

Santiago, 02 de octubre de 2025

Requiere Respuesta Sí ☒ No ☐

**Señor**

**Ernesto Huber J.**

**Director Ejecutivo**

**Coordinador Eléctrico Nacional (CEN)**

**Avda. Parque Isidora N° 1061**

**PUDAHUEL**

**CONTRATO : NUP 1639 PROYECTO HVDC KIMAL – LO AGUIRRE**

**REFERENCIA : -**

**ASUNTO : Inspección técnica de electrodos de las válvulas de los tiristores del sistema HVDC.**

Estimado Director Ejecutivo:

A través de la presente, queremos aportar con nuestra visión técnica y exponer la metodología de mantenimiento que proponemos en relación con la sección 12.1. "Válvulas de tiristores y equipo asociado" del Anexo 5 de las bases de licitación, considerando que en dicha sección se establece que:

"Se incorporarán electrodos con clasificación de platino para el control de la distribución de tensión dentro de la válvula. Se deberán proporcionar los medios para inspeccionar el estado de los electrodos durante el mantenimiento **sin removerlos**".

Los electrodos de platino en las válvulas HVDC cumplen la función de proteger las superficies metálicas, en el control de la distribución de tensión en el medio refrigerante y, en ciertos diseños, como elementos de sacrificio. Sin embargo, tras revisar la experiencia internacional y la práctica de los principales fabricantes de válvulas HVDC, actualmente no existe una tecnología confiable que permita inspeccionar estos componentes sin que sean removidos. Lo anterior, se sustenta en la verificación de los manuales de mantenimiento de los principales fabricantes europeos, así como en la experiencia obtenida en proyectos de referencia como Belo Monte I y Belo Monte II en Brasil, donde el mantenimiento siempre se realiza mediante la remoción programada de electrodos durante paradas preventivas.

En todos los casos analizados, la inspección de los electrodos forma parte de un esquema de mantenimiento planificado, que no compromete la continuidad de la operación del sistema. Además, la bibliografía técnica consultada, incluyendo los artículos "*Electrical performance analysis of grading electrodes after scaling in converter valves*", "*Sediment deposition model of grading electrode in water cooling circuit of HVDC converter valve*" y "*Investigation on deposition behavior of HVDC water cooling system based on electro-mass transfer-velocity coupling model*" confirma que la inspección no invasiva de estos componentes se encuentra en una etapa de desarrollo

tecnológico inicial y que, en la actualidad, la manera efectiva de evaluar su condición es a través de su remoción, limpieza y verificación física. Cabe señalar que fenómenos como la corrosión o la acumulación de sedimentos no representan una causa de disparo inmediato del sistema HVDC, ya que el sistema de refrigeración puede seguir operando con normalidad; por lo que estas tareas se clasifican como mantenimiento preventivo y no correctivo.

Para el proyecto HVDC Kimal – Lo Aguirre, proponemos aplicar un programa de mantenimiento preventivo basado en prácticas internacionales probadas, que contempla la verificación diaria de la conductividad del agua, inspecciones visuales y sonoras del sistema de refrigeración y control periódico de vibraciones y ruidos en motores de circulación. A nivel mensual, estas actividades se complementarán con pruebas adicionales de funcionamiento de los equipos auxiliares. En los mantenimientos anuales se realizará la limpieza de filtros, el alineamiento de conjuntos motor/bomba, la inspección y reemplazo de resinas de deionización cuando corresponda, la apertura y cierre de válvulas del sistema, y la inspección aleatoria de un electrodo superior de válvula, asegurando que en un ciclo de seis años se cubra la totalidad de los electrodos de todas las torres. Esta estrategia progresiva reduce los tiempos de intervención y, al mismo tiempo, permite un control continuo del estado del sistema. Complementariamente, cada seis años se realizará la inspección del 100% de los electrodos de todas las válvulas tiristoras, permitiendo una visión integral de su estado y procediendo a su reemplazo inmediato en caso de detectarse desgaste o daños significativos.

El enfoque de mantenimiento preventivo planteado permite mitigar de manera efectiva los posibles efectos de corrosión o acumulación de depósitos. Es importante señalar que, aun cuando un electrodo presente defectos, el sistema continuará operando sin restricciones, ya que los sedimentos o la corrosión en los electrodos no afectan de forma inmediata el rendimiento general del sistema de enfriamiento. Además, los filtros del sistema de refrigeración retienen los sedimentos y su limpieza anual previene obstrucciones, facilitando una evaluación oportuna sobre la necesidad de anticipar inspecciones completas.

En relación con el mantenimiento predictivo anual, la recopilación sistemática de datos permitirá, avanzar en el corto plazo hacia el desarrollo de un modelo predictivo para el estado de los electrodos. Para ello, se requiere contar con un historial de datos técnicos que permita identificar patrones de degradación o acumulación. Al contar con información debidamente analizada podremos tener una estimación de las necesidades de limpieza, mantenimiento o reemplazo de los electrodos con base en criterios técnicos objetivos, reduciendo la dependencia exclusiva de inspecciones físicas.

La experiencia de proyectos como Belo Monte I y II demuestra que esta metodología no afecta los índices de disponibilidad exigidos contractualmente, manteniendo niveles del 98% anual conforme al numeral 14.1.4.1 del Anexo 5. Dicho valor corresponde a un total de 175,2 horas anuales de indisponibilidad permitida por concepto de mantenimiento e interrupciones forzadas, lo que resulta suficiente para realizar todas las actividades descritas de inspección, limpieza y, en caso necesario, reemplazo de electrodos. En estas condiciones, y siguiendo la experiencia comparada, el mantenimiento anual de válvulas incluyendo la inspección de electrodos puede ejecutarse en

aproximadamente 36 horas, tiempo que resulta compatible con las horas de indisponibilidad definidas en las Bases.

Por otra parte, consideramos necesario precisar que lo señalado en el numeral 12.1.2 del Anexo 5 — relativo a intervenciones cuya duración no debe exceder dos horas desde el apagado hasta el arranque— aplica estrictamente a los módulos de tiristores y sus sistemas de supervisión, y no a componentes auxiliares como los electrodos de platino, que forman parte del sistema de enfriamiento. Para ello, las actividades de inspección y eventual reemplazo de electrodos deben gestionarse en el marco de mantenimientos programados y no se enmarcan en la restricción antes citada.

Finalmente, la metodología de mantenimiento propuesta asegura el cumplimiento de las bases de licitación, cumpliendo específicamente con los requerimientos establecidos en los numerales 12.1.2 y 14.1.4.1 del Anexo 5. En virtud de lo anterior, solicitamos al CEN confirmar que la remoción programada de los electrodos de platino, para efectuar las inspecciones, limpiezas y eventuales reemplazos descritos, cumple con lo establecido en el Anexo 5 de las Bases de Licitación.

Agradecemos la permanente colaboración y disposición del CEN en el desarrollo de este proyecto estratégico y quedamos atentos a su pronta respuesta.



José Mauricio Restrepo Sánchez  
**Gerente Ingeniería y Construcción EECC**  
**Conexión Kimal Lo Aguirre S.A.**  
**RUT: 77.590.896-3**

AGP/LVH/mnj Alfredo Guzman  
Alfredo Guzman (Oct 3, 2025 09:09:11 ADT)

**C.C.:** Sr. Mauricio Dinamarca Cuevas, Subgerente de Grandes Proyectos de Transmisión, Coordinador Eléctrico Nacional.  
Sr. Sergio Ortiz O., Subgerente de Ingeniería y Proyectos, Coordinador Eléctrico Nacional.  
Sr. Mauricio Gaete, Jefe de Proyectos, Coordinador Eléctrico Nacional.  
Archivos CNX.

# CNX-KILO-000-DS-CAR-I-0069\_CEN\_Inspeccion-tecnica-de-electrodos

Final Audit Report

2025-10-03

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| Created:        | 2025-10-02                                     |
| By:             | Mariana Negredo (mnegredo@conexionenergia.com) |
| Status:         | Signed                                         |
| Transaction ID: | CBJCHBCAABAALOTwI7p1RGPiPO1j9Si2h67ZkOgQdiiD   |

## "CNX-KILO-000-DS-CAR-I-0069\_CEN\_Inspeccion-tecnica-de-el electrodos" History

-  Document created by Mariana Negredo (mnegredo@conexionenergia.com)  
2025-10-02 - 8:29:45 PM GMT
-  Document emailed to Alfredo Guzman (aguzman@conexionenergia.com) for signature  
2025-10-02 - 8:30:30 PM GMT
-  Document e-signed by Alfredo Guzman (aguzman@conexionenergia.com)  
Signature Date: 2025-10-03 - 12:09:11 PM GMT - Time Source: server
-  Document emailed to Mauricio Restrepo (mrestrepo@conexionenergia.com) for signature  
2025-10-03 - 12:09:12 PM GMT
-  Email viewed by Mauricio Restrepo (mrestrepo@conexionenergia.com)  
2025-10-03 - 12:20:54 PM GMT
-  Document e-signed by Mauricio Restrepo (mrestrepo@conexionenergia.com)  
Signature Date: 2025-10-03 - 12:21:59 PM GMT - Time Source: server
-  Agreement completed.  
2025-10-03 - 12:21:59 PM GMT