

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

---

**Control de calidad e Inspección en fábrica de tableros de control de pórticos y puentes grúa de la Central Hidroeléctrica de Itaipu**

**Eduardo Velázquez; Oscar Barboza; Murillo Cussolin**

**ITAIPU BINACIONAL**

**Paraguay - Brasil**

**RESUMEN**

En este trabajo son detalladas las principales actividades de inspección realizadas en los nuevos tableros de control de los puentes grúa y pórticos, así como los aspectos relevantes del control de calidad, tales como las condiciones generales de inspección, ensayos de aceptación en fábrica, criterios de aceptación, resultados de las inspecciones, gestión de los defectos y no conformidades, unidades rechazadas y las soluciones adoptadas.

**PALABRAS CLAVES**

Modernización, Control de Calidad, Inspección, Ensayos de Aceptación, Movimiento de Cargas.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

## **1. INTRODUCCION**

El sistema de movimiento de cargas de la Central Hidroeléctrica de Itaipu – CHI está compuesto por puentes grúas y pórticos, y opera desde la construcción de la usina en la etapa de montaje. Actualmente estos equipamientos son fundamentales para las actividades de mantenimiento, para levantar componentes y equipamientos de elevado peso tales como las tapas de los generadores, entre otros.

Naturalmente estos equipamientos se tornaron obsoletos principalmente por la gran dificultad en encontrar piezas de repuestos o en fin de vida útil. Así, con miras a la mejoría en las condiciones de seguridad y con el objetivo de otorgar mayor confiabilidad y disponibilidad a los equipamientos, la adquisición de equipos para un nuevo sistema de movimiento de cargas es parte del proceso de modernización y actualización tecnológica de la CHI. Esta modernización implica en el cambio de todos los componentes eléctricos y electrónicos de los puentes grúa y pórticos, como transformadores, motores, fuentes, tableros, cables de alimentación, sistemas de freno y de regulación de velocidad, iluminación, etc.

La principal misión de la inspección es elevar la confiabilidad de los sistemas y estructuras, salvaguardando la integridad de las instalaciones e incrementando la seguridad de las personas, reduciendo costos de mantenimiento, sustitución de equipos e interrupción de los servicios esenciales.

Aquí son detalladas las principales actividades de inspección realizadas en los nuevos tableros de control de los puentes grúa y pórticos, atendiendo los aspectos relevantes del control de calidad referente a las condiciones generales de inspección, ensayos de aceptación en fabrica, criterios de aceptación, resultados de las inspecciones, gestión de los defectos y no conformidades, unidades rechazadas o retrabajadas y las soluciones adoptadas.

## **2. INSPECCIONES EN LA ITAIPU BINACIONAL**

### **2.1.La División de Inspección**

En la IB [2], la realización de inspecciones es atribución de la División de Inspección (MTSI.DF), del Departamento de Gestión de Stock (MTS.DF), dependiente de la Superintendencia de Materiales (MT.DF), subordinada a la Dirección Financiera (DF).

La inspección de calidad, o simplemente inspección, constituye la evaluación de la conformidad del material con los documentos de compra mediante la observación y juzgamiento, acompañada, de ser necesario, de mediciones, ensayos o comparación con patrones [1].

El hecho de que la unidad organizacional encargada de realizar las inspecciones no esté subordinada a las direcciones usualmente solicitantes de compras de materiales (Dirección Técnica-DT; Dirección de Coordinación-DC; etc.) favorece el control interno de las adquisiciones, debido, entre otros aspectos, a la autonomía, imparcialidad e independencia entre las unidades que participan

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

en la determinación de la propuesta vencedora de un proceso de compra y la unidad cuya atribución es el control de calidad de los suministros correspondientes a dicho proceso.

## **2.2. Condiciones Generales de Inspección**

Dentro de la IB, a cada Solicitud de Pedido (de compra) de materiales y servicios, se atribuye una determinada Clase de Inspección:

Clase 1: Inspección completa durante todo el proceso de fabricación y con el producto terminado, realizada por Inspector de IB en las instalaciones del proveedor. Ejemplo: transformadores de potencia.

Clase 2: Inspección técnica final, con el producto terminado, realizada por Inspector de IB en las instalaciones del proveedor. Ejemplo: tableros eléctricos.

Clase 3: Inspección del producto terminado, en los centros logísticos de IB. Corresponde a los materiales de menor criticidad y costo. En contrapartida, el volumen de materiales con esta Clase de Inspección es usualmente mayor. Ejemplo: empaquetaduras.

Para las inspecciones de Clase 1 y Clase 2, la Contratista debe someter a aprobación de IB un documento llamado Plan de Inspección y Prueba (PIT), elaborado siguiendo los padrones establecidos por las Normas Técnicas, Normas Reglamentarias, Normas de Gestión de Calidad y requisitos contractuales, que establece las verificaciones y ensayos a ser realizados, los documentos de referencia, puntos de inspección, local de inspección y toda la información requerida para verificar la conformidad de los ítems suministrados con los documentos de compra, reduciendo la incertidumbre en relación a que los componentes, materiales o equipos suministrados, sean aptos para satisfacer los requisitos del solicitante y los legales y reglamentarios aplicables, así como cualquier requisito del que dependa la adecuación para el uso de los mismos [1].

Posteriormente, le corresponde a la MTSI.DF, coordinar y ejecutar, con la participación de las áreas solicitantes, cuando sea necesario, la inspección y la liberación técnica de los materiales en adquisición o reparación.

Con el PIT aprobado, la Contratista debe convocar la inspección, con plazos de antecedencia dependientes de la localización de las instalaciones donde se realizará la inspección. Para países del MERCOSUR, este plazo es de al menos 15 días corridos de anticipación al primer evento sujeto a la inspección.

Posterior a la culminación de la inspección, el Inspector elabora un documento llamado Boletín de Inspección (BI), que constituye básicamente un informe de las actividades realizadas y el documento que autoriza a la Contratista el envío de los materiales a IB. En algunos casos, cuando contractualmente exigido, también es elaborado un Certificado de Liberación de Embarque (CLE).

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

### **3. SISTEMA DE MOVIMIENTO DE CARGAS**

De los 24 equipos contemplados en la actualización tecnológica del sistema de movimiento de cargas de la CHI, 16 son puentes grúas y 8 son pórticos. Los 16 puentes grúas están ubicados en la Casa de Fuerza, siendo 8 en la galería de los generadores, 2 en el área de descarga de la margen paraguaya; 2 en el área de descarga de la margen brasileña; 2 en la galería de los transformadores; y 2 en la subestación aislada a gas (GIS).

La menor de ellas tiene capacidad para levantar 10 toneladas; la mayor, 1.000 toneladas. Durante el montaje de las unidades generadoras y en la recuperación de la unidad 06, que ocurrió de septiembre de 2010 a marzo de 2012, dos puentes con capacidad de 1.000 toneladas trabajaron acoplados y de forma conjunta, como si fuera un único equipo, para mover el rotor, la pieza más pesada de la unidad generadora, con 1.760 toneladas.

En cuanto a los pórticos, cinco se utilizan para colocar y retirar los stop-log (compuertas de mantenimiento) durante las paradas de máquinas. Los dos están instalados en la toma de agua (elevación 225) y tres, aguas abajo de la represa, en la elevación 144.

Otro pórtico está ubicado en el vertedero y se utiliza para colocación de los stop-logs (compuertas de mantenimiento) para el mantenimiento de las compuertas hidráulicas de los vertederos.

Además de estos, existen otros dos pórticos, también ubicados en la toma de agua, denominados "limpia-rejas", que se utilizan para la limpieza de las rejillas que quedan en la entrada de los conductos forzados de las Unidades Generadoras.

### **4. ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN DESARROLLADAS**

Las actividades de inspección en fábrica realizadas para cada uno de los principales componentes del sistema, son indicadas a seguir.

#### **4.1. Pantógrafo**

Inspección Dimensional, Prueba de Verificación de las Articulaciones y Fuerza del Resorte, Resistencia de Aislación, Tensión Aplicada, Ensayo de Adherencia y Espesor de la Capa de Pintura.

#### **4.2. Freno del puente rodante**

Inspección dimensional, Inspección visual, Inspección de la pintura.

#### **4.3. Cabina de Comando del Puente Rodante**

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

Inspección visual, Verificación dimensional, Verificación de los certificados de origen de las chapas, Verificación del certificado de origen del conjunto del asiento, Verificación de las medidas de protección contra contacto directo, Verificación del cumplimiento de los requisitos de ergonomía de la normativa NR17.

#### **4.4. Plataformas, Soportes de Tableros y Guarda Cuerpo**

Inspección Visual y Dimensional, Ensayo de Adherencia y Espesor de la Capa de Pintura.

#### **4.5. Tablero eléctrico, compuesto de 5 módulos: protección general, inversor de la elevación auxiliar, dirección del carro y translación del puente, PLC.**

Verificación de la conformidad con los requisitos técnicos especificados, Verificación de los certificados de calibración de los instrumentos utilizados, Inspección visual y dimensional, Prueba de continuidad (punto a punto) del cableado auxiliar y fuerza, Resistencia de aislamiento, Tensión aplicada, Ensayos funcionales de los tableros.

Fueron realizadas además la actuación de todas las salidas digitales y respectivo accionamiento de relés, contactores, siendo utilizado notebook con el software Machine Edition, vía sistema de comunicación Wi-Fi, verificación de la comunicación de las redes Profibus y Ethernet, haciendo uso del Software de programación del inversor (NCDriver; versión 2.0.39) y Machine Edition, verificación del funcionamiento del radio I – Control (emisor/receptor), utilizándose la frecuencia recomendada por el fabricante IKUSI (433.700 MHz), verificación de la lista de materiales, medición del espesor de la camada de pintura y prueba de adherencia en 8 cuerpos-de-prueba (4 correspondiente a la chapa de la estructura y 4 a la placa de montaje), verificación del grado de protección IP54.

#### **4.6. Motor Trifásico de inducción**

Verificación de la placa de datos, Inspección visual, Inspección dimensional, Inspección de la caja de conexiones, Medición de resistencia óhmica, Resistencia de aislamiento, Tensión aplicada, Prueba en vacío, Inspección de la pintura.

#### **4.7. Transformadores reductores trifásicos de aislamiento seca**

Verificación de certificados, Inspección visual, Verificación dimensional, verificación del espesor y adherencia de la pintura, medición de resistencia de aislamiento, tensión aplicada, tensión inducida, descargas parciales, medición de resistencia óhmica de bobinados, relación de transformación y grupo de conexionado, pérdidas en carga e impedancia de cortocircuito, pérdidas en vacío y corriente de excitación, elevación de temperatura, parametrización y verificación de funcionamiento de relés de temperatura.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

---

#### **4.8. Tableros eléctricos de Baja y Media Tension**

Verificación de la conformidad con los requisitos técnicos especificados, verificación de los certificados de calibración de los instrumentos utilizados, inspección visual y dimensional, prueba de continuidad (punto a punto) del cableado auxiliar y de fuerza, resistencia de aislamiento, tensión aplicada, ensayos funcionales en los tableros, verificación de la lista de materiales, medición del espesor de la camada de pintura y prueba de adherencia, verificación del grado de protección IP54.

### **5. DISCUSION DE RESULTADOS**

En este ítem son detalladas las principales discrepancias y No Conformidades detectadas, así como las providencias tomadas y soluciones adoptadas durante las actividades de inspección y ensayos de aceptación en fábrica, en cada uno de los principales componentes del sistema de movimiento de cargas, objeto de este trabajo.

#### **5.1. NO CONFORMIDADES DETECTADAS**

##### **5.1.1. Pantógrafos**

Fueron inspeccionados 12 Pantógrafos del tipo Vertical y 2 Pantógrafos de puesta a tierra, de los cuales fueron detectadas dos unidades con pintura dañada y una con espesor por debajo del valor especificado de 80  $\mu\text{m}$ .

Fue verificado que el resorte utilizado en los pantógrafos era el tipo helicoidal, en discrepancia con el tipo indicado en las especificaciones técnicas, que debería ser de cinta espiral embutido en el brazo colector.

Los pantógrafos del tipo vertical poseen aisladores de color marrón y los de puesta a tierra no poseen aisladores. Según las especificaciones técnicas deben ser aisladores de color amarillo para el neutro. Ambas situaciones estaban contempladas en los diseños del fabricante.

##### **5.1.2. Cabina de comando**

A seguir son indicadas las principales No Conformidades detectadas:

- Chapas relativas al anclaje de la cabina al soporte presentaron corrosión tipo “Pitting” alrededor de los agujeros de sujeción.
- Soldaduras con catetos menores a los 3 mm especificados y un área con falta de material en el tubo cuadrado contiguo, así como zonas con poros, solape y

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

salpicaduras, cordones con mordeduras que disminuyen el espesor de los catetos y con zonas de porosidad. En las escaleras para ambas cabinas, se constató que los tubos de los escalones son abiertos en los extremos, por lo que puede causar oxidación debido a la imposibilidad de pintar internamente.

- Discrepancias dimensionales con relación a los diseños, así como detalles constructivos varios.
- El mecanismo de abertura de la tapa de acceso superior de ambas cabinas presentaba bastante resistencia para su abertura, dañando la pintura de ambas piezas y generando focos sujetos a corrosión.
- Zonas con inclusión de arena, escurrimiento de pintura, salpicaduras, áreas con cobertura insuficiente y regiones sin pintura.
- Fueron encontradas piezas que necesitaron reparos locales de pintura.

### **5.1.3. Plataformas, soportes de tableros y guarda cuerpo**

A seguir son indicadas las principales No Conformidades detectadas:

- Fueron encontradas piezas que necesitaron reparos locales de pintura.
- Junta soldada con solape, con falta de fusión al metal de base.
- Algunas chapas de los rodapiés de los guardacuerpos correspondientes presentaron cierta curvatura, con valores entre 6 y 10 mm de desvío de planicidad, siendo que la tolerancia es de 4,5 mm, tomando como referencia la norma ISO 13920 Clase F.
- Varios puntos diferentes de los diseños originales, así como dimensiones fuera de las tolerancias de la norma la ISO 13920.
- Diversas piezas con necesidad de reparos locales de pintura.

### **5.1.4. Freno del puente rodante**

A seguir son indicadas las principales No Conformidades detectadas:

- Algunas medidas se encontraban fuera de la tolerancia dimensional indicada en el proyecto.
- Todos los motores de los frenos eran de frecuencia 60 Hz, debiendo ser de 50 Hz.
- Espesor de pintura con valor de 50µm, y lo especificado es mayor a los 80 µm.
- Pequeños defectos e imperfecciones visuales en la pintura.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

**5.1.5. Tablero eléctrico, compuesto de 5 módulos: Protección general, Inversor de la elevación auxiliar, Dirección del carro y translación del puente, PLC.**

A seguir son indicadas las principales No Conformidades levantadas y discrepancias con relación a las especificaciones técnicas:

- Disposición de los conductores en el ducto eléctrico con tasa de ocupación mayor que 70% da área, presencia de dos conductores en un único terminal.
- Pedazos de cables (circuito de iluminación y calefacción) en contacto directo con la chapería metálica.
- Todos los cables conductores utilizados en las conexiones del PLC presentaban diámetro de 1,0 mm<sup>2</sup>, inferior a lo especificado (mínimo 1,5 mm<sup>2</sup>).
- Todas las anillas de identificación utilizados en el cableado del PLC estaban instaladas en el interior del ducto eléctrico horizontal, impidiendo su visualización.
- Falta identificación de las reglas de bornes en todos los tableros.
- Algunas barras de cobre no poseían contactos redondeados.
- No fueron previstos bornes tipo reserva.
- Ausencia del sistema de cojines para evitar vibración excesiva del conjunto.
- Las chapas de acero utilizadas en la fabricación de los tableros estaban divergentes, debiendo ser 12 USG (3mm) para a estructura y 14 USG (2mm) para las demás partes.
- Las placas de transformadores de corriente indicaban frecuencia de 60 Hz, debiendo ser 50 Hz.
- La barra de cobre, instalada era de 25 x 4 mm, debiendo ser de 20 x 5 mm.
- La disposición interna de los componentes y el cableado estaban divergentes del plano aprobado.

Durante la ejecución de la prueba de continuidad (ponto a ponto) del cableado auxiliar y de fuerza, fueron detectados algunas anomalías, como las indicadas a seguir:

- Los resistores de calefacción no poseían el cableado correspondiente.
- Los cables de alimentación de los disyuntores de fuerza, eran menores a 4 mm<sup>2</sup> de sección, siendo que conforme proyecto debían ser de 6 mm<sup>2</sup>

Entre las No Conformidades y discrepancias detectadas durante las actividades de inspección y ensayos de aceptación en fabrica, se destacan en general: pintura defectuosa, indicios de corrosión, discrepancias dimensionales, defecto de soldadura o soldadura insuficiente, características de materiales diferentes de la lista indicada en los planos

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

aprobados, problemas de corrosión superficial o sitios susceptibles a sufrir corrosión futura, etc.

Con relación a los demás componentes principales del sistema como ser: Motor trifásico de inducción, Transformadores reductores trifásicos de aislación seca y Tableros eléctricos de baja y media tensión, no ocurrieron discrepancias importantes, motivo por el cual fueron aprobados en la primera inspección, una vez corregidas dichas discrepancias.

## **5.2. PROVIDENCIAS TOMADAS Y SOLUCIONES ADOPTADAS**

Las principales providencias tomadas y soluciones adoptadas entre otras incluyeron, en algunos casos, soluciones inmediatas sin mayores consecuencias, tales como corrección de los planos aprobados, reparo de piezas o pintura, corrección de discrepancias dimensionales, ajuste de las características de materiales a la lista indicada en los planos, etc.

En otros casos hubo reprobación o rechazo de piezas con la no Liberación Técnica, generando discusiones con el usuario final de Itaipu y/o fabricante sobre modificación de diseños, defecto de soldadura o soldadura insuficiente, problemas de corrosión superficial, indicios de corrosión o sitios susceptibles a sufrir corrosión futura; llevando en varios casos, inclusive, hasta a la convocación de otras inspecciones, para finalmente proceder a la aprobación final de los equipos, una vez corregidas dichas discrepancias y No Conformidades.

## **6. CONCLUSIONES**

La inspección de los 16 puentes grúas y 8 pórticos, que componen el sistema de movimiento de cargas de la Central Hidroeléctrica de Itaipu, han demostrado más una vez la necesidad de una ejecución minuciosa y rigurosa de las actividades de inspección y ensayos de aceptación en fábrica, por parte de área de inspección en lo que se refiere a la garantía de conformidad de los equipos adquiridos con las especificaciones técnicas, demás documentos contractuales y normas técnicas pertinentes.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- [1] Manual de Inspecciones. ITAIPU BINACIONAL, Paraguay-Brasil, 2020.
- [2] Reglamento Interno. ITAIPU BINACIONAL, Paraguay-Brasil, 1992.