25 MVA, con una eficiencia del 92 % al 96,5 %;
- d) El generador con una capacidad nominal superior a 6,25 MVA a 12,5 MVA, con una eficiencia del 93 % al 97 %.

5.2.2.2 Eficiencia media ponderada

La eficiencia promedio ponderada es el valor promedio ponderado correspondiente a la eficiencia del generador a voltaje nominal, velocidad de rotación nominal y factor de potencia especificado y bajo diferentes condiciones de capacidad. El valor garantizado de la eficiencia media ponderada se especificará en el contrato de pedido firmado entre el proveedor y el usuario.

La eficiencia media ponderada del generador podrá calcularse mediante las Fórmulas (1). El coeficiente de ponderación será proporcionado por el usuario.

$$\eta = A\eta_1 + B\eta_2 + C\eta_3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

donde

A, B y C..... son los correspondientes al coeficiente de ponderación al factor de potencia especificado y en condiciones de capacidad, y $A + B + C + \dots = 1$;

η_1, η_2 y η_3 corresponden a los valores de eficiencia en el factor de potencia, capacidad y coeficiente de ponderación especificados.

5.2.2.3 Pérdida

5.2.2.3.1 La pérdida y eficiencia del generador se medirán con el método directo, método indirecto o método calorimétrico. Las pérdidas incluyen:

- a) Pérdida de cobre del bobinado del estátor;
- b) pérdida de cobre del bobinado del rotor;
- c) pérdida del núcleo;
- d) pérdida por viento y fricción;
- e) pérdida del cojinete guía;
- f) pérdida del cojinete de empuje (solo se considera la pérdida correspondiente a la parte giratoria del generador);
- g) Pérdida colateral;
- h) pérdida del sistema de excitación;
- i) pérdidas eléctricas y por fricción de las escobillas;
- j) otras pérdidas.

5.2.2.3.2 Para determinar el valor de pérdida²R de los bobinados, la resistencia CC de los bobinados se debe convertir a los valores a la temperatura de trabajo de referencia correspondiente a la clase de aislamiento marcada en la placa de identificación del generador. Si se especifica que el aumento de temperatura o la temperatura nominal es inferior a la clasificación térmica de la estructura, su temperatura de trabajo de referencia se deberá especificar según la clasificación térmica inferior, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Temperatura de trabajo de referencia especificada según la clasificación térmica del aislamiento del turbogenerador hidráulico

Clasificación térmica de la estructura aislante.	Temperatura de trabajo de referencia °C
130 (B)	95
155(F)	115
180 (H)	130

5.2.3 Parámetros eléctricos y constante de tiempo

Los parámetros eléctricos tales como la reactancia síncrona, la reactancia transitoria, la reactancia ultratransitoria, la relación de cortocircuito y la constante de tiempo del generador deberán cumplir con los requisitos operativos del sistema de potencia y se especificarán en el contrato de pedido firmado por y entre el proveedor. y el usuario.

5.2.4 Factor de distorsión armónica total

Cuando el bobinado del estátor del generador se conecta con el método de conexión de funcionamiento normal, el factor de distorsión armónica total (THD) del voltaje de línea no debe exceder el 5 % al voltaje nominal sin carga y a la velocidad de rotación nominal.

5.2.5 Aumento de temperatura de componentes como los bobinados y el núcleo del estátor.

El generador deberá poder funcionar continuamente durante un largo plazo en las condiciones de servicio y las condiciones de trabajo nominales especificadas en la Sección 4, y el valor límite de aumento de temperatura de su bobinado del estátor, el bobinado del rotor y el núcleo del estátor deberá cumplir con las disposiciones de la Tabla 4. El estátor y el rotor estarán provistos de material aislante con clasificación de temperatura de 130 (B) o superior.

Tabla 4. Valor límite de aumento de temperatura permitido del bobinado del estátor, el bobinado del rotor y el núcleo del estátor del turbogenerador hidráulico

Componentes del turbogenerador hidráulico	Valor límite de aumento de temperatura máximo permitido para materiales aislantes de diferentes niveles (K)					
	130 (B)			155(F)		
	Método del termómetro Th	Método de resistencia R	Método de detector de temperatura integrado ETD	Método del termómetro Th	Método de resistencia R	Método de detector de temperatura integrado ETD
Bobinado del estátor	—	80	85	—	100	105
Núcleo del estátor	—	—	85	—	—	105
Bobinado de rotor de dos capas o más	—	80	—	—	100	—
bobinado de rotor de una sola capa con superficie expuesta	—	90	—	—	110	—
Anillo colector	75	—	—	85	—	—

5.2.6 Corrección del valor límite de aumento de temperatura en condiciones y clasificaciones de funcionamiento que no son de referencia

5.2.6.1 Cuando el generador se utiliza en lugares a una altitud de 1000 a 4000 m, y la temperatura máxima del aire ambiente no supera los 40 °C, es posible que su valor límite de aumento de temperatura no se corrija. Cuando la altitud sea superior a 4000 m, será determinada entre el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.2.6.2 Cuando el generador se utiliza en lugares a una altitud no superior a 1000 m, y la temperatura máxima del aire ambiente o del aire de refrigeración en la salida del enfriador de aire del generador es diferente de 40 °C, el valor límite de aumento de temperatura especificado en la Tabla 4 puede corregirse de la siguiente manera (que solo se aplica a la medición con el método del detector de temperatura integrado):

- Quando la temperatura del aire de refrigeración sea inferior a 40 °C, el valor límite de aumento de temperatura aumentará en la diferencia del valor de la temperatura del aire de refrigeración por debajo de 40 °C.
- Quando la temperatura del aire de refrigeración sea superior a 40 °C pero inferior a 60 °C, el valor límite de aumento de temperatura disminuirá en la diferencia de la temperatura del aire de refrigeración por encima de 40 °C.
- Quando la temperatura del aire de refrigeración es superior a 60 °C, el proveedor y el usuario pueden determinar mediante negociación la disminución del valor límite de aumento de temperatura.

5.2.6.3 En cuanto al generador que se arranca y se detiene tres o más veces al día, se puede considerar que el valor límite de aumento de temperatura en la Tabla 4 disminuye de 5 K a 10 K.

5.2.7 Temperatura del rodamiento

En condiciones normales de funcionamiento del generador, la temperatura máxima de su cojinete se medirá con el método del detector de temperatura incorporado y no excederá lo establecido en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de aumento de temperatura permitidos para los cojinetes del turbogenerador hidráulico

Componentes del turbogenerador hidráulico	Valor máximo permitido de aumento de temperatura en °C
Casquillo de cojinete Babbitt del cojinete de empuje	75
Casquillo de rodamiento Babbitt del rodamiento guía	70
Cuerpo de casquillo de cojinete de plástico del cojinete de empuje	55
Cuerpo de casquillo de cojinete de plástico del cojinete guía	55
Casquillo de cojinete Babbitt de cojinete liso tipo cuna	80
Rodamiento	95 (método del termómetro)

5.2.8 Requisitos operativos especiales

5.2.8.1 El generador permite sobrecorriente de corta duración en condiciones de accidente. Los múltiplos de la sobrecorriente del bobinado del estátor y la duración permitida correspondiente se determinarán según la Tabla 6. Sin embargo, la ocurrencia de sobrecorriente que alcance la duración permitida en la Tabla 6 no excederá de 2 veces en promedio cada año.

Tabla 6. Relación entre los múltiplos permitidos de la sobrecorriente del bobinado del estátor y la duración permitida del turbogenerador hidráulico

Múltiplos permitidos de la sobrecorriente del estátor (corriente del estátor/corriente nominal del estátor)	Duración permitida en min
1,10	60
1,15	15
1,20	6
1,25	5
1,30	4
1,40	3
1,50	2

NOTA En cuanto al generador con requisitos de operación de sobrecarga (ver 5.2.1.1), los múltiplos permitidos de la sobrecorriente y la duración de su bobinado del estátor serán determinados por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.2.8.2 El bobinado del rotor del generador deberá poder soportar 2 veces la corriente de excitación nominal durante al menos 50 s.

5.2.8.3 Cuando el generador está funcionando en el sistema de potencia asimétrico, si la corriente de cualquier fase no excede la corriente nominal I_N , y la relación (valor por unidad) del componente de corriente de secuencia negativa (I_2) a la corriente nominal no es más del 12 %, el generador podrá funcionar durante un período prolongado.

5.2.8.4 Cuando el generador opera de manera asimétrica durante un corto tiempo debido a una falla, el producto permitido de la relación al cuadrado (valor por unidad) del componente de corriente de secuencia negativa a la corriente nominal y la duración de operación asimétrica permitida t (s) es 40 s, es decir $(I_2/I_N)^2 \times t = 40$ s.

5.2.9 Conexión al sistema por sincronización

El generador estará conectado al sistema mediante cuasi sincronización.

5.2.10 Línea principal de salida, línea de salida del neutro y secuencia de fases

5.2.10.1 Línea principal de salida y línea neutra de salida

El número de líneas principales de salida del bobinado del estátor del generador debe ser 3 o 6. La dirección y el diseño de las líneas salientes del bobinado del estátor, así como el modo de salida de las líneas salientes neutrales, serán determinados por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.2.10.2 Secuencia de fase

La disposición de la secuencia de fases del terminal de salida del generador debe ser: Visto desde el terminal de salida del generador, la secuencia es U, V y W horizontalmente de izquierda a derecha. Si se va a utilizar otra disposición de secuencia de fases, deberá ser determinada por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.2.11 Propiedad aislante y ensayo de tensión soportada 5.2.11.1 Propiedad aislante

5.2.11.1.1 El valor de la resistencia de aislamiento entre el bobinado del estátor del generador y el gabinete o entre los bobinados no deberá ser inferior al valor calculado por la Fórmula (2) cuando se convierte a 100 °C:

$$R = \frac{U_N}{1\ 000 + 0.01 S_N} \dots\dots\dots(2)$$

donde

R es el valor calculado de la resistencia de aislamiento en caliente del bobinado correspondiente a una temperatura de 100 °C, en MQ;

U_N es la tensión nominal de línea del generador, en V;

S_N es la capacidad nominal del generador, en kVA.

En cuanto al generador seco y limpio, el valor de la resistencia de aislamiento *R_t*(MΩ) del bobinado del estátor a temperatura ambiente *t* (°C) puede corregirse mediante la Fórmula (3):

$$R_t = R \times 1.6^{(100-t)/10} \dots\dots\dots(3)$$

5.2.11.1.2 Cuando el rotor se somete a una prueba de megaohmímetro con un tramegger de 500 V o 1 000 V a temperatura ambiente de 10 a 40 °C antes y después de colgar el polo magnético único, su valor de resistencia de aislamiento no debe ser inferior a 5 MΩ. Después de colgarlo, el valor de la resistencia de aislamiento del bobinado completo del rotor no deberá ser inferior a 0,5 MΩ.

5.2.11.1.3 Cuando el bobinado del estátor del generador se encuentra en estado frío real, la diferencia en la resistencia CC de las distintas ramas entre la fase máxima y la fase mínima no excederá el 2 % del valor mínimo después del error derivado de la diferente longitud del El cable conductor está corregido.

5.2.11.1.4 El coeficiente de polarización *R₁₀/R₁* del bobinado del estátor del generador no deberá ser inferior a 2,0, no se evaluará cuando la tensión nominal sea igual o inferior a 2,5 kV.

NOTA R_{10} y R_1 son los valores de resistencia de aislamiento medidos en 10 minutos y 1 minuto cuando la temperatura es inferior a 40 °C.

5.2.11.1.5 La tangente del ángulo de pérdida dieléctrica del medio en estado normal del bobinado del estátor del generador y el valor límite de su incremento deberán cumplir con lo establecido en la Tabla 7 (no se evaluará cuando la tensión nominal sea igual o inferior a 2,5 kV).

Tabla 7. Tangente del ángulo de pérdida dieléctrica del medio en estado normal del turbogenerador hidráulico y el valor límite de su incremento

Tensión de prueba	$0,2U_N$	$0,2U_N-0,6U_N$
Tangente del ángulo de pérdida dieléctrica del medio y su incremento.	$\tan\delta$	$\Delta\tan\delta = \tan\delta_{0,6U_N} - \tan\delta_{0,2U_N}$
Valor del índice (%)	≤ 3	≤ 1

NOTA U_N se refiere a la tensión nominal de línea del generador, en kV. Para cada generador se realizará una inspección casual del 3 %. La frecuencia de las inspecciones casuales se duplicará si la inspección falla.

5.2.11.1.6 Cuando los valores de resistencia de aislamiento del cojinete de empuje, cojinete guía, cojinete de casquillo tipo cuna y detector de temperatura integrado del generador con requisitos de aislamiento de tierra se midan entre 10 °C y 30 °C, deberán cumplir con las disposiciones de la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de resistencia de aislamiento de los distintos componentes del turbogenerador hidráulico

Componentes del rodamiento	Resistencia de aislamiento M Ω	Voltaje del tramegger V	Observación
Cojinete de empuje	1	1000	Instale el termómetro en el cojinete de empuje y el cojinete guía y mida antes de inyectar el aceite lubricante.
Casquillo de rodamiento guía dividido	5		
Cojinete de casquillo tipo cuna	1		Mida la resistencia del aislamiento de tierra del pedestal del cojinete.
Detector de temperatura integrado	5	250	

5.2.11.2 Prueba de tensión soportada

5.2.11.2.1 Antes de realizar la prueba de tensión soportada de CA en el generador con una tensión nominal de 6,3 kV o superior, se deben medir la tensión soportada de CC y la fuga para el bobinado del estátor con 3 veces la tensión nominal. La tensión de prueba aumentará de forma estable y por etapas; cada etapa será 0,5 veces la tensión nominal y tendrá una duración de 1 minuto. La corriente de fuga no aumentará con el tiempo. La diferencia de corriente de fuga entre las distintas fases no será superior al 50 % del valor mínimo.

5.2.11.2.2 El valor del voltaje de ruptura de frecuencia eléctrica del aislamiento del bobinado del estátor debe ser de 5,5 a 6 veces el voltaje nominal y debe verificarse mediante la prueba de muestreo.

5.2.11.2.3 El bobinado del estátor y el bobinado del rotor del generador deberán poder soportar la prueba de tensión soportada de CA a la frecuencia industrial especificada en la Tabla 9 (la forma de onda es la forma de onda sinusoidal real) durante 1 minuto sin perforar el aislamiento.

Tabla 9. Norma para la prueba de tensión soportada dieléctrica del bobinado del turbogenerador hidráulico

Prueba de bobina o bobinado		Tensión de prueba, kV		Observación
		$U_N < 6,3$	$6,3 \leq U_N \leq 13,8$	
Bobinado del estátor	a) Producto de bobina terminado	$2,75U_N + 4,5$	$2,75U_N + 6,5$	
	b) Después del montaje de la cuña ranurada fuera de línea	$2,5U_N + 2,5$	$2,5U_N + 2,5$	
	c) Al finalizar el montaje del estátor	$2,25U_N + 2,0$	$2,25U_N + 2,0$	
	d) Estátor después de curar la pintura de inmersión	$2,0U_N + 2,0$	$2,0U_N + 2,0$	Inmersión total
	e) Al finalizar el montaje final del generador	$2,0U_N + 1,0$	$2,0U_N + 1,0$	
Bobinado del rotor	a) Al finalizar el montaje del rotor	10 veces el voltaje de excitación nominal +0,5 (el mínimo es 2,0 kV)		
	b) Al finalizar el montaje final del generador	10 veces el voltaje de excitación nominal +0,5 (el mínimo es 1,5 kV)		
NOTA 1	U_N se refiere a la tensión nominal del generador (kV);			
NOTA 2	El bobinado del estátor que no sea tratado por inmersión total no estará sujeto al inciso d). La prueba de rigidez dieléctrica del bobinado del estátor tratado por inmersión total se realizará a partir del inciso d).			
NOTA 3	Para que el estátor y el rotor sean aceptados en el sitio, el valor de prueba de rigidez dieléctrica de CA de su bobinado es 0,8 veces el valor de voltaje de prueba al finalizar el ensamblaje final del generador.			

5.2.11.2.4 En cuanto al generador con tensión nominal de 6,3 kV y superior, la bobina única de su estátor no deberá generar corona a 1,5 veces la tensión nominal cuando la altitud del lugar de servicio sea de 1000 m o menos. Durante la prueba de rigidez dieléctrica de una máquina completa, los terminales estarán libres de puntos brillantes dorados evidentes y tiras de corona continuas a 1,05 veces la tensión nominal. Cuando la altitud sea superior a 1000 m, el valor de prueba de la tensión inicial de corona será el siguiente:

- a) El valor de la tensión inicial de corona del bobinado del estátor no deberá ser inferior a los valores obtenidos mediante la Fórmula (4):

$$U_{BS} = 1.5U_N \frac{1 - KH_S}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(4)$$

donde

U_{BS} es la tensión de inicio de corona del bobinado del estátor, en kV;

U_N es la tensión nominal de línea del generador, en kV;

K es la tasa decreciente del voltaje de inicio de la corona junto con el aumento de la altitud, K toma 0,1, en km^{-1} ;

H_s es la altitud del lugar de prueba del motor, en km;

H_A es la altitud del lugar de instalación del motor, en km.

b) El valor de la tensión inicial de corona del generador completo no será inferior a los valores obtenidos mediante la Fórmula (5):

$$U_{JS} = 1.3U_\phi \frac{1 - KH_S}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(5)$$

donde

U_{JS} es el voltaje de inicio de corona del generador, en kV;

U_ϕ es la tensión de fase nominal del generador, en kV.

5.3 Características mecánicas

5.3.1 La dirección de rotación especificada para el generador se verá en el sentido de las agujas del reloj desde el terminal no impulsor. Si existiera algún requisito especial, se especificará en el contrato de pedido firmado entre el proveedor y el usuario.

5.3.2 El valor del momento de inercia (GD^2) del generador deberá satisfacer los requisitos para el cálculo de la garantía reglamentaria y la razonabilidad técnica y económica de la central hidroeléctrica. Si el valor GD^2 del generador no puede satisfacer el requisito del cálculo de garantía reglamentaria de la central hidroeléctrica, será determinado por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.3.3 El generador y la máquina auxiliar directamente conectada a él deberán poder funcionar durante 5 minutos a la velocidad máxima fuera de control y no deberán deformarse ni dañarse negativamente.

5.3.4 La resistencia estructural de los distintos componentes del generador deberá ser capaz de soportar la prueba de cortocircuito repentino trifásico de 3 s a la velocidad de rotación nominal y voltaje sin carga que sea igual al 105 % del voltaje nominal y no deberá ser deformado adversamente. Mientras tanto, deberá poder soportar una falla de cortocircuito de 20 s a la capacidad nominal, el factor de potencia nominal y el 105 % del voltaje nominal y condiciones de excitación estables y no deberá deformarse ni dañarse negativamente.

5.3.5 La resistencia estructural del generador deberá poder asumir la acción de la atracción magnética desequilibrada producida por el cortocircuito de la mitad de los polos magnéticos del rotor, y no deberá sufrir deformaciones ni daños adversos.

5.3.6 Después de ensamblar el estátor y el rotor del generador, la diferencia entre el valor máximo o mínimo del radio interior del estátor y el radio exterior del rotor y su radio de diseño no deberá ser superior al ± 4 % del valor del entrehierro de diseño. La diferencia entre el valor máximo o valor mínimo del entrehierro entre el estátor y el rotor y su valor medio no será superior al ± 8 % de su valor medio.

5.3.7 La vibración de doble amplitud permitida del generador deberá cumplir con lo establecido en la Tabla 10.

Tabla 10 Valor límite de vibración permitido de los distintos componentes del turbogenerador hidráulico Unidad: mm

Tipo de turbogenerador hidráulico	Elementos	Velocidad de rotación nominal n_N /(r. p. m.)				
		$n_N < 100$	$100 \leq n_N < 250$	$250 \leq n_N < 375$	$375 \leq n_N \leq 750$	$750 < n_N$
Tipo vertical	Vibración vertical del soporte con cojinete de empuje	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03
Tipo vertical	Vibración horizontal del soporte con rodamiento guía	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
Tipo horizontal	Vibración vertical de los rodamientos en varias posiciones	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04

NOTA El valor de vibración se refiere al valor de doble amplitud del turbogenerador hidráulico en todo tipo de condiciones de funcionamiento estables, excepto en el caso de funcionamiento a exceso de velocidad.

5.3.8 El nivel de ruido del turbogenerador hidráulico no será mayor que el especificado en la Tabla 11.

Tabla 11. Nivel de ruido del turbogenerador hidráulico

Modo unidad	Posición de medición	Velocidad nominal n_N /(r. p. m.)		
		$n_N \leq 250$	$250 < n_N < 750$	$n_N \geq 750$
Unidad vertical	Distancia vertical 1 m por encima del borde exterior de la cubierta superior	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)
Unidad horizontal	1 m de distancia de la unidad en el extremo sin transmisión	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)

5.3.9 Una vez ensamblados el generador y la turbina, la velocidad crítica de rotación de la primera etapa de la parte giratoria del turbogenerador hidráulico no deberá ser inferior al 120 % de la velocidad máxima de descontrol.

5.3.10 El valor de deflexión vertical del marco portante del generador no debe ser superior a 1,5 mm bajo la acción de la carga axial máxima.

5.4 Requisitos básicos de la estructura

5.4.1 El estilo estructural del generador se determinará después de un análisis y comparación técnico y económico de acuerdo con el tipo de turbina, la velocidad de rotación del turbogenerador hidráulico, la capacidad nominal, el tipo de casa de máquinas y la estabilidad operativa del turbogenerador hidráulico.

5.4.2 La conexión entre el generador y el extremo de transmisión debe emplear la estructura de transmisión coaxial rígida o flexible, pero no debe emplear la estructura de transmisión por correa. Cuando sea necesario emplear la estructura de transmisión por correa, será determinado por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.4.3 El generador con estructura de rodamiento no debe soportar el empuje axial; En cuanto al generador requerido para soportar el empuje axial, el valor de la carga será determinado por el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.4.4 El generador con estructura de soporte deslizante debe emplear el cojinete de autocirculación, y el turbogenerador horizontal (excluyendo el turbogenerador tabular de extensión de eje) debe tener preferiblemente una estructura con dos puntos de soporte.

5.4.5 El rotor del generador con una capacidad nominal superior a 1 MVA debe estar equipado con un bobinado amortiguador (o una estructura con función de amortiguación). El rotor del generador con capacidad nominal igual o inferior a 1 MVA no llevará bobinado amortiguador; cuando sea necesario adaptarlo, lo determinarán el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.4.6 La estructura del turbogenerador hidráulico vertical será conveniente para el mantenimiento y la revisión. Si la estructura lo permite, el generador debe diseñarse de modo que su bastidor inferior y los componentes extraíbles de la turbina hidráulica puedan pasar a través del diámetro interior del núcleo del estátor sin necesidad de retirar el estátor durante la instalación y revisión.

5.4.7 El turbogenerador hidráulico podría arrancarse cuando la temperatura del aceite de la ranura de aceite no sea inferior a 10 °C para el cojinete de empuje y el cojinete guía con el casquillo de aleación del cojinete, y el generador podría arrancarse inmediatamente después de detenerse. La unidad del turbogenerador hidráulico podría arrancarse cuando la temperatura del aceite de la ranura de aceite no sea inferior a 5 °C para el cojinete de empuje y el cojinete guía con el casquillo de cojinete de plástico metálico elástico, y el generador podría arrancarse inmediatamente después de detenerse.

5.4.8 Si es necesario equipar el generador con el sistema de deshumidificación de calefacción eléctrica, lo determinarán el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.5 Sistema de ventilación y refrigeración

5.5.1 El generador puede emplear el siguiente sistema de ventilación y refrigeración:

- a) Sistema de autoventilación y refrigeración de tipo abierto: Generalmente se aplica al generador con una capacidad nominal de 1 MVA o menos.
- b) Sistema de ventilación y refrigeración por conductos: Generalmente se aplica al generador con una capacidad nominal superior a 1 MVA pero inferior a 4 MVA.
- c) Sistema de ventilación y refrigeración de circulación cerrada: Generalmente se aplica al generador con una capacidad nominal superior a 4 MVA.

5.5.2 La presión del agua de refrigeración del enfriador de aire generalmente puede diseñarse entre 0,15 MPa y 0,3 MPa, o la presión de trabajo puede determinarse de acuerdo con la situación real y ser confirmada por el proveedor y el usuario mediante negociación. La presión del agua de prueba del enfriador será 1,5 veces la presión del agua de trabajo (la presión mínima no será inferior a 0,4 MPa). La prueba tendrá una duración de 60 minutos.

5.6 Sistema de frenado

5.6.1 El generador con estructura portante no estará equipado con dispositivo de frenado.

5.6.2 El turbogenerador hidráulico vertical con estructura de soporte deslizante debe estar equipado con un dispositivo de frenado. El turbogenerador hidráulico vertical con una capacidad nominal superior a 1 MVA debe estar equipado con un conjunto de dispositivos de frenado mecánico accionados con aire comprimido o aceite a presión. El sistema de frenos debe poder levantar con el aceite hidráulico la parte giratoria del turbogenerador hidráulico y bloquearse de forma segura.

5.6.3 Cuando el turbogenerador hidráulico horizontal con estructura de soporte deslizante deba equiparse con el dispositivo de frenado, lo determinarán el proveedor y el usuario mediante negociación.

5.6.4 Cuando el generador está provisto de freno mecánico, se puede utilizar aire comprimido con una presión de 0,5 MPa a 0,7 MPa o aceite a presión como medio de frenado. El sistema de frenado mecánico deberá poder aplicar frenado continuamente y detener la parte giratoria de la unidad del turbogenerador hidráulico del 20 % al 30 % de la velocidad de rotación nominal (10 % al 20 % para el generador con casquillo de cojinete de plástico) dentro del tiempo especificado. Cuando el par de rotación producido por el turbogenerador hidráulico debido a la fuga de agua de la paleta guía de la turbina no sea superior al 1 % del par de rotación nominal de la turbina, el sistema de frenado mecánico aplicará el frenado y detendrá el turbogenerador hidráulico.

5.7 Sistema de extinción de incendios

La configuración del sistema de extinción de incendios deberá cumplir los siguientes requisitos:

- a) Para el generador con una capacidad nominal de 12,5 MVA, el cabezal de bobinado del estátor puede equiparse con un aparato extintor de incendios por agua.
- b) El generador con una capacidad nominal inferior a 12,5 MVA no podrá estar equipado con aparatos extintores de incendios;
- c) La configuración del sistema de extinción de incendios del generador se seleccionará de acuerdo con la norma de extinción de incendios del país.

5.8 Sistema de detección

5.8.1 Se debe configurar un dispositivo de medición de la velocidad de la presión residual para el generador. Si se adoptan otros métodos de medición de la velocidad, deberán ser acordados tanto por el proveedor como por el comprador.

5.8.2 Para medir la temperatura del bobinado y del núcleo del estátor, es necesario incorporar termómetros de resistencia eléctrica, en las siguientes cantidades, en la ranura del estátor del generador:

- a) Cero para el generador con capacidad nominal igual o inferior a 1 MVA;
- b) seis para el generador con una capacidad nominal superior a 1 MVA pero inferior a 12,5 MVA.

5.8.3 Para medir la temperatura del cojinete de empuje y del cojinete guía, es necesario incorporar termómetros de resistencia eléctrica (termómetros de señal) en al menos las siguientes cantidades:

- a) Cuatro deben estar integrados en el casquillo del cojinete de empuje del generador con una capacidad nominal superior a 1 MVA, dos están integrados en el casquillo del cojinete guía, uno está integrado en la ranura de aceite del cojinete de empuje y uno en la ranura de aceite del cojinete guía.
- b) Uno para integrarse en la ranura de aceite del cojinete de empuje y otro en la ranura de aceite del cojinete guía del generador con una capacidad nominal de 1 MVA o menos para medir la temperatura del aceite caliente en la ranura de aceite. Si es necesario incorporar termómetros de resistencia eléctrica (termómetros de señal) en el cojinete de empuje y en el cojinete guía, el proveedor y el usuario lo determinarán mediante negociación.
- c) Al menos uno debe estar integrado en el cojinete de casquillo del turbogenerador hidráulico horizontal. Si el cojinete de deslizamiento de la cuna está equipado con el cojinete de empuje, al menos un termómetro está integrado en el casquillo del cojinete de empuje.

5.8.4 En cada enfriador de aire se incorporará un termómetro de resistencia eléctrica para medir la temperatura del aire frío; cada uno de los dos enfriadores de aire de cada turbogenerador hidráulico estará equipado con un termómetro para medir la temperatura del aire caliente. Se incorporará un termómetro para medir la temperatura del aire caliente si hay dos o menos enfriadores de aire. Los termómetros deberán ser convenientes para su reemplazo.

5.8.5 El sistema de detección automática utilizado en el generador se configurará de acuerdo con la decisión del proveedor y el usuario mediante negociación, como el detector de nivel de líquido, indicador de flujo de agua de refrigeración, detector de agua en aceite, detector de presión, calefacción y secado y detector de deshumidificación.

El tipo y los requisitos de rendimiento de cada sistema y dispositivo de detección automática, así como la configuración de la interfaz del sistema de monitoreo por computadora, serán determinados por el proveedor y el usuario mediante negociación, y la interfaz de comunicación deberá contar con RS-485.

5.9 Sistema de excitación

El generador estará provisto de un sistema de excitación de rectificación de tiristores de excitación con derivación automática. Si se adoptan otros métodos de excitación, serán acordados tanto por el proveedor como por el comprador.

6 Alcance del suministro y piezas de repuesto

6.1 Alcance del suministro

6.1.1 El cuerpo del generador y sus accesorios

6.1.2 El suministro del paquete completo del sistema de excitación será determinado por el proveedor y el usuario mediante negociación.

6.1.3 Herramientas dedicadas y herramientas especiales para instalación y revisión

6.2 Piezas de repuesto

6.2.1 Los artículos y la cantidad de piezas de repuesto principales del generador deberán sujetarse a lo dispuesto en el Apéndice A.

6.2.2 Otras piezas de repuesto deben ser determinadas por el proveedor y el usuario mediante negociación.

7 Documentos técnicos

El proveedor deberá presentar la documentación técnica necesaria al usuario, incluyendo principalmente:

- a) Plano de disposición, plano de cimentación y diagrama de piezas empotradas del generador;
- b) plano de montaje general del generador, plano de montaje de los distintos componentes del generador, dimensiones generales y plano de disposición del enfriador de aire, diagrama esquemático para levantar el rotor, diagrama esquemático para instalar/desmontar el bloque de empuje y diagrama esquemático de la unidad está bloqueada;
- c) principales parámetros eléctricos del generador y dimensiones y peso de los componentes principales;
- d) curva característica de cortocircuito, sin carga y curva característica de eficiencia del generador;
- e) diagrama esquemático y plano de disposición del sistema de frenos, plano de disposición de las tuberías de aceite, agua y aire del generador y diagrama detallado de la conexión auxiliar del generador;
- f) instrucciones de instalación, uso y mantenimiento, informe de inspección de entrega y detalles de entrega del generador.

8 Inspección y aceptación

8.1 Cada producto deberá pasar la inspección antes de ser entregado y deberá ir acompañado del certificado de inspección de calidad del producto.

8.2 El generador que pueda ser sometido a montaje general y arranque y ensayo en las instalaciones del proveedor deberá ser inspeccionado y aceptado de acuerdo con las pruebas de entrega y los elementos de prueba de puesta en servicio de la Tabla B.1.

8.3 El generador que no pudo ser sometido a montaje general y arranque y ensayo en las instalaciones del proveedor deberá ser inspeccionado y aceptado de acuerdo con los elementos de prueba de entrega de la Tabla B.1.

8.4 El proveedor deberá proporcionar los certificados de conformidad, los componentes químicos materiales y los informes de propiedades mecánicas para los componentes clave del generador, incluidos:

- a) Composición química del material, propiedades mecánicas y pruebas no destructivas de los forjados del husillo;
- b) componentes químicos materiales y propiedades mecánicas de la araña del rotor (yugo magnético);
- c) componentes químicos materiales y propiedades mecánicas de las piezas forjadas de la placa de rodadura;
- d) característica de magnetización y pérdida de la lámina de acero al silicio;
- e) tamaño del cable, conductividad eléctrica y rigidez dieléctrica del bobinado.

8.5 Para el equipo que se ensamblará en el sitio de la central hidroeléctrica, se deben verificar las dimensiones de la pieza de trabajo y las dimensiones de ensamblaje de los componentes antes de la entrega, y los componentes (bastidor dividido del estátor, araña del rotor del disco, placas de ensamblaje y cubierta del cojinete guía). y cojinete de empuje, así como el montaje del parabrisas) serán premontados, según corresponda, por el proveedor.

8.6 Aceptación del sitio que incluye:

- a) Los elementos de arranque y ensayo para la aceptación se realizarán de acuerdo con los elementos de arranque y ensayo de la Tabla B.1;
- b) los elementos de prueba de desempeño para la aceptación se llevarán a cabo de acuerdo con los elementos de prueba de desempeño de la Tabla B.1.

9 Placa de características, embalaje, transporte y almacenamiento

9.1 Placa de nombre

Los materiales y el método de grabado de las placas de identificación deberán garantizar que su texto no se borre durante todo el período de servicio, y se marcará la siguiente información:

Nombre y modelo; capacidad nominal (MVA, kVA), tensión nominal (V), corriente nominal (A), frecuencia nominal (Hz) y factor de potencia nominal ($\cos\phi$); velocidad de rotación nominal (r. p. m.) y velocidad de embalamiento (r. p. m.); tensión de excitación nominal (V) y corriente de excitación nominal (A); número de fases, método de conexión del bobinado del estátor y grado de aislamiento; nombre del país, nombre del fabricante, fecha de entrega y número de producto.

9.2 Placa de características, embalaje, transporte y almacenamiento

9.2.1 El embalaje será determinado por el proveedor y el usuario mediante negociación y deberá cumplir con las disposiciones pertinentes del país importador del equipo. Los requisitos especiales para el equipo, si los hubiera, se marcarán en el contenedor de embalaje.

9.2.2 El contenedor de embalaje se fabricará de acuerdo con el plano de la carcasa. La siguiente información deberá marcarse en el exterior del contenedor:

- a) Nombre de usuario y dirección;
- b) nombre y dirección del proveedor;
- c) nombre, modelo y número de serie;

- d) peso neto, peso bruto, centro de la línea de gravedad del contenedor, posición de las eslingas y dimensiones totales del contenedor;
- e) textos y marcas como "Manejar con cuidado", "Mantener alejado de la humedad" y "No poner al revés".

9.2.3 Antes del embalaje se deberán realizar los siguientes preparativos:

- a) Inspeccionar si la apariencia del equipo está dañada;
- b) tomar las medidas necesarias para prevenir la oxidación y la deformación de la superficie externa de mecanizado del equipo;
- c) retirar los componentes y medidores frágiles y sensibles a las vibraciones y embalarlos por separado;
- d) fijar las partes móviles del equipo con el cuerpo del generador;
- e) asegurarse de que las piezas de repuesto, el certificado de cumplimiento y los documentos técnicos relevantes que acompañan al equipo estén completos, envolverlos adecuadamente y fijarlos en la posición adecuada.

9.2.4 Después de abrir el contenedor del equipo después de su entrega en el sitio de la central hidroeléctrica, el equipo se almacenará en un almacén protegido, la temperatura de almacenamiento no será inferior a 5 °C y estará protegido de la humedad. , se almacenará adecuadamente y no se apilará a voluntad.

10 Instalación, uso y mantenimiento

10.1 Instalación

Se instalará de acuerdo con lo establecido en las instrucciones de instalación, uso y mantenimiento del producto proporcionadas por el proveedor.

10.2 Funcionamiento y mantenimiento

La operación y mantenimiento deberá cumplir con lo establecido en las referencias normativas, las instrucciones de instalación, uso y mantenimiento proporcionadas por el proveedor así como las especificaciones de operación pertinentes de la central hidroeléctrica.

El proveedor deberá brindar soporte técnico para la solución de los problemas que se presenten durante el proceso de instalación, uso y mantenimiento del equipo, y capacitar al personal del usuario en los aspectos de instalación, uso y mantenimiento del equipo.

11 Periodo de garantía de calidad

Bajo la premisa de que el producto se almacene, instale y utilice correctamente, el periodo de garantía de calidad será de un año después de la fecha en que se complete la operación de prueba de 72 horas, o dos años después de la fecha de entrega del último lote de mercancías. lo que ocurra antes. Si el equipo se daña o no puede funcionar correctamente debido a la calidad de fabricación durante el periodo de garantía de calidad, el proveedor deberá repararlo o reemplazarlo sin cargo.

Apéndice A
(Informativo)

Principales piezas de repuesto para el turbogenerador hidráulico

Tabla A.1. Principales piezas de repuesto del hidrogenerador de turbina

N.º	Nombre	Unidad	Cantidad			Observaciones
			1—2 unidades	3—4 unidades	5 unidades o más	
1	Bloque de freno, anillo de sellado y resorte	Unidad/conjunto	1	1	1	Piezas de repuesto obligatorias
2	Brocha de carbón	Unidad/conjunto	Un juego para cada unidad o 2 piezas para cada unidad			
3	Silicio de rotación	Pieza	2 piezas por cada unidad			
4	Portaescobillas	Unidad/conjunto	1/4	2/4	3/4	
5	Placa aislante y manguito aislante para el rodamiento	Unidad/conjunto	1	1	1	
6	Componente de medición de temperatura	Pieza	Uno de cada tipo para cada unidad			
7	Bobinado del estátor	Unidad/conjunto	1/15	2/15	3/15	Piezas de repuesto opcionales
8	Cuña de ranura del estátor		1/3 del nivel de reserva de bobinas multiplicando el número de ramas por ranura			
9	Casquillo del cojinete de empuje	Unidad/conjunto	1	1	1	
10	Casquillo de rodamiento guía	Unidad/conjunto	1	1	1	
11	Casquillo de cojinete de deslizamiento (cojinete horizontal)	Unidad/conjunto	1	1	1	

NOTA "Unidad/juego" se refiere a los juegos (o cantidad) de cada unidad.

Apéndice B
(Informativo)

Artículos de inspección de aceptación del turbogenerador hidráulico.

Tabla B.1 Elementos de inspección de aceptación del turbogenerador hidráulico

N.º	Elementos de prueba	Pruebas de entrega	Pruebas de traspaso	Puesta en marcha y ensayo	Prueba de rendimiento	Observaciones
1	Inspección de los componentes químicos y propiedades mecánicas de los componentes y materiales clave.		✓			Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.
2	Prueba de magnetización del núcleo del estátor (pérdida de hierro).		✓			Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.
3	Inspección de rigidez dieléctrica de la bobina formada del estátor.		✓			Aplicar al montaje del estátor dividido completado en el sitio de construcción de la central hidroeléctrica.
4	Medición de la resistencia de aislamiento del bobinado al recinto y entre bobinados.	✓	✓			
5	Medición de la resistencia de aislamiento del componente de medición de temperatura.	✓	✓			
6	Medición de la resistencia CC del bobinado en estado frío real.	✓	✓			
7	Prueba de tensión soportada de CC del bobinado del estátor al gabinete y entre bobinados, así como la medición de la corriente de fuga.	✓	✓			$U_N \geq 6.3$ kV
8	Prueba de tensión soportada de CA de frecuencia de alimentación del bobinado al gabinete y entre bobinados.	✓	✓			
9	Medición de la impedancia de CA del único polo magnético del rotor.	✓	✓			Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.
10	Prueba de equilibrio del rotor	✓	✓			
11	Medición de la resistencia de aislamiento del rodamiento.	✓	✓			No es necesario comprobar la resistencia si el rodamiento no está equipado con aislamiento.

Tabla B.1 (continuación)

N.º	Elementos de prueba	Pruebas de entrega	Pruebas de traspaso	Puesta en marcha y ensayo	Prueba de rendimiento	Observaciones
12	Prueba de tolerancia al voltaje del enfriador	✓	✓			
13	Prueba de tensión soportada del freno	✓	✓			
14	Prueba del sistema aceite-aire-agua			✓		
15	Medición de la temperatura del rodamiento	✓		✓		Si el rodamiento está equipado con un dispositivo de medición de temperatura
16	Calibración de equilibrio dinámico			✓		Si es necesaria.
17	Inspección de la función de frenado			✓		
18	Prueba de exceso de velocidad	✓		✓		
19	Medición de la secuencia de fases	✓		✓		
20	Medición de la tensión del eje			✓		No es necesario comprobar la resistencia si el rodamiento no está equipado con aislamiento.
21	Prueba de las características sin carga	✓		✓		
22	Prueba de sobretensión	✓		✓		
23	Prueba de cortocircuito trifásico en estado estable	✓		✓		
24	Prueba de sobrecorriente	✓		✓		
25	Medición de la vibración y el lanzamiento			✓		
26	Medición de la corriente de excitación nominal y la relación de cambio de voltaje				✓	
27	Medición de la impedancia del bobinado y la constante de tiempo				✓	
28	Medición del factor de distorsión armónica total (THD) de la forma de onda de voltaje				✓	
29	Medición del nivel de ruido				✓	
30	Prueba de aumento de temperatura				✓	
31	Medición de eficiencia y pérdida				✓	Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.
32	Prueba de funcionamiento de modulación de fase de sobreexcitación y fase principal de subexcitación				✓	Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.

Tabla B.1 (continuación)

N.º	Elementos de prueba	Pruebas de entrega	Pruebas de traspaso	Puesta en marcha y ensayo	Prueba de rendimiento	Observaciones
33	Prueba de desprendimiento de carga				✓	A realizarse bajo el 25, 50, 75 y 100 % de las cargas nominales.
34	Prueba de cortocircuito repentino trifásico				✓	Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.
35	Prueba de velocidad fuera de control				✓	Según el acuerdo entre el proveedor y el comprador.
<p>NOTA 1 Los elementos marcados con "✓" en la tabla deberán completarse.</p> <p>NOTA 2 Si el equipo probado no tiene la estructura y función relevantes para un determinado elemento de prueba, no es necesario probar dicho elemento.</p> <p>NOTA 3 Las funciones y piezas adquiridas que no figuran en la Tabla 12 podrán probarse según las disposiciones del proveedor;</p> <p>NOTA 4 Algunas pruebas entre las pruebas de entrega que no se pudieron realizar en las instalaciones del proveedor se pueden realizar en el sitio de la central hidroeléctrica después de instalar el turbogenerador hidráulico.</p>						