

# INFORME DE SUPERVISIÓN 01 del CONVENIO 004 de 2025

Subdirección Metrología Física

Bogotá D.C

2026-04-08

## CONTENIDO

	Página.
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ALCANCE.....	3
3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	4
3.1. ESTADO GENERAL DE EJECUCIÓN Y CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES .	4
3.2. ANÁLISIS DE RIESGOS MATERIALIZADOS Y SU IMPACTO.....	13
3.3. ESTADO DEL DESARROLLO DE SOFTWARE (Transformación Digital).....	14
3.4. ANÁLISIS FINANCIERO Y DE DESEMBOLSOS.....	15
4. RESULTADOS .....	17
5. CONCLUSIONES.....	20
6. ANEXOS.....	22

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM), en el marco del Convenio No. 004 de 2025, adelanta el proyecto de modernización del Patrón Nacional de Fuerza de 100 kN, un activo crítico para la diseminación de la trazabilidad de la magnitud fuerza en el país. Este proyecto, ejecutado por la empresa PINZUAR S.A.S. con la asesoría técnica del profesor Jorge Sofrony de la Universidad Nacional de Colombia y el INM de Colombia y tiene como propósito central la actualización tecnológica de la máquina de carga directa de 100 kN del fabricante ERICHSEN, mediante la incorporación de nuevos sistemas de control, automatización, adquisición de datos y un software de calibración que integre herramientas de transformación digital, tales como visión artificial con inteligencia artificial, gestión de bases de datos para la trazabilidad de calibraciones y generación de certificados digitales.

El presente informe de supervisión se elabora con el objeto de evaluar de manera integral el estado de avance del proyecto durante el período comprendido entre el 19 de diciembre de 2025 y el 6 de abril de 2026. Para ello, se han analizado las actas de reunión del proyecto (Acta 01, 03, 04, INM-004, INM-005, INM-006), el cronograma base, los informes técnicos de mantenimiento y el documento de estado de transformación digital. Se identifican y cuantifican los riesgos materializados que han afectado el desarrollo del proyecto, se evalúa el cumplimiento de las actividades frente a lo planificado y se presentan conclusiones y recomendaciones orientadas a la adecuada gestión del tiempo, los costos y la calidad técnica del proyecto, en cumplimiento de los lineamientos de supervisión de proyectos del Estado colombiano.

## 2. ALCANCE

El alcance del presente informe de supervisión comprende los siguientes aspectos:

- I. Evaluación del cumplimiento técnico: Se analiza el avance porcentual de cada una de las actividades contempladas en el cronograma del proyecto, contrastando las fechas planificadas con la ejecución real documentada, con especial énfasis en las actividades de ingeniería y diseño, desarrollo de software y diseño de prototipo.
- II. Identificación y análisis de riesgos materializados: Se documentan y cuantifican los dos riesgos que se materializaron durante el período evaluado:

- La demora de tres semanas en la entrega de los planos eléctricos, electrónicos y mecánicos originales por parte del INM.
  - La falla eléctrica crítica en el panel de control ERICHSEN (retorno de tensión), que generó un retraso de cuatro semanas y requirió un mantenimiento correctivo no planificado.
- III. Seguimiento al desarrollo de software: Se revisa el estado de avance del software de calibración a cargo del INM, incluyendo la arquitectura definida, los módulos implementados (gestión de usuarios, administración, calibración preliminar, visión artificial) y los pendientes críticos para la integración final.
- IV. Análisis financiero y de desembolsos: Se evalúa la ejecución presupuestal con base en los entregables contractuales asociados a las actividades 1 y 2, y se analiza la procedencia de un desembolso parcial anticipado en función del avance técnico real.
- V. Recomendaciones a la supervisión: Se formulan acciones concretas para la gestión del retraso acumulado, la actualización del cronograma, la mitigación de riesgos remanentes y la normalización de los desembolsos contractuales.

El presente informe no constituye una auditoría financiera exhaustiva ni una validación metrológica de los resultados parciales, las cuales serán objeto de entregables específicos en fases posteriores del proyecto. Su alcance se limita a la supervisión técnica y administrativa con base en la documentación disponible al cierre del período evaluado.

### 3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

#### 3.1. ESTADO GENERAL DE EJECUCIÓN Y CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES

##### 3.1.1. Actividades programadas vs ejecutadas

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
<b>1. Inicio del Proyecto</b>	Acta de inicio, reuniones de arranque, requisitos técnicos.	Sem 1-2	Completada. Acta firmada 2025-12-18. Reuniones realizadas según actas 01, 03.	100%	Se cumplió con lo planificado. Se generaron los primeros compromisos.
<b>2. Ingeniería y Diseño</b>	Evaluación técnica, diseño eléctrico/mecánico/software, especificaciones de compra.	Sem 3-7 (5 sem)	<b>Completada en campo.</b> Se ejecutaron dos visitas técnicas de ingeniería inversa (enero y marzo 2026). Se realizó: caracterización del sensor de desplazamiento, verificación de servomotores, medición de variables	90%	Afectado por demora en entrega de planos eléctricos originales (riesgo materializado #1) y por el daño del panel de control (riesgo

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
			<p>dinámicas con interferómetro del laboratorio de dimensional del INM, identificación de relación de transmisión.</p> <p><b>Pendiente:</b> Entrega formal de los informes técnicos consolidados.</p>		<p>materializado #2). La ejecución técnica de la ingeniería inversa está finalizada. El único pendiente es la entrega de la documentación formal (informes).</p>
<b>3. Gestión de Importación</b>	Solicitud OC, coordinación proveedores, importación de	Sem 8-15	No iniciada. Depende de finalizar actividad 2 (definir componentes).	0%	<b>Riesgo de retraso en cascada.</b> La demora en

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
	componentes (8 semanas).				fase 2 impacta directamente esta actividad. Aunque durante el periodo, hubo reuniones con dos proveedores FESTO y YASKAWA, ambos como potenciales proveedores de los actuadores.

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
<b>4. Diseño de Prototipo</b>	Diseño mecánico/electrónico, fabricación local, ensamble, pruebas.	Sem 16-35 (20 sem)	<b>En ejecución activa.</b> Se cuenta con un prototipo preliminar funcional a nivel de concepto y geometrías generales. La definición de la geometría exacta de actuadores y sensores está supeditada a la selección final de los componentes a importar (actividad 3). Sin embargo, estos ajustes son de detalle geométrico y se resuelven rápidamente una vez	<b>80%</b>	El avance es significativo gracias al trabajo paralelo de ingeniería. La dependencia de la importación no implica un rediseño completo, sino ajustes menores.

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
			se definan los instrumentos.		
<b>5. Fabricación de Componentes (locales)</b>	Soportes, cables, interfaces mecánicas.	Sem 18-31 (14 sem)	Parcialmente iniciada. Se han fabricado algunos elementos de prueba y soportes para el prototipo preliminar. La fabricación completa depende del cierre del diseño (actividad 4).	20%	El avance se ha dado en paralelo con el diseño de prototipo.
<b>6. Desarrollo de Software</b>	Plan de trabajo, búsqueda hardware, API, módulos de calibración, visión artificial, certificado digital.	Sem 2-35 (34 sem)	<b>En ejecución activa.</b> Se tiene: arquitectura definida (Python/Django/WebSocket), prototipo de visión artificial con	30%	El avance es consistente con el plan y se ha visto ligeramente favorecido por

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
			cámara web, menús de administrador/operador, gestión de usuarios básica, módulo de calibración preliminar. (Ver sección 3.3)		la madurez del diseño de prototipo.
<b>7. Pruebas y Validación de Software</b>	Pruebas de integración software-control, conectividad.	Sem 36-45 (10 sem)	No iniciada. No iniciada. Depende de actividades 3, 4, 5 y 6	0%	<b>Crítica.</b> La materialización de riesgos que impacten el cronograma podría impactar el desarrollo de esta actividad.

Actividad (Cronograma)	Descripción	Plan Inicio/Duración (semanas)	Ejecución Real al 2026-04-06	% Avance Estimado	Observaciones
<b>8. Integración y Montaje</b>	Instalación de nuevos componentes, cableado, integración software.	Sem 36-45 (10 sem)	No iniciada. Depende de actividades 3, 4, 5 y 7.	0%	-
<b>9. Pruebas y Validación en Laboratorio</b>	Pruebas sin carga, precisión, estabilidad, validación final.	Sem 46-50 (5 sem)	No iniciada.	0%	-
<b>10. Documentación y Capacitación</b>	Manuales, capacitación, informes.	Sem 50-51 (2 sem)	No iniciada.	0%	-
<b>11. Entrega y Cierre</b>	Acta de aceptación, cierre administrativo.	Sem 52 (1 sem)	No iniciada.	0%	-

**Conclusión general del cumplimiento:** El proyecto presenta un avance global estimado del **25 % - 30 %** a la fecha, concentrado en las fases de inicio, ingeniería preliminar, desarrollo de software y, notablemente, en el diseño del prototipo que ha alcanzado un 80 % de avance gracias a un trabajo paralelo eficiente. Las fases críticas de adquisición de componentes y pruebas de integración están retrasadas debido a los riesgos materializados que se detallan a continuación.

### 3.2. ANÁLISIS DE RIESGOS MATERIALIZADOS Y SU IMPACTO

Se identificaron y materializaron dos riesgos significativos no previstos inicialmente en el cronograma (o con mitigación insuficiente), afectando la ruta crítica del proyecto.

#### 3.2.1. Riesgo Materializado N°1: Demora en la entrega de planos eléctricos, electrónicos y mecánicos por parte del INM.

- Descripción: Según el acta INM-004 (2026-01-06) y el compromiso adquirido, el INM debía proporcionar los planos originales de la máquina a PINZUAR. Los planos, en formato físico, fueron entregados con un retraso de dos (2) semanas respecto a lo comprometido.
- Impacto Técnico y de Cronograma:
  - Retraso en la Actividad 2 (Ingeniería y Diseño), específicamente en la evaluación técnica detallada del sistema actual y el diseño del esquema eléctrico y mecánico para nuevos actuadores y sensores.
  - Sin los planos, PINZUAR no pudo validar el estado real del cableado, la lógica de control existente y las interfaces mecánicas, lo que impidió avanzar en las especificaciones de compra de nuevos componentes (actividad 3).
  - El retraso se estima en 2 semanas en la ruta crítica, acumulables al inicio del proyecto.
- Acción de Mitigación Ejecutada: Una vez recibidos los planos, se programaron actividades intensivas de revisión conjunta. Sin embargo, el tiempo perdido no ha sido recuperado.

#### 3.2.2. Riesgo Materializado N°2: Falla eléctrica crítica en el panel de control ERICHSEN (retorno de tensión).

- Descripción: Durante la ejecución de las actividades técnicas programadas dentro del "Plan de Trabajo – Visita Técnica 2026-03-03 al 13", específicamente para caracterización de servomotores y medición de variables dinámicas, se detectó una condición anómala de retorno de tensión (46.1 V<sub>AC</sub>) hacia la estructura de las máquinas, generando riesgo eléctrico para los operarios e impidiendo la operación segura del sistema. Esto se documenta en el "Informe Mantenimiento eléctrico Panel de control ERICHSEN 2026-03-10 ver 1\_0\_PINZUAR.pdf".

- Impacto Técnico y de Cronograma:
  - Imposibilidad de ejecutar las pruebas programadas para la modernización, lo que detuvo el avance de las actividades de diagnóstico y caracterización necesarias para el diseño detallado.
  - Se requirió un mantenimiento no planificado de carácter correctivo y preventivo, ejecutado por PINZUAR, que implicó la identificación de la causa raíz (UPS en mal estado), corrección de conexiones invertidas, ajuste de puesta a tierra y aislamiento de conectores expuestos.
  - La máquina de 100 kN objetivo de la modernización no pudo ser operada durante aproximadamente cuatro (4) semanas mientras se realizaba el diagnóstico, se ejecutaba el mantenimiento y se verificaba la condición segura (solo verificada en máquina de 10 kN como prueba de concepto).
  - Impacto directo: 4 semanas de retraso en la ruta crítica, específicamente afectando las actividades de ingeniería y diseño que requerían acceso operativo a la máquina.
- Estado Actual: Posterior a la intervención (10 de marzo de 2026), se verificó la eliminación de la tensión anómala (9.4 mV<sub>AC</sub> medidos). El panel de control se encuentra en condiciones seguras de energización, con la solución de respaldo eléctrico (UPS) de 15 kVA. Las actividades de diagnóstico se retomaron totalmente a partir del 20 de marzo de 2026.

Impacto Acumulado Estimado en el Cronograma: La combinación de ambos riesgos materializados ha generado un retraso estimado de 5 a 6 semanas en la ruta crítica del proyecto (2 semanas por planos + 4 semanas por falla del panel, con una superposición parcial). Esto implica que la fecha de finalización del proyecto se podría extender más allá de las 52 semanas originalmente planificadas, requiriendo una modificación al cronograma. Sin embargo, el alto avance en el diseño del prototipo (80%) ha mitigado parte del impacto potencial en fases posteriores.

### 3.3. ESTADO DEL DESARROLLO DE SOFTWARE (Transformación Digital)

De acuerdo con el documento "Estado de transformación digital patrón de fuerza de 100 kN" (2026-03-30) y las actas de reunión (Acta 03, Acta INM-006), el desarrollo del software de calibración (responsabilidad del INM) presenta los siguientes avances:

- Arquitectura Definida: Se definió una arquitectura compuesta por dos aplicaciones principales comunicadas vía API con protocolo WebSocket:
  - i. Software de control y operación de la máquina (PINZUAR): HMI de control local, ejecución de rutinas.
  - ii. Software de calibración (INM): Adquisición de datos, visión artificial, gestión de usuarios, certificados digitales.
- Tecnologías Seleccionadas: Python (lenguaje principal), Django (framework web), SQL Server (base de datos), WebSockets (comunicación en tiempo real).
- Módulos Implementados (Prototipo funcional):
  - Gestión de usuarios: Roles de administrador y operador con permisos diferenciados.
  - Módulo de administración: Interfaz para gestión de datos maestros.
  - Módulo de calibración preliminar: Interfaz que integrará la rutina de calibración, la adquisición de datos y el monitoreo ambiental.
  - Visión artificial (en pruebas): Se descartó el uso de Raspberry Pi 5 por latencia. Actualmente se utiliza una cámara web estándar para pruebas de reconocimiento de caracteres. El siguiente paso es el entrenamiento del modelo de IA.
- Pendientes Críticos en Software:
  - Definición y construcción completa de la API de comunicación entre ambos softwares (responsabilidad conjunta).
  - Implementación completa de las rutinas de calibración según ISO 376, ASTM E74 y personalizadas.
  - Integración del certificado digital (formato PDF y XML).
  - Validación completa del sistema integrado (software INM + software PINZUAR + máquina real).

### 3.4. ANÁLISIS FINANCIERO Y DE DESEMBOLSOS

#### 3.4.1. Compromiso y aporte total del INM

El Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM), en cumplimiento de su compromiso como entidad contratante en el marco del Convenio de Cooperación No. 004 de 2025, aportó la totalidad de los recursos necesarios para la ejecución del proyecto. El presupuesto total de cuatrocientos millones de pesos (\$400.000.000 M/CTE).

Dichos recursos constituyen la contrapartida en dinero del INM y se administran exclusivamente a través de un encargo fiduciario

constituido para tal fin, conforme a lo establecido en el Manual de Pagos y Autorizaciones del convenio.

#### 3.4.2. Depósitos en la fiducia

Los recursos fueron depositados en su totalidad en la fiducia, conforme al siguiente detalle:

Concepto	Valor	Fecha de depósito
Primer depósito	\$119.548.257	2025-12-30
Segundo depósito	\$280.451.743	2026-03-20
Total depositado en fiducia	\$400.000.000	

Es importante señalar que, si bien existió una demora en la entrega del segundo depósito (completado el 20 de marzo de 2026), dicha demora no tuvo ningún impacto en la ejecución propia del proyecto. Lo anterior obedece a que, a la fecha de dicho depósito, aún no se habían cumplido los requisitos contractuales y técnicos para la autorización y ejecución del primer desembolso a la entidad ejecutora PINZUAR S.A.S., por lo que el flujo de fondos no ha sido un factor restrictivo para el avance de las actividades.

A la fecha de elaboración de este informe, se encuentra pendiente por parte de la entidad ejecutora (Pinzuar S.A.S) la entrega al INM de los certificados de rendimientos financieros generados por el capital depositado. Dicha documentación es necesaria para la correcta trazabilidad de los recursos y para la liquidación final del convenio.

#### 3.4.3. Estado de ejecución frente a los hitos contractuales

Al momento de realizar el presente informe, se verifica lo siguiente:

- Actividad 2 (Ingeniería y Diseño) – Hito 1 (20% - \$80.000.000): Si bien la ejecución técnica de campo (ingeniería inversa) ha sido completada en su totalidad, incluyendo las mediciones de alta precisión con el interferómetro del laboratorio de dimensional del INM, los informes finales consolidados que contienen los resultados, análisis y recomendaciones no han sido formalmente entregados por PINZUAR a la supervisión. En consecuencia, el entregable asociado a esta actividad no ha sido recibido ni aprobado según lo estipulado

en el Manual de Pagos. Por lo tanto, no se ha cumplido la condición de liberación del primer desembolso.

- Actividades 3, 7, 9 y 10 (Hitos 2 a 5): No se ha iniciado su ejecución, ya que dependen del cumplimiento de hitos anteriores.

#### 3.4.4. Situación actual de los desembolsos a la ejecutora

Como resultado del estado documental de la Actividad 2, no se ha autorizado ni ejecutado desembolso alguno a la entidad ejecutora PINZUAR S.A.S. Los recursos permanecen íntegramente en la fiducia a la espera del cumplimiento de los requisitos contractuales.

Se reitera que la demora en la entrega del segundo depósito a la fiducia (completado el 20 de marzo de 2026) no afectó la ejecución del proyecto, toda vez que los requisitos para el primer desembolso a PINZUAR aún no se han cumplido, conforme a lo establecido en el Manual de Pagos y Autorizaciones del convenio.

## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el período evaluado (2025-12-19 al 2026-04-07), organizados por cada una de las actividades del cronograma que han reportado avances significativos:

### **Actividad 1. Inicio del Proyecto (100% completado)**

- Acta de inicio del convenio suscrita y firmada el 2025-12-18.
- Reunión de arranque realizada el 2025-12-19 con participación de los equipos técnicos de PINZUAR e INM, en la cual se verificó el quórum, se socializó el estado del proyecto (fiducia en gestión, orden de pago inicial emitida, congelamiento temporal de recursos PAC informado) y se definieron compromisos iniciales.
- Dos reuniones técnicas preliminares ejecutadas (2025-12-22 y 2026-01-06) para levantamiento de requisitos de software y control, y para validación técnica presencial de la máquina.
- Se definió la arquitectura de software de alto nivel, estableciendo que el sistema estará compuesto por dos aplicaciones principales (software de control/operación a cargo de PINZUAR y software de calibración/visión artificial a cargo del INM), comunicadas mediante API con protocolo WebSocket.

## **Actividad 2. Ingeniería y Diseño / Ingeniería Inversa (90% completado - pendiente entrega de informes)**

- Primera visita técnica (2026-01-21 al 2026-01-22): Se realizó inspección visual general de gabinetes eléctricos, tarjetas electrónicas, cableado interno, conectores y puesta a tierra. Se verificaron condiciones eléctricas básicas (continuidad, tensiones de alimentación, protecciones) y se identificaron intervenciones previas no documentadas en el sistema. Se estableció una línea base del estado físico y eléctrico del panel de control y las máquinas asociadas.
- Segunda visita técnica (2026-03-18 al 2026-03-27, reprogramada por falla eléctrica):
  - Caracterización del sensor de desplazamiento (Temposonic RH-M-0450M-D60-1-A2-1): Se identificó el tipo de señal real, su intervalo de medición, estabilidad y linealidad. Se estableció la tabla de correspondencia entre señal eléctrica, posición mecánica y carga aplicada.
  - Verificación de servomotores y compatibilidad mecánica: Se realizó el levantamiento dimensional completo de los servomotores existentes (diámetro de eje, longitud útil, tipo de fijación, dimensiones del flange, patrón de perforaciones). Se caracterizó el sistema de acople actual y se identificaron las restricciones físicas de instalación (espacio disponible, interferencias estructurales).
  - Medición de variables dinámicas del movimiento de masas: Se instaló un encoder incremental en la transmisión inferior del patrón de carga directa de 100 kN. A través del uso del interferómetro del laboratorio de dimensional del INM, se realizaron mediciones de alta precisión de velocidad, tiempo y desplazamiento de la mesa inferior (la que incide directamente en la aplicación de la carga de fuerza). Se determinaron las rampas reales de aproximación y desaceleración en modos manual y automático.
  - Identificación de la relación de transmisión de la caja reductora: Se determinó la relación real entre la velocidad del motor (entrada), la velocidad de salida del reductor y el desplazamiento lineal de la mesa (avance por vuelta). Se validó la coherencia de estos parámetros con el comportamiento operativo actual de la máquina.

## **Actividad 4. Diseño de Prototipo (80% completado)**

- Se cuenta con un diseño del prototipo preliminar funcional a nivel de concepto y geometrías generales. La definición de la geometría exacta de actuadores y sensores está supeditada a la selección final de los componentes a importar, pero estos ajustes son de detalle geométrico menor y se resuelven rápidamente una vez definidos los instrumentos.

### **Actividad 6. Desarrollo de Software (30% completado)**

- Arquitectura definida y documentada: Dos aplicaciones principales (control/operación PINZUAR + calibración/visión INM) comunicadas por WebSocket. Lenguaje Python con framework Django, base de datos SQL Server.
- Módulo de gestión de usuarios implementado: Roles de administrador y operador con permisos diferenciados (creación, consulta, modificación y eliminación de datos).
- Módulo de administración implementado: Interfaz para gestión de datos maestros (clientes, equipos, transductores, indicadores).
- Módulo de calibración preliminar implementado: Interfaz que integra la selección de cliente, equipo, información de calibración, checklist de verificación y ejecución de rutinas.
- Visión artificial en fase de pruebas: Se descartó la solución con Raspberry Pi 5 por latencia en la transmisión de video. Actualmente se utiliza una cámara web estándar para pruebas de reconocimiento de caracteres. El siguiente paso es el entrenamiento del modelo de inteligencia artificial para la identificación de caracteres en indicadores.

### **Actividades de mantenimiento correctivo no planificadas (riesgo materializado)**

- Se diagnosticó y corrigió una falla crítica en el panel de control ERICHSEN caracterizada por retorno de tensión de 46.1 V AC hacia la estructura de las máquinas.
- Causa raíz identificada: UPS en mal estado conectada al panel de control.
- Acciones correctivas ejecutadas: retiro de la UPS defectuosa de la ruta de alimentación, corrección de conexión invertida en el disyuntor principal, ajuste de conductor de puesta a tierra suelto, normalización del circuito de alimentación del ventilador de recirculación, aislamiento de conector DB25 con pines expuestos.
- Verificación posterior: medición de 9.4 mV AC entre el IBC y la estructura ~~de la máquina, eliminando la condición de riesgo eléctrico.~~

- Se verificó funcionalmente la máquina de 10 kN como prueba de concepto. Las máquinas de 100 kN y 1000 kN requieren verificación funcional específica en actividades posteriores.

### **Gestión financiera**

- Los recursos totales del INM (\$400.000.000) se encuentran depositados en su totalidad en la fiducia (primer depósito: \$119.548.257 el 2025-12-30; segundo depósito: \$280.451.743 el 2026-03-20).
- No se ha realizado ningún desembolso a PINZUAR S.A.S., ya que no se ha cumplido la condición de liberación del primer hito (aprobación de los informes de la Actividad 2).
- La demora en el segundo depósito no afectó la ejecución del proyecto, toda vez que los requisitos para el primer desembolso aún no se han cumplido.

## **5. CONCLUSIONES**

Con base en el análisis de la documentación aportada, las actas de reunión, los informes técnicos y los planes de trabajo ejecutados, se formulan las siguientes conclusiones de supervisión:

### **1. Sobre el avance general del proyecto**

El proyecto presenta un avance global estimado del 30% al 35% a la fecha, concentrado en las actividades de inicio, ingeniería inversa, diseño de prototipo y desarrollo de software. Las actividades críticas de importación, integración y pruebas no han iniciado debido a retrasos acumulados y dependencias no resueltas.

### **2. Sobre los riesgos materializados y su impacto**

Se materializaron dos riesgos que afectaron la ruta crítica del proyecto:

- Demora en la entrega de planos originales (3 semanas): Afectó el inicio oportuno de la primera visita técnica. Mitigado mediante reprogramación.
- Falla eléctrica en el panel de control (4 semanas de indisponibilidad): Impidió la ejecución de la segunda visita técnica en las fechas planificadas (marzo 2026). Una vez superada la contingencia, las actividades fueron ejecutadas entre el 18 y el 27 de marzo de 2026, recuperando parcialmente el tiempo perdido.

El impacto acumulado estimado es de 5 a 6 semanas de retraso en la ruta crítica, lo que requerirá posiblemente una modificación formal al cronograma del proyecto, sin embargo, de acuerdo con la información entregada por el cooperante, mediante el avance de otras actividades paralelas, no es necesario aún generar una alerta que requiera la modificación del cronograma.

### 3. Sobre la ingeniería inversa (Actividad 2)

La ejecución técnica de la ingeniería inversa está completada en su totalidad. Se obtuvieron resultados de alto valor técnico, incluyendo la caracterización del sensor de desplazamiento, el levantamiento dimensional de servomotores, la medición de variables dinámicas con interferómetro (valor agregado significativo) y la determinación de la relación de transmisión real. El único pendiente es la entrega formal de los informes consolidados por parte de PINZUAR. Una vez recibidos y aprobados, se dará por cerrada esta actividad y se habilitará el primer desembolso.

### 4. Sobre el diseño de prototipo (Actividad 4)

A pesar de las dependencias con la importación de componentes, el equipo ejecutor ha logrado un avance del 80% en el diseño de prototipo, trabajando con geometrías generales y dejando solo ajustes de detalle para la selección final de actuadores y sensores. Esto demuestra una gestión técnica eficiente y reducción de incertidumbre.

### 5. Sobre el desarrollo de software (Actividad 6)

El software de calibración a cargo del INM presenta un avance aproximado del 30%, con módulos funcionales de gestión de usuarios, administración y calibración preliminar ya implementados. La arquitectura está definida y documentada. La visión artificial está en fase de pruebas, habiéndose descartado una solución inicial (Raspberry Pi) por problemas de latencia. Se requiere continuar con el entrenamiento del modelo de IA y la construcción de la API de comunicación con el software de PINZUAR.

### 6. Sobre la gestión financiera

Los recursos del INM están totalmente depositados en la fiducia. No se ha realizado ningún desembolso a PINZUAR, en estricta conformidad con el Manual de Pagos y Autorizaciones, que condiciona la liberación de recursos a la

aprobación técnica de los entregables. La demora en el segundo depósito no afectó la ejecución del proyecto. Se encuentra pendiente la expedición de los certificados de rendimientos financieros por parte de la fiduciaria.

#### 7. Sobre el estado del panel de control

La falla eléctrica fue diagnosticada y corregida exitosamente. El panel de control se encuentra en condiciones seguras de energización. Se recomienda formalizar una solución definitiva de respaldo eléctrico (UPS o circuito dedicado validado) y documentar todas las intervenciones realizadas para futura trazabilidad.

#### 8. Sobre la capacidad técnica del ejecutor

PINZUAR S.A.S. ha demostrado capacidad técnica para ejecutar actividades complejas de ingeniería inversa, diagnóstico de fallas eléctricas y desarrollo paralelo de prototipo y software, incluso bajo condiciones adversas (falla del panel, demoras en planos). La calidad de los resultados obtenidos en campo es satisfactoria.

### 6. ANEXOS

Anexo 1: Informe Fase 2

Anexo 2: Estado de transformación digital patrón de fuerza de 100 kN

Anexo 3: Informe Mantenimiento eléctrico Panel de control ERICHSEN 2026-03-10 ver 1\_0\_PINZUAR

Anexo 4: Informe mantenimiento preventivo correctivo panel de control

Ivan David  
Betancur Pulido



Firmado digitalmente por  
Ivan David Betancur Pulido  
Fecha: 2026.04.08 14:17:40  
-05'00'

---

Iván David Betancur Pulido  
Profesional Especializado / Supervisor Convenio 004 del 2025.  
2026-04-08

## Convenio: 004 de 2025

### Convocatoria: Convocatoria Cerrada No. 001 de 2025 – INM

Objeto: Aunar esfuerzos para el fortalecimiento de la infraestructura metrológica nacional en la magnitud de fuerza, modernización del sistema de control y todos sus componentes del patrón nacional de fuerza de 100 kN y la transferencia de conocimiento para la mejora de las capacidades de laboratorios acreditados de Colombia. La ejecución de este proyecto se enmarca con un enfoque de Investigación, Desarrollo e innovación (I+D+i) e integra actividades orientadas al análisis de obsolescencia tecnológica, la incorporación de sistemas de control de última generación, la implementación de tecnologías 4.0 en metrología digital y la transferencia de conocimiento al sistema metrológico nacional.

## INFORME ETAPA 2 INGENIERÍA Y DISEÑO

1. Informe del diseño del esquema eléctrico y mecánico para nuevos actuadores y sensores y se establece lo que se espera de cada uno de los módulos
2. Informe del software de control en dónde se establecen los requerimientos del proyecto
3. Reevaluación de los elementos de compra teniendo en cuenta los informes de los diseños

**FECHA DE REALIZACIÓN: 2026-03-050**

**COOPERANTE: PINZUAR SAS**

# TABLA DE CONTENIDO

1	IDENTIFICACIÓN GENERAL DEL EQUIPO .....	1
2	SISTEMA MECÁNICO .....	3
2.1	BASTIDOR Y ESTRUCTURA .....	3
2.2	SISTEMA DE PESAS .....	6
2.3	SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA .....	8
3	SISTEMA DE ACCIONAMIENTO .....	9
3.1	SERVOMOTOR DE LA TRAVERSA SUPERIOR, MONTAJE DEL INSTRUMENTO BAJO CALIBRACIÓN .....	9
3.2	SERVOMOTOR DE LA MESA MÓVIL INFERIOR (APLICACIÓN DE CARGA) .....	11
3.3	SERVOREGULADOR DIGITAL (SERVODRIVE).....	12
3.4	RESISTENCIAS DE FRENADO (DISIPACIÓN DE ENERGÍA) .....	13
4	SISTEMA DE SENSORES Y ALIMENTACIÓN .....	13
4.1	SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS .....	14
4.2	SENSORES DE FINAL DE CARRERA.....	15
4.3	SENSOR DE POSICIÓN LINEAL .....	16
5	SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL.....	20
5.1	GABINETES Y ESTRUCTURA ELÉCTRICA .....	20
5.2	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN PRINCIPAL - INTERRUPTOR GENERAL (HAUPTSCHALTER) .....	21
5.3	PROTECCIONES DE MOTORES Y POTENCIA - INTERRUPTORES GUARDAMOTOR (MOTORSCHUTZSCHALTER) .....	22
5.4	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (PROTECCIÓN POR CIRCUITO).....	23
5.5	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (PROTECCIÓN POR CIRCUITO).....	24
5.6	Fuente de alimentación DC - Fuente para sistema de masas (Netzgerät Massen) .....	25
5.7	PLC Y SISTEMA DE E/S.....	25
5.8	FILTROS DE RED .....	27
5.9	INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN .....	27
6	SISTEMA DE SEGURIDAD Y MANDO .....	28

6.1 RELÉ DE SEGURIDAD .....	29
6.2 MEDIOS Y ACOPLAMIENTO .....	29
6.3 MANDO LOCAL DE OPERACIÓN .....	30
6.4 BORNERAS, TIERRAS Y EMC .....	31
7 INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN - SISTEMA DE AMPLIFICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE SEÑAL DE FUERZA .....	32
8 SISTEMA DE SOFTWARE Y OPERACIÓN .....	33
8.1 SOFTWARE FS CONTROL (ERICHSEN).....	33
8.2 SOFTWARE IMELAB (IMECTRO – 2009).....	35
9 HALLAZGOS RELEVANTES DEL ESTADO ACTUAL .....	35
9.1 CONFORMIDAD CON DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.....	35
9.2 ELEMENTOS DE CONTROL NO UTILIZADOS.....	35
9.3 INFRAESTRUCTURA PREVISTA PARA SISTEMAS AUXILIARES NO IMPLEMENTADOS .....	35
9.4 SISTEMA DE DETECCIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO (NO FUNCIONAL).....	36
10 CRITERIOS DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA .....	36
10.1 ENFOQUE GENERAL DE LA MODERNIZACIÓN .....	36
10.2 CRITERIOS TÉCNICOS DE DECISIÓN .....	37
10.2 RESUMEN DE COMPONENTES Y CRITERIO DE REEMPLAZO .....	37
11 CONCLUSIONES TÉCNICAS .....	42

# 1 IDENTIFICACIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El INM ha formulado un proyecto I+D+i de modernización integral del patrón nacional de carga directa de 100 kN, con el fin de diseñar, fabricar, integrar y validar un sistema actualizado de control, software e interfaces mecánicas, que garantice la operatividad plena del patrón nacional de carga directa de 100 kN, mantener el reconocimiento internacional de las CMC en el KCDB del BIPM, y asegurar la continuidad de los servicios a laboratorios acreditados e industrias estratégicas.

El proyecto incluye desarrollo de software, rediseño eléctrico, electrónico y electromecánico, adquisición y procesamiento de datos, ensamblaje local, pruebas de calidad, validación funcional y transferencia de conocimiento técnico.

Mediante este informe, se busca identificar de manera clara los diseños eléctricos y mecánicos actuales con el fin de tener un entendimiento claro del sistema.

Así las cosas, del equipo a intervenir, se tiene:

- Tipo de equipo: Máquina de Carga Directa (peso muerto)
- Función metrológica: Patrón primario de fuerza (masas calibradas con gravedad local)
- Capacidad nominal: 100 kN
- Fabricante / Modelo: ERICHSEN – 020/100 kN
- Año de fabricación: 1998
- País de origen: Alemania
- Ubicación: Laboratorio de Fuerza / Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM)



Figura 1a: MCD 100 kN, patrón primario

El equipo se encuentra actualmente operativo, pero presenta un nivel significativo de obsolescencia tecnológica, especialmente en sus sistemas eléctricos, electrónicos y de control. Se evidencian los siguientes aspectos, que entre otras cosas ya se habían identificado en la causa del problema del patrón de referencia:

1. Deterioro en los sistemas eléctricos, electrónicos y de control: A lo largo de este documento entraremos en detalle de los sistemas eléctricos y electrónicos, características técnicas actuales, es importante resaltar que estos equipos se encuentran funcionales, pero no están alineados a los requerimientos actuales del INM.
2. El software HMI aunque se encuentra funcional, este no se encuentra alineado a los requerimientos actuales del INM, se desarrollará más adelante los requisitos de la máquina.

## 2 SISTEMA MECÁNICO

La máquina la hemos dividido en tres partes: el bastidor y la estructura, el sistema de masas (peso puerto), y el sistema de aplicación de carga.

## 2.1 BASTIDOR Y ESTRUCTURA

La máquina dispone de un bastidor principal de alta rigidez mecánica, diseñado para garantizar la aplicación vertical de la fuerza y su alineamiento axial respecto a un eje común de carga. La estructura incorpora columnas guía que aseguran la colinealidad entre el sistema de masas y el instrumento bajo calibración, minimizando errores asociados a cargas laterales.



Figura 2a: Bastidor y estructura

Usa como transmisión de potencia una correa dentada guiada por un sistema de engranajes acoplada al reductor a la salida del servomotor.

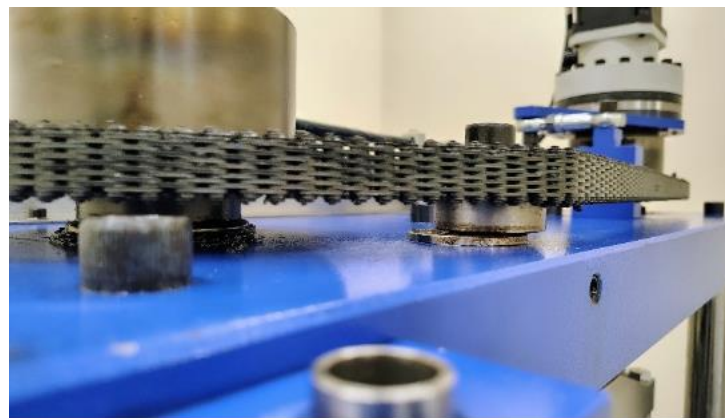


Figura 2b: Correa dentada

Este sistema de transmisión es el responsable de ubicar la travesa móvil que será el apoyo inferior de los transductores calibrados en compresión y el apoyo superior de los transductores calibrados en tensión. El movimiento vertical de la travesa móvil se genera a partir del giro dos tornillos de bolas de 50 mm de diámetro y bolas de 6 mm, adicionalmente posee cuatro guías

verticales para restringir posibles momentos de torsión en la aplicación de carga y, a pesar de no tener responsabilidad en la aplicación de carga directa, soporta siempre una carga máxima de 110 kN en compresión, es decir, carga hacia el suelo.

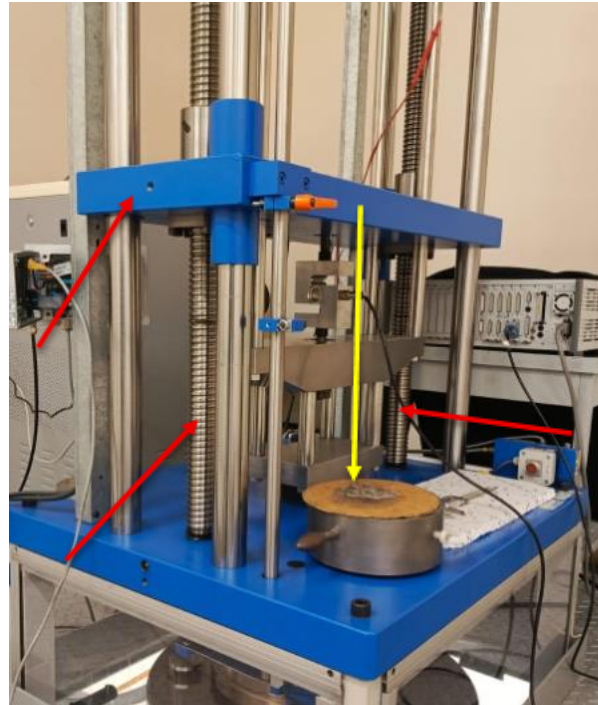


Figura 2d: Traversa móvil ajustada para calibración en tensión de un transductor de fuerza.

En esta sección la máquina puede imaginarse como dos estructuras independientes, una dedicada a la generación de fuerza y la otra dedicada al soporte de la fuerza generada. Se denominará bastidor a la estructura que va enlazada a las pesas y aplicará la carga al transductor por calibrar y estructura al resto de mecanismos y piezas dedicadas a soportar la carga aplicada.

El bastidor es el primer peso aplicado al transductor por calibrar con una fuerza de 2 kN, este debe desplazarse hasta ser levantado por el transductor y la travesa móvil de tal manera que los sensores de proximidad se activen y adviertan que ya se encuentra listo para aplicar una fuerza mayor.



Figura 2e: Sensores de proximidad instalados en la parte superior del bastidor.

Como oportunidad de mejora se identifica que el efecto péndulo se magnifica al liberar las pesas, lo cuál puede minimizarse al cambiar la morfología del bastidor y utilizar una combinación de tres columnas distanciadas a 120°.

## 2.2 SISTEMA DE PESAS

El sistema de masas está conformado por un conjunto completo de pesas calibradas que permiten la generación de valores discretos de fuerza, obtenidos mediante la combinación de masas, hasta un valor nominal de 100 kN. Las masas han sido ajustadas considerando el valor de la gravedad local del laboratorio, garantizando la trazabilidad metrológica del patrón.



Figura 2f: Stack de Pesas

Las pesas son de forma cilíndrica y se encuentran unidas de manera permanente por medio de tres piezas ubicadas a  $120^\circ$  que se encuentran atornilladas a la pesa inferior. El mecanismo utilizado para esta unión permite sostenerlas en una mesa para no generar ninguna carga al bastidor y a partir del movimiento de la mesa vayan liberándose y añadiendo carga al bastidor.

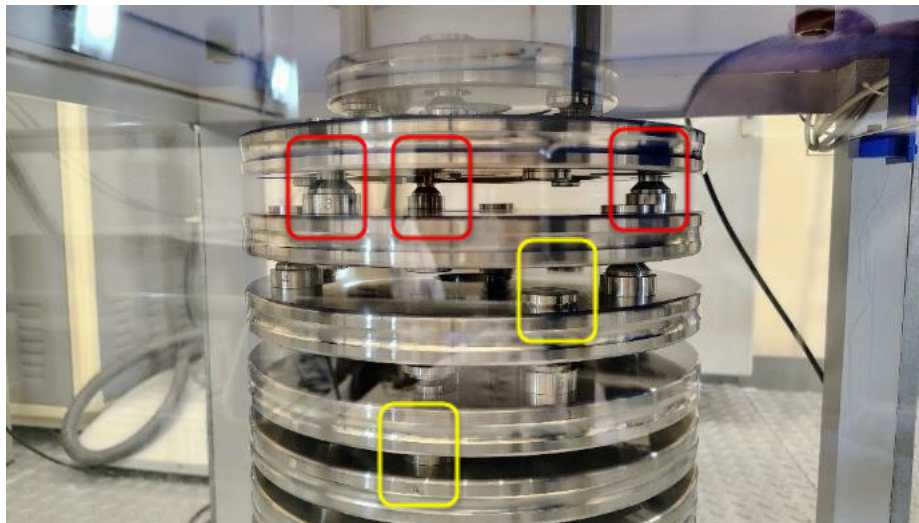


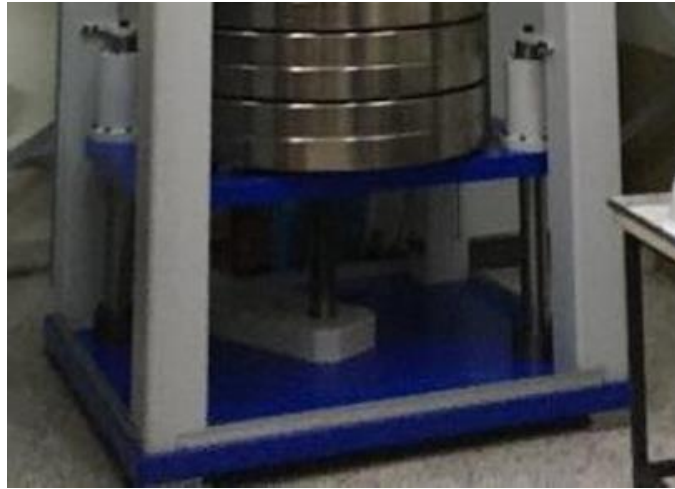
Figura 2g: Detalle de las primeras pesas liberadas en el sistema.

En el recuadro rojo de la figura se resalta la vista inferior de la pieza que permite el libre desplazamiento de la pesa inferior hasta que se encuentra con el tope superior de la misma pieza -resaltado en amarillo-. Cada pesa tiene agujeros de ajuste mecanizados para mantener

el balance de las pesas, así como la ubicación de las uniones entre pesas que se corren cada 30° para evitar choques entre las mismas.

## 2.3 SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA

La aplicación de la fuerza se realiza mediante una mesa móvil inferior que soporta las masas y una travesa superior móvil donde se monta el IBC. La transferencia de carga se efectúa de forma controlada mediante el descenso progresivo de la mesa móvil, evitando impactos mecánicos y cargas dinámicas indeseadas.



*Figura 2h: mesa móvil inferior*

Es el mecanismo responsable de la aplicación de carga de acuerdo con el desplazamiento medido de la mesa, cuando se encuentra totalmente arriba está soportando todo el stack de pesas liberando la carga en el bastidor, y viceversa cuando se ha alcanzado el límite inferior del desplazamiento. La velocidad del desplazamiento responde a la carga que es aplicada de tal forma que identifica que la velocidad del desplazamiento de la última pesa debe ser significativamente menor con el fin de disminuir los posibles efectos un péndulo y evitar los efectos adversos de una descarga dinámica.

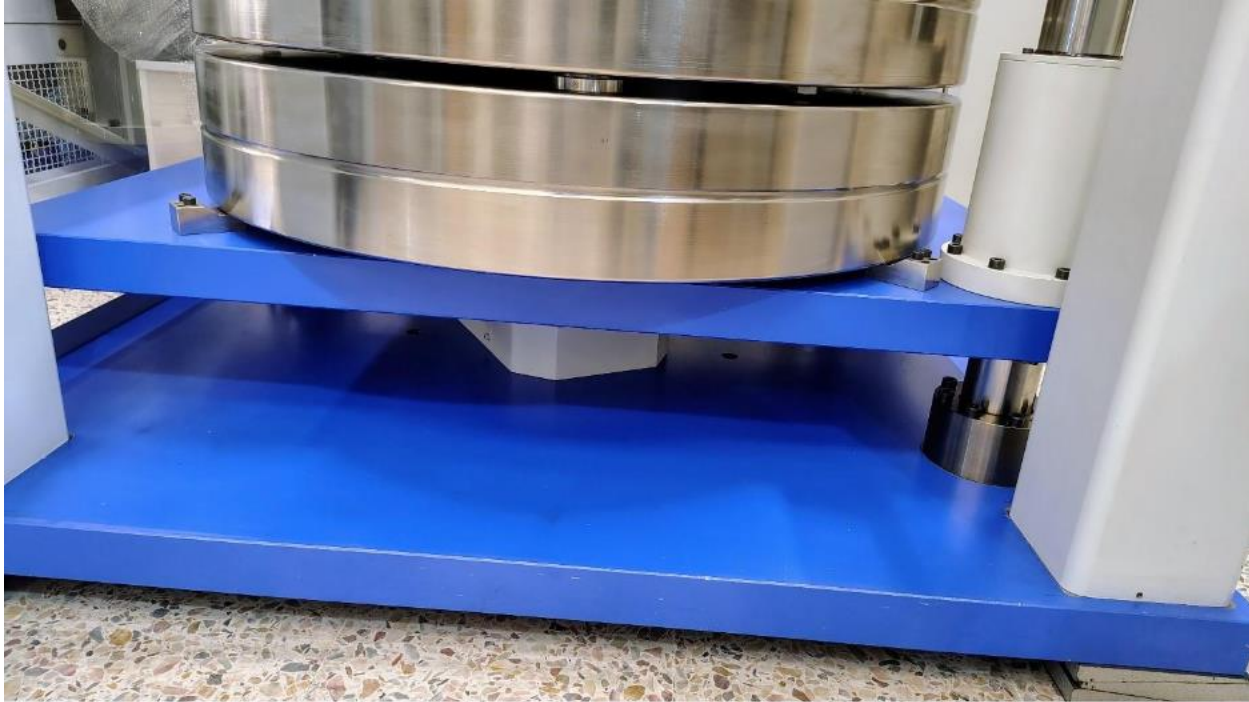


Figura 2i: mesa móvil inferior desplazada al mínimo posible, todo el stack de pesas liberado

### 3 SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

El sistema de accionamiento está basado en servomotores síncronos brushless controlados por servoreguladores digitales SEIDEL digifas<sup>®</sup> serie 7100, integrados en el tablero de control fabricado por Podubrin GmbH para máquinas de peso muerto (*Totlastmaschine*).

Este sistema garantiza:

- Movimiento vertical controlado
- Alta repetibilidad de posicionamiento
- Minimización de cargas dinámicas parásitas durante la aplicación de fuerza

### 3.1 SERVOMOTOR DE LA TRAVERSA SUPERIOR, MONTAJE DEL INSTRUMENTO BAJO CALIBRACIÓN



Figura 3a: Servo motor de la travesa

- Fabricante: **KOLLMORGEN – SEIDEL**
- Tipo: **6SM57S – 3000 + G** (G = servo motor con electro freno)
- Código interno INM: Servomotor Travesa
- Correspondencia Podubrin: *Servoverstärker + Motor* (posición IL20 / 2L24)

#### Características técnicas:

- Potencia nominal: **0,95 kW**
- Velocidad nominal: **3000 min<sup>-1</sup>**
- Par nominal: **4,6 Nm**
- Tensión de control electro freno: **24 V DC**
- Corriente de parada: **2,8 A**
- Grado de protección: **IP64**
- Clase de aislamiento: **F**
- Régimen de operación: **S1 (servicio continuo)**

#### Función metrológica:

- Desplazamiento vertical de la travesa móvil superior.
- Permite el montaje, alineación y desmontaje del instrumento bajo calibración

- El movimiento se realiza sin aplicación de carga, por lo que no interviene directamente en la generación de fuerza.

#### Observación técnica relevante:

El servomotor está acoplado mecánicamente a un sistema sinfín–cadena, lo que proporciona: alta reducción, autorretención mecánica, Protección ante caídas no controladas de la travesa.

### 3.2 SERVOMOTOR DE LA MESA MÓVIL INFERIOR (APLICACIÓN DE CARGA)



Figura 3b: Servo motor mesa móvil

- Fabricante: **KOLLMORGEN – SEIDEL**
- Tipo: **6SM57S – 3000 + G** (G = servo motor con electro freno)
- Código interno INM: Servomotor Mesa Móvil
- Correspondencia Podubrin: *Servoverstärker + Bremswiderstand* (posiciones 2U16 / 3U16 / RB)

#### Características técnicas

- Potencia nominal: **0,95 kW**
- Velocidad nominal: **3000 min<sup>-1</sup>**
- Par nominal: **4,6 Nm**
- Tensión de control electro freno: **24 V DC**

- Corriente de parada: **2,8 A**
- Grado de protección: **IP64**
- Clase de aislamiento: **F**
- Régimen de operación: **S1 (servicio continuo)**

#### **Función metrológica crítica:**

- Controla el descenso progresivo de la mesa móvil donde reposan las masas
- Permite la transferencia gradual y controlada de las masas hacia la masa superior
- Evita impactos dinámicos, garantizando la validez metrológica del principio de peso muerto

#### **Observación técnica relevante:**

- Aproximadamente 80 % del tiempo total de operación de la máquina corresponde a este servomotor

### **3.3 SERVOREGULADOR DIGITAL (SERVODRIVE)**



*Figura 3c: Servoregulador digital*

- Fabricante: **SEIDEL Servoregulador digital GmbH**
- Serie: **digifas® 7100-L2/DP**
- Comunicación: **PROFIBUS-DP**
- Referencia en lista Podubrin:
  - *Servoverstärker* (2U16 / 3U16)
  - *Netzfilter* (IL20)
  - *Bremswiderstand* (RB)

#### **Funciones principales**

- Control vectorial de motores síncronos brushless.
- Regulación de: Velocidad, Posición
- Supervisión de: Sobretensión, Subtensión, Temperatura, Fallos de freno y resistencia de frenado

#### Integración con seguridad

- Entrada al circuito de seguridad externa.
- Parada controlada mediante rampa.
- Gestión de energía regenerativa mediante resistencias de frenado FRIZLEN.

### 3.4 RESISTENCIAS DE FRENADO (DISIPACIÓN DE ENERGÍA)



Figura 3d: Resistencia de frenado

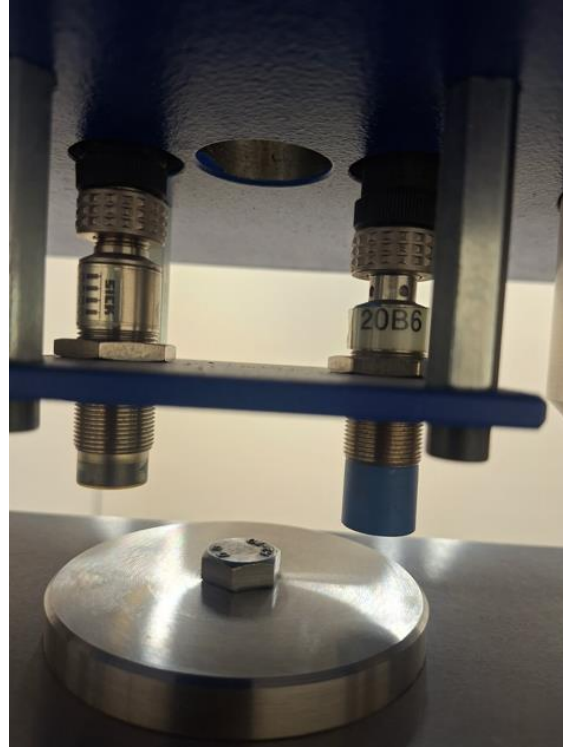
- Fabricante: **FRIZLEN GmbH**
- Modelo: **FZG 300 × 65**
- Valor óhmico: **75 Ω**
- Potencia nominal: **430 W**
- Cantidad: **2 unidades**
- Correspondencia Podubrin: *Bremswiderstand* (RB)

#### Función

- Disipar la energía regenerativa generada durante: Desaceleraciones, Paradas de emergencia.
- Protección del bus DC del Servoregulador digital
- Evita sobretensiones destructivas en el drive Manual Patrones 2

## 4 SISTEMA DE SENSORES Y ALIMENTACIÓN

### 4.1 SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS



*Figura 4a: Sensores de proximidad*

- **Fabricante:** SICK
- **Tipo / Modelo:** IM18-12NPS-ZC0
- **Código interno INM (MCD 100 kN):** 20B6
- **Tecnología:** Inductivo, detección sin contacto
- **Formato mecánico:** Cilíndrico roscado M18

#### Especificaciones técnicas

- Tensión de alimentación: 10 – 30 V DC
- Corriente máxima permanente: 300 mA
- Tipo de salida: PNP, normalmente abierto
- Distancia nominal de detección: 12 mm
- Frecuencia de conmutación: hasta 1000 Hz (típico)
- Grado de protección: IP67 / IP64 instalado

#### Función:

- Confirmación de **posiciones intermedias y finales** de mesa móvil inferior y sistema de masas
- Generación de **señales lógicas de estado** hacia el PLC (Profi IO 690E+)
- Prevención: Descenso indebido de masas, Activación de servos fuera de secuencia

### Correspondencia en lista Podubrin

- Asociados a circuitos de **entradas digitales**: *Erweiterung 1 / Erweiterung 2 Analog* (Kuhnke)
- Alimentación desde: **Netzgerät Massen – HPNG24/02** (24 V DC)

## 4.2 SENSORES DE FINAL DE CARRERA

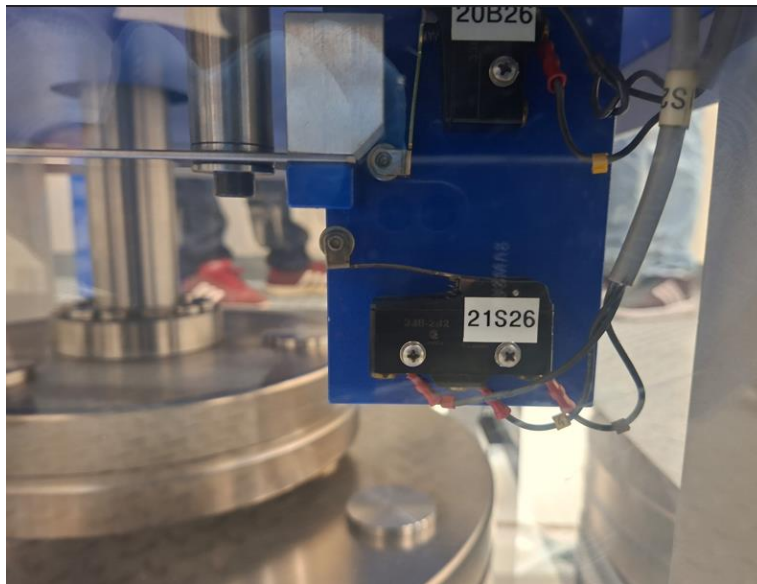


Figura 4b: Finales de carrera

- **Fabricante:** TELEMECANIQUE (Schneider Electric)
- **Tipo / Serie:** XCK-P
- **Códigos internos INM:**
  - Final de carrera superior: **21S30**
  - Final de carrera inferior: **21S34**

### Especificaciones técnicas

- Diseño: CENELEC EN 50047
- Tensión asignada de aislamiento: 500 V
- Resistencia a choques: 6 kV
- Categoría de empleo: AC-15 / A300
- Tensión de empleo: 240 V AC

- Corriente nominal: 3 A
- Grado de protección: IP65
- Tipo de accionamiento: Émbolo con rodillo

## Función

Los finales de carrera constituyen un nivel de seguridad hardware independiente del software:

- Limitan: Carrera superior de la travesa, Carrera inferior de la mesa móvil
- Interrumpen inmediatamente: Movimiento del servomotor, señal de habilitación del Servoregulador digital
- Requisito obligatorio para: Referenciación de ejes (manual DIGIFAS), Activación del modo automático

## Correspondencia en lista

- Integrados en: Circuitos **Endschalter ein/aus/stop**
- Cableados a: **Relaiskoppler RT4P4L24 – Schrack**
- Supervisados por: **Sicherheitsrelais SRB-NA-ST (Schrack)**

## 4.3 SENSOR DE POSICIÓN LINEAL

El sistema actual utiliza un sensor magnetostrictivo de posición lineal con salida analógica normalizada de 4–20 mA, correspondiente a la referencia Temposonics RH-M-0450M-D60-1- A2-1. La señal de corriente es adquirida por un módulo de entrada analógica del PLC, donde es convertida y escalada para su posterior procesamiento por el software de control de la máquina. Durante la operación, el sistema de control interpreta la señal analógica mediante una caracterización interna, que asocia el valor de corriente leído con la posición del sistema mecánico y con las distintas etapas del proceso de aplicación de carga. Esta lógica de escalado forma parte del esquema de control existente y no corresponde a una medición digital directa de posición. Si bien el sensor magnetostrictivo presenta una alta repetibilidad intrínseca, la resolución efectiva del sistema de medición se encuentra limitada por la resolución del convertidor analógico–digital (ADC) del módulo de entrada, el cual es de 12 bits. Para una longitud de medición del orden de 450 mm, esta resolución impone un tamaño de paso aproximado de 110  $\mu\text{m}$ , limitando la capacidad de resolución efectiva del sistema, independientemente del desempeño propio del sensor.



Figura 4c: Sensor de posición lineal

(Realimentación continua de desplazamiento vertical)

Fabricante: MTS Sensors

Tecnología: Magnetoestrictiva (Temposonics III)

Tipo / Modelo:

RH-M-0450M-D60-1-A2-1

Código interno INM: 28B20

## Especificaciones técnicas

Parámetro: Valor

Rango de medición: 450 mm

Señal de salida: 4 – 20 mA

Resolución: < 1  $\mu$ m

Linealidad:  $\pm 0,01$  % F.S.

Repetibilidad:  $\pm 0,002$  %

Tiempo de respuesta: < 1 ms

Alimentación: 24 V DC

Protección: IP65

## Función

- Medición absoluta, sin necesidad de referencia tras apagado.
- Posición detectada mediante: Onda torsional magnetoestrictiva, Imán pasivo solidario a la mesa móvil
- Inmune a: Vibraciones, Desgaste mecánico, Variaciones térmicas moderadas

- Realimentación del control de posición de: Mesa móvil
- Sincronización precisa entre: Movimiento mecánico, Secuencia de descarga de masas
- Insumo crítico para: Velocidad controlada, Minimización de cargas dinámicas, Repetibilidad metrológica
- Integración eléctrica: La señal 4–20 mA del sensor MTS Temposonics es adquirida directamente por los módulos de entrada analógica del sistema Kuhnke Profi I/O 690E+
- Entradas analógicas: Kuhnke – Erweiterung Analog
- Comunicación: PROFIBUS-DP → PLC → FS Control / IMELAB

El sistema de medición de posición basado en señales analógicas normalizadas de 4–20 mA ha demostrado ser robusto y confiable durante más de 30 años de operación continua, cumpliendo adecuadamente su función dentro de la arquitectura original de la máquina. No obstante, desde el punto de vista de una modernización tecnológica, este esquema presenta limitaciones inherentes a la cadena de adquisición analógica, propias de la tecnología disponible al momento de su implementación.

En particular, el uso de señales analógicas implica una dependencia directa del módulo de entrada analógica del PLC, de su resolución y de su estabilidad térmica, lo que condiciona la resolución efectiva del sistema, independientemente del desempeño intrínseco del sensor magnetostrictivo. Asimismo, la conversión analógico–digital introduce posibles efectos de ruido eléctrico, deriva térmica y dispersión de lectura, especialmente en entornos industriales donde coexisten variadores de velocidad, servodrivres y otros equipos de potencia.

Adicionalmente, la interpretación de la señal analógica requiere una etapa de escalado y caracterización por software, lo cual aumenta la complejidad del sistema de control y dificulta la trazabilidad directa entre la magnitud física medida (desplazamiento) y la variable procesada por el controlador. Si bien este enfoque ha sido históricamente funcional, limita la capacidad de diagnóstico, ajuste y mantenimiento frente a soluciones digitales modernas.

Estas limitaciones no afectan la validez metrológica del equipo ni su principio de funcionamiento, pero motivan la evaluación de una actualización tecnológica, orientada a mejorar la resolución efectiva, la inmunidad al ruido, la claridad en la interpretación de la señal y la mantenibilidad del sistema, manteniendo el principio de medición y la configuración mecánica original

El sistema actual utiliza un sensor magnetostrictivo de posición lineal con salida analógica normalizada de 4–20 mA, correspondiente a la referencia Temposonics RH-M-0450M-D60-1-A2-1. La señal de corriente es adquirida por un módulo de entrada analógica del PLC, donde es convertida y escalada para su posterior procesamiento por el software de control de la máquina. Durante la operación, el sistema de control interpreta la señal analógica mediante una caracterización interna, que asocia el valor de corriente leído con la posición del sistema mecánico y con las distintas etapas del proceso de aplicación de carga. Esta lógica de escalado forma parte del esquema de control existente y no corresponde a una medición digital directa de posición. Si bien el sensor magnetostrictivo presenta una alta repetibilidad intrínseca, la

resolución efectiva del sistema de medición se encuentra limitada por la resolución del convertidor analógico–digital (ADC) del módulo de entrada, el cual es de 12 bits. Para una longitud de medición del orden de 450 mm, esta resolución impone un tamaño de paso aproximado de 110  $\mu\text{m}$ , limitando la capacidad de resolución efectiva del sistema, independientemente del desempeño propio del sensor.

## Análisis de la necesidad de cambio

### a. Ventajas del cambio:

La migración desde un sistema de medición basado en señal analógica de 4–20 mA hacia un sensor magnetostrictivo con salida digital presenta diversas ventajas técnicas y operativas, especialmente en el contexto de la modernización del sistema de automatización y control de la Máquina de Carga Directa de 100 kN. En primer lugar, el uso de una señal digital proporciona una mayor inmunidad al ruido eléctrico, eliminando la susceptibilidad asociada a interferencias electromagnéticas, caídas de tensión, deriva térmica y errores introducidos en la cadena de conversión analógico–digital. Esto resulta particularmente relevante en entornos industriales donde coexisten servomotores, variadores de velocidad y equipos de potencia. Adicionalmente, la señal digital permite una mejora significativa en la resolución efectiva del sistema de medición, al eliminar la limitación impuesta por el convertidor analógico–digital del módulo de entrada del PLC. En consecuencia, la lectura de posición se realiza de forma directa y determinística, aprovechando plenamente las capacidades del sensor. Otra ventaja relevante es la simplificación del procesamiento de la señal en el sistema de control, dado que se elimina la necesidad de escalado analógico y caracterización intermedia, mejorando la claridad en la relación entre la magnitud física medida (desplazamiento) y la variable procesada por el controlador. Esto contribuye a una mayor facilidad de diagnóstico, ajuste y mantenimiento del sistema. Finalmente, la adopción de tecnología digital facilita la integración con arquitecturas modernas de automatización, habilitando funcionalidades adicionales como el monitoreo de estado del sensor, detección temprana de fallas y mayor flexibilidad para futuras ampliaciones o actualizaciones del sistema de control.

### b. Desventajas de cambiar el sensor lineal:

Como principal desventaja, el reemplazo del sensor por una versión digital implica un mayor costo inicial de adquisición, en comparación con un sensor analógico convencional. No obstante, este incremento se encuentra asociado a mejoras en desempeño, robustez y capacidades funcionales. Asimismo, la implementación de un sensor con salida digital requiere una adecuada compatibilidad con el sistema de control, lo que implica que la selección final de la interfaz digital debe realizarse en concordancia con la tecnología del PLC y la arquitectura de automatización definida para la máquina. Esta consideración, sin embargo, forma parte natural del proceso de modernización y no representa una limitación técnica del sensor.

El análisis técnico realizado sobre el sistema de medición de posición de la Máquina de Carga Directa de 100 kN evidencia que el sensor magnetostrictivo actualmente instalado ha operado

de manera confiable y estable durante varias décadas, cumpliendo adecuadamente su función dentro de la arquitectura original del equipo. Su desempeño confirma la solidez del diseño inicial y la idoneidad del principio de medición seleccionado. No obstante, se identificó que las limitaciones actuales del sistema están asociadas principalmente a la cadena de adquisición analógica, en particular a la resolución del módulo de entrada analógica del PLC y a la necesidad de etapas de escalado y caracterización por software. Estas condiciones limitan la resolución efectiva alcanzable y aumentan la complejidad del sistema desde el punto de vista de integración, diagnóstico y mantenimiento. La propuesta de reemplazo por un sensor magnetostrictivo digital de la familia Temposonics R-Series V RH5, manteniendo el mismo principio de medición, la geometría mecánica y el sistema de imán existente, constituye una actualización tecnológica conservadora, que no altera el funcionamiento mecánico ni el comportamiento metrológico del equipo. El criterio de sustitución tipo “desmontar y montar” garantiza una implementación segura, controlada y de bajo riesgo. La disponibilidad de interfaces digitales de alta resolución permite eliminar las limitaciones impuestas por la conversión analógica, mejorar la inmunidad al ruido eléctrico y facilitar la integración con arquitecturas modernas de automatización, sin comprometer la trazabilidad ni la validez metrológica de la máquina. La selección final de la interfaz digital queda correctamente supeditada a la definición de la tecnología del sistema de control, asegurando coherencia y compatibilidad en la solución adoptada. En consecuencia, se concluye que el reemplazo del sensor de posición por una versión digital representa una mejora técnica justificada y alineada con los objetivos de modernización del sistema, aportando mayor robustez, claridad funcional y mantenibilidad, al tiempo que preserva los principios fundamentales y la confiabilidad histórica de la Máquina de Carga Directa de 100 kN.

## 5 SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

La arquitectura eléctrica responde a un diseño coherente con la tecnología disponible al momento de fabricación del equipo (finales de la década de 1990), pero presenta limitaciones significativas frente a los estándares actuales de automatización y disponibilidad de repuestos.

- Tensión de operación: **220 V AC**
- Frecuencia: **60 Hz**
- Potencia instalada: **4,5 kW**
- Corriente nominal: **8 A**
- Fusible principal: **16 A**

## 5.1 GABINETES Y ESTRUCTURA ELÉCTRICA



Figura 5a: Gabinete principal

### Gabinete principal de control (Schaltschrank)

- Fabricante: **RITTAL**
- Modelo: **ES 5865 / RAL 7035**
- Dimensiones aprox.: 1600 × 600 × 650 mm
- Material: Acero pintado
- Accesorios:
  - Zócalo **SO 2829 200**
  - Placas de montaje internas
  - Barras de tierra
  - Sistema de ventilación forzada

### Función:

Alojamiento del sistema completo de potencia, control, medición y seguridad de la máquina patrón de 100 kN.

## 5.2 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN PRINCIPAL - INTERRUPTOR GENERAL (HAUPTSCHALTER)



*Figura 5b: Interruptor general*

- Fabricante: **SALZER**
- Referencia: **H232-41400-033-M4**

**Función:**

- Seccionamiento general del gabinete
- Bloqueo mecánico en posición OFF
- Cumple función de aislamiento eléctrico para mantenimiento

### **5.3 PROTECCIONES DE MOTORES Y POTENCIA - INTERRUPTORES GUARDAMOTOR (MOTORSCHUTZSCHALTER)**



*Figura 5c: Guardamotor*

- Fabricante: Klöckner-Moeller (EATON)
- Modelos:
  - PKZM0-16 + NH111
  - PKZM0-2,5 T

**Función:**

- Protección térmica y magnética de motores
- Protección de servomotores y accionamientos auxiliares

## 5.4 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (PROTECCIÓN POR CIRCUITO)



Figura 5d: Interruptor automatico

**Serie:** FAZN

**Fabricante:** Klöckner-Moeller

Modelo	Curva	Uso típico
FAZN C10	C	Alimentación general / drives
FAZN C6	C	Control y auxiliares
FAZN C4	C	Señales, sensores, lógica

## 5.5 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (PROTECCIÓN POR CIRCUITO)

- Potencia: **0,4 kVA**
- Tensiones:
  - Entrada: 3 × 220 V AC
  - Salida: 3 × 18 V AC ±5 %

**Condensador**

- Capacidad: **10.000  $\mu$ F**
- Tensión: **63 V**
- Uso: Filtrado DC

**Puente rectificador**

- Modelo: **DB 25-06**
- Función: Conversión AC/DC para circuitos de control

**Nota:** Este componente fue reemplazado por fuente 24 VDC de la cual se desconocen sus atributos.

## 5.6 Fuente de alimentación DC - Fuente para sistema de masas (Netzgerät Massen)



*Figura 5e: Fuente de alimentación desconocida*

- Modelo: **HPNG24/02**
- Salida: 24 V DC
- Uso:
  - Alimentación de relés
  - Sensores
  - Lógica de control

**Nota:** actualmente se encuentra instalada la fuente (Figura 5e) la cual reemplazó el sistema de transformación, rectificación y filtrado de 24VDC que alimenta sistema de control ya que sufrió una avería que obligó a su reemplazo; esta fuente de reemplazo carece de etiquetas o placas de identificación y por esta razón se incluye en los componentes a cambiar.

## 5.7 PLC Y SISTEMA DE E/S



Figura 5f: PLC Kuhnke

### PLC principal

- Modelo: **PC Control 645-500 NT**
- Fabricante: **Klöckner-Moeller**
- Bus de campo: **PROFIBUS-DP**
- **Año de fabricación:** 1998
- **Funciones principales:**
  - Secuenciación de aplicación de cargas
  - Gestión de finales de carrera
  - Control de estados del sistema de masas
  - Interbloqueos de seguridad
  - Comunicación con Servoregulador digital y E/S remotas

### Sistema de E/S remotas

- **Sistema:** **Profi IO 690E+**
- **Fabricante:** Kuhnke Electronics
- **Protocolo:** PROFIBUS-DP
- **Tensión:** 24 V DC
- **Configuración:**
  - Entradas digitales (sensores de proximidad, finales de carrera)
  - Salidas digitales (relés, contactores, habilitación de drives)
  - Entradas analógicas (PT100, posicionamiento)
- **Extensiones:**
  - Hasta 3 módulos de expansión conectados por cable plano

### Módulos instalados:

- Extensión digital
- Extensión analógica 1
- Extensión analógica 2

- Extensión analógica 3
- Conectores Profibus horizontales y estándar
- Terminadores activos de bus

#### **Función global:**

- Adquisición de señales de sensores
- Control de actuadores
- Gestión secuencial del proceso de aplicación de carga

#### **Comunicación industrial:**

- **Bus de campo:** PROFIBUS-DP
- **Conectores:**
  - Sub-D 9 pines
  - Conectores horizontales y estándar
- **Topología:**
  - PLC → E/S remotas → Servoregulador digital
- **Resistencias de terminación activas** integradas

## **5.8 FILTROS DE RED**



*Figura 5g: Filtro de red*

- Modelos: **3EF-05, 3EF-06**
- Función: Supresión de interferencias EMI/RFI

## 5.9 INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN



Figura 5h: Amplificador PT 100

**Tipo de sensor:** PT100 ( $100 \Omega$  a  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

**Rango de operación:**  $-50 \text{ } ^\circ\text{C}$  a  $+250 \text{ } ^\circ\text{C}$

**Elemento de acondicionamiento:**

- **Modelo:** MCR-PT100/I3/-50-250/2/0
- **Fabricante:** Phoenix Contact
- **Referencia interna:** Nr. 2810353
- **Salida:** señal analógica normalizada (4–20 mA)

**Función:**

- Medición de la temperatura estructural de la máquina durante la aplicación de carga.

## 6 SISTEMA DE SEGURIDAD Y MANDO

### 6.1 RELÉ DE SEGURIDAD

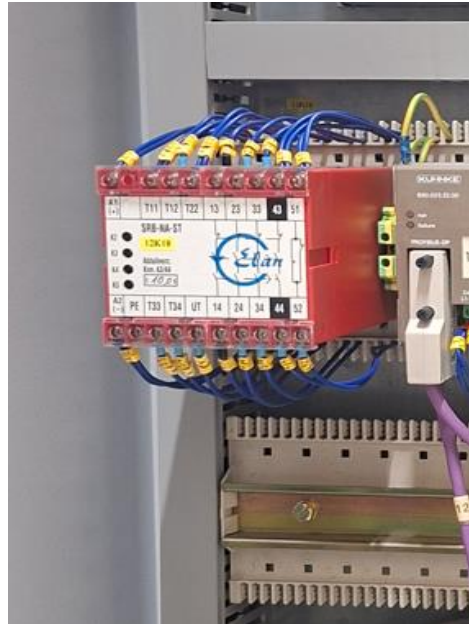


Figura 5i: Relé de seguridad

Modelo: SRB-NA-ST

Fabricante: **SCHRACK**

Tiempo de retardo: 10 s

#### Función:

- Supervisión de parada de emergencia
- Corte seguro de señales de habilitación
- Rearme controlado

## 6.2 MEDIOS Y ACOPLAMIENTO

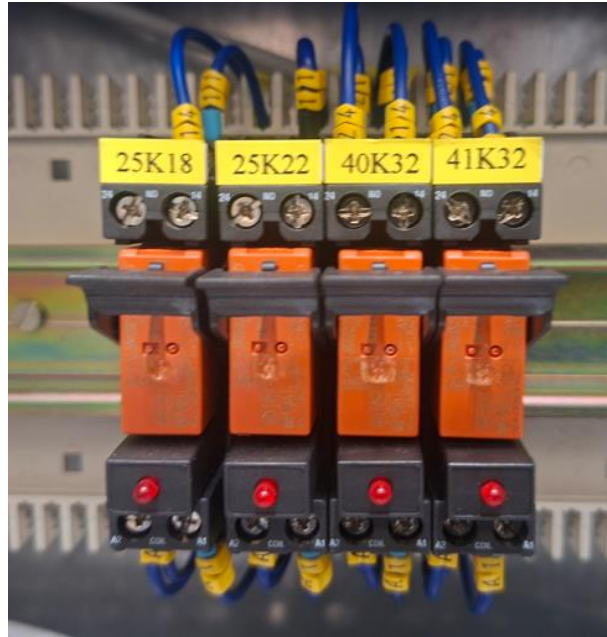


Figura 5j : Relé de control

### Relés de interfaz

- Modelo: **RT4P4L24**
- Tensión bobina: 24 V DC
- Fabricante: **SCHRACK**
- Cantidad: 4

### Función:

- Aislamiento entre PLC y potencia
- Amplificación de señales
- Interbloqueos lógicos

## 6.3 MANDO LOCAL DE OPERACIÓN



Figura 5k: Botonera

### Gabinete de mando

- Modelo: **KCE 202 / 300×200×135**
- Fabricante: **ROLLEC**

### Elementos de mando (Telemecanique):

- Pulsadores iluminados:
  - Verde (Marcha)
  - Rojo (Paro)
  - Amarillo (Reset)
- Pulsadores negros (funciones auxiliares)
- Selectores de posición
- Interruptor con llave
- Pilotos de señalización

### Función:

- Operación manual
- Selección de modos
- Señalización de estados

## 6.4 BORNERAS, TIERRAS Y EMC

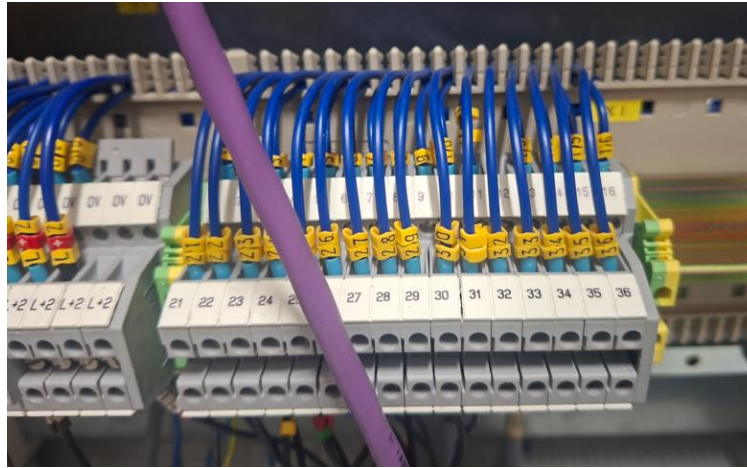


Figura 5 I: Borneras de conexión

### Borneras

- UK5, UK10
- UK-SI (con fusible)
- Doble nivel UKK5

### Borneras de tierra

- USLKG 5
- USLKG 10

### Barra EMC

- Referencia: **SZ 24 13 375**
- Función: Control de interferencias electromagnéticas

## 7 INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN - SISTEMA DE AMPLIFICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE SEÑAL DE FUERZA

El sistema MGCplus constituye el eslabón metrológico principal entre el patrón de fuerza y la adquisición digital de datos, garantizando estabilidad, linealidad y trazabilidad



Figura 6a: Amplificador HBM MG plus

- **SISTEMA:** HBM MGCPLUS
- **Fabricante:** Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM – Spectris)
- **Chasis:** AB22A
- **Tarjetas instaladas:** ML38 – amplificador de frecuencia portadora
- **Resolución:** 24 bits (interno)
- **Frecuencia de muestreo:** hasta 19,2 kS/s por canal
- **Canales asignados:** Lectura automática de instrumentos bajo calibración (IBC) en la MCD 100 kN.
- **Clase de precisión del sistema:** 0,0025

## 8 SISTEMA DE SOFTWARE Y OPERACIÓN

### 8.1 SOFTWARE FS CONTROL (ERICHSEN)

- **Origen:** Software original del fabricante ERICHSEN
- **Sistema operativo:** Windows 95
- **Ubicación:** PC industrial del panel de control central
- **Funciones principales:**
  - Selección de máquina patrón (10 kN, 100 kN, 1000 kN)
  - Definición del valor máximo de fuerza (Force Limit)
  - Ejecución de rutinas automáticas de carga
  - Control de tiempos de estabilización y descarga
- **Modo de operación:**
  - Requiere la llave del tablero en posición “PC”
- **Limitaciones actuales:**

- Dependencia absoluta del panel de control central
- Obsolescencia del sistema operativo
- Hardware discontinuado

Del procedimiento calibración a nivel técnico y documental, se tiene:

- Preparación documental y técnica para montaje del IBC en la máquina de peso muerto, cabe resaltar que se realiza bajo los lineamientos de la norma ISO 376.
- Establecimiento de los parámetros de inicio de la máquina, activación de los controles para habilitar funcionamiento y confirmación dentro del programa, para uso.
- Configuración de la rutina de calibración con el software FS Control en términos de fuerza y tiempo de aplicación de carga sobre el IBC.
- Se detallan conceptos técnicos propios de la experiencia de los metrólogos del laboratorio, como los tiempos de captura de la lectura y punto de contacto entre la maquina y el IBC.

De la parametrización y ejecución de rutinas:

- Una vez se ha realizado el montaje y se tiene habilitada la máquina, se procede a parametrizar las rutinas, donde configuran los tiempos de estabilización y las cargas discretas que serán aplicadas.
- Se da una breve explicación de la arquitectura y el funcionamiento de la máquina, donde se detalla que el control está constituido por un sensor de desplazamiento que tiene caracterizado la carga que se aplica por medio de un servomotor que tomara el rol de actuador dentro del lazo de control.
- El metrólogo menciona que le gustaría una interfaz más intuitiva y fácil de parametrizar en temas de almacenamiento de las rutinas, dichas mejoras se pretenden realizar en el prototipo y se probaran una vez se estén realizando las pruebas funcionales.
- Posteriormente se nos muestra una rutina de prueba con valores de tiempo pequeños, para ver el comportamiento del control donde se destaca, que el control no hace una descarga abrupta, sino que hace una descarga controlada, observando un control robusto y preciso.

De las limitaciones del sistema, se tiene:

- No se tiene información relevante del sistema, por lo que se requiere realizar pruebas para verificar temas de descarga total de la carga sobre el transductor
- Sería de gran ayuda tener tanto en la HMI como en el programa de adquisición de datos las variables ambientales provenientes de la sonda de temperatura y humedad, pues actualmente están en un programa distinto.
- El programa entregado por parte del instituto debe ser compatible con el API (Driver de conexión entregado por PINZUAR) y escalable a un alto nivel para el tema de mejoras o mantenimientos.
- El software debe ser multiplataforma para evitar temas de obsolescencia en temas de sistemas operativos adicional contar con posibilidades de backup y trazabilidad del mantenimiento.

- Se hace énfasis en contar con una interfaz de ajuste intuitiva, de forma que tenga una gestión de conocimiento continua.

## 8.2 SOFTWARE IMELAB (IMECTRO – 2009)

- **Propósito:** Operación semi-independiente de las máquinas de carga directa
- **Ventajas:**
  - Mayor flexibilidad operativa
  - Facilita emisión de certificados
- **Limitación crítica:**
  - El panel de control central debe permanecer activo
- **Conclusión técnica:**
  - No constituye una independencia real del sistema de control original

# 9 HALLAZGOS RELEVANTES DEL ESTADO ACTUAL

A partir de la inspección técnica, revisión documental y contraste con los planos eléctricos y electrónicos suministrados por el Instituto Nacional de Metrología, se identifican los siguientes hallazgos relevantes:

## 9.1 CONFORMIDAD CON DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

La máquina de carga directa de 100 kN se encuentra conforme con los planos eléctricos, electrónicos y de control entregados por el INM. Los componentes instalados, su cableado y la disposición general corresponden con la documentación original del fabricante y las modificaciones registradas, no evidenciándose desviaciones no documentadas de relevancia técnica o metrológica.

## 9.2 ELEMENTOS DE CONTROL NO UTILIZADOS

Se identifican en el gabinete eléctrico y en el sistema de control diversos elementos de control que actualmente no se encuentran en uso operativo. Estos elementos permanecen instalados, cableados y energizados, pero no intervienen en la secuencia funcional actual de la máquina.

## 9.3 INFRAESTRUCTURA PREVISTA PARA SISTEMAS AUXILIARES NO IMPLEMENTADOS

El sistema de control de la máquina dispone, a nivel lógico y de programación del PLC, de salidas destinadas a la operación de sistemas auxiliares tales como ventilación del gabinete, señalización luminosa y alarma sonora. Sin embargo, estos elementos no se encuentran instalados físicamente en la máquina.

En particular, se evidencia que:

- El gabinete eléctrico **no cuenta con ventiladores instalados**, ni con aberturas, rejillas o puntos mecánicos habilitados para su montaje.
- No se encuentran instalados dispositivos físicos de: Baliza luminosa de estado, Alarma sonora (buzzer).
- Las salidas eléctricas previstas en el PLC para estas funciones permanecen disponibles, pero no se encuentran conectadas a ningún actuador físico.
- Esta condición indica que el diseño eléctrico original contempló dichos sistemas, pero su implementación no fue completada o fue retirada en algún momento del ciclo de vida del equipo.

## 9.4 SISTEMA DE DETECCIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO (NO FUNCIONAL)

La máquina dispone de la tarjeta electrónica asociada al circuito de detección de aislamiento entre el sistema de peso muerto y la estructura mecánica. No obstante, dicho sistema **no se encuentra actualmente en operación**, ya sea por ausencia de conexión, configuración incompleta o deshabilitación lógica dentro del sistema de control.

En consecuencia:

- El hardware del sistema de detección de aislamiento está parcialmente instalado.
- El circuito no cumple actualmente una función activa de supervisión.
- No existe señalización ni actuación automática asociada a fallas de aislamiento.

Este hallazgo representa una brecha entre las capacidades previstas del sistema y su estado funcional real, particularmente relevante desde el punto de vista de seguridad eléctrica y confiabilidad operativa.

# 10 CRITERIOS DE MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA

## 10.1 ENFOQUE GENERAL DE LA MODERNIZACIÓN

El proceso de modernización de la Máquina de Carga Directa (MCD) de **100 kN** se fundamenta en un **enfoque selectivo y conservador**, orientado a:

- Preservar el **núcleo metrológico del patrón primario de fuerza**.
- Mantener los elementos mecánicos y metrológicos que garantizan la correcta aplicación del principio de **peso muerto**.

- Sustituir aquellos subsistemas cuya **obsolescencia tecnológica**, falta de soporte o riesgo operativo comprometen la confiabilidad, disponibilidad y sostenibilidad del equipo. La modernización no se concibe como un reemplazo integral del sistema, sino como una **actualización tecnológica focalizada**, compatible con la infraestructura mecánica existente y con las exigencias metrológicas actuales.

La modernización deberá cumplir con los siguientes principios:

- **No alterar el principio metrológico de peso muerto.**
- **Mantener o mejorar la incertidumbre declarada del patrón.**
- **Aumentar la confiabilidad y disponibilidad del sistema.**
- **Garantizar trazabilidad, seguridad y sostenibilidad tecnológica.**
- **Facilitar mantenimiento y escalabilidad futura.**

## 10.2 CRITERIOS TÉCNICOS DE DECISIÓN

La decisión de **conservar, actualizar o reemplazar** cada subsistema se basa en los siguientes criterios técnicos:

### Criterios para conservación

Un subsistema se conserva cuando cumple simultáneamente con:

- Función metrológica vigente y verificable.
- Desempeño estable y repetible.
- Integridad mecánica adecuada.
- Disponibilidad de calibración o verificación.
- Compatibilidad funcional con un sistema de control moderno.

### Criterios de actualización parcial

Aplica cuando:

- El hardware es funcional, pero requiere adaptación.
- El subsistema puede integrarse mediante interfaces modernas.
- El reemplazo total no aporta beneficios metrológicos significativos.

### Criterios para reemplazo total

Un subsistema se considera candidato a reemplazo cuando presenta uno o más de los siguientes aspectos:

- Obsolescencia tecnológica crítica.
- Descontinuación por parte del fabricante.
- Dependencia de sistemas operativos o hardware fuera de soporte. Incremento del riesgo operativo o de indisponibilidad del patrón. Limitaciones para su integración con arquitecturas actuales de automatización y seguridad.

## 10.2 RESUMEN DE COMPONENTES Y CRITERIO DE REEMPLAZO

A continuación, realizamos un despliegue de los componentes críticos del sistema, y la decisión del criterio de reemplazo de cada uno de ellos:

SISTEMA	COMPONENTE	DECISIÓN	JUSTIFICACIÓN
SISTEMA MECÁNICO	BASTIDOR Y ESTRUCTURA	Conservar	Estos elementos constituyen el núcleo físico del patrón primario, garantizan la aplicación de la fuerza con alineamiento axial respecto a un eje común de carga y presentan un estado mecánico adecuado, sin evidencias de desgaste que comprometan su función metrológica.
SISTEMA MECÁNICO	SISTEMA DE MASAS (PESO MUERTO)	Conservar	El sistema de masas mantiene su vigencia metrológica y es el elemento fundamental para la realización y diseminación de la unidad de fuerza, no requiriendo intervención dentro del alcance del proyecto.
SISTEMA MECÁNICO	SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA	Conservar	Estos elementos constituyen el núcleo físico del patrón primario, garantizan la aplicación de la fuerza con alineamiento axial respecto a un eje común de carga y presentan un estado mecánico adecuado, sin evidencias de desgaste que comprometan su función metrológica.
SISTEMA DE ACIONAMIENTO	SERVOMOTOR DE LA TRAVERSA SUPERIOR, MONTAJE DEL INSTRUMENTO BAJO CALIBRACIÓN	Reemplazo total	Aunque funcionales, los servoreguladores digitales actuales se encuentran fuera de su ciclo de vida, limitando la mantenibilidad y la seguridad operativa a largo plazo.
SISTEMA DE ACIONAMIENTO	SERVOMOTOR DE LA MESA MÓVIL INFERIOR (APLICACIÓN DE CARGA)	Reemplazo total	Aunque funcionales, los servoreguladores digitales actuales se encuentran fuera de su ciclo de vida, limitando la

			mantenibilidad y la seguridad operativa a largo plazo.
SISTEMA DE ACIONAMIENTO	SERVOREGULADOR DIGITAL (SERVODRIVE)	Reemplazo total	Aunque funcionales, los servoreguladores digitales actuales se encuentran fuera de su ciclo de vida, limitando la mantenibilidad y la seguridad operativa a largo plazo.
SISTEMA DE ACIONAMIENTO	RESISTENCIAS DE FRENADO (DISIPACIÓN DE ENERGÍA)	Reemplazo total	Se requiere la actualización del elemento, para asegurar la comunicación del componente a un sistema actualizado
SISTEMA DE ACIONAMIENTO	SISTEMA DE TRANSMISIÓN MECÁNICA	Conservar	Estos elementos constituyen el núcleo físico del patrón primario, garantizan la aplicación de la fuerza con alineamiento axial respecto a un eje común de carga y presentan un estado mecánico adecuado, sin evidencias de desgaste que comprometan su función metrológica.
SISTEMA DE SENSORES Y ALIMENTACIÓN	SENSORES DE PROXIMIDAD INDUCTIVOS	Reemplazo total	Aunque funcionales, su tecnología presenta obsolescencia y es un elemento crítico dentro del esquema de conexiones
SISTEMA DE SENSORES Y ALIMENTACIÓN	SENSORES DE FINAL DE CARRERA	Reemplazo total	Aunque funcionales, su tecnología presenta obsolescencia y es un elemento crítico dentro del esquema de conexiones
SISTEMA DE SENSORES Y ALIMENTACIÓN	SENSOR DE POSICIÓN LINEAL	Reemplazo total	se identificó que las limitaciones actuales del sistema están asociadas principalmente a la cadena de adquisición analógica, en particular a la resolución del módulo de entrada analógica del PLC y a la necesidad de etapas de escalado y caracterización por software.
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	GABINETES Y ESTRUCTURA ELÉCTRICA	Reemplazo parcial	EL gabinete se encuentra en buen estado de funcionamiento y se puede conservar para el montaje de la nueva instrumentación
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN PRINCIPAL - INTERRUPTOR GENERAL (HAUPTSCHALTER)	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia

SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	PROTECCIONES DE MOTORES Y POTENCIA - INTERRUPTORES GUARDAMOTOR (MOTORSCHUTZSCHALTER)	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (PROTECCIÓN POR CIRCUITO)	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS (PROTECCIÓN POR CIRCUITO)	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	PLC Y SISTEMA DE E/S	Reemplazo total	Estos sistemas presentan obsolescencia crítica, falta de soporte y dependencia de hardware y software discontinuado, lo cual incrementa el riesgo de indisponibilidad del patrón.
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	FILTROS DE RED	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia
SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia
SISTEMA DE SEGURIDAD Y MANDO	RELÉ DE SEGURIDAD	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia. Se recomienda modernizar: Fuentes de alimentación de 24 V DC no identificadas, Incorporación efectiva de ventilación forzada del gabinete, Implementación física de señalización luminosa y acústica previstas en el diseño original. Estas acciones reducen riesgos térmicos, mejoran la seguridad operativa y aprovechan infraestructura lógica ya existente.

SISTEMA DE SEGURIDAD Y MANDO	MEDIOS Y ACOPLAMIENTO	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia. Se recomienda modernizar: Fuentes de alimentación de 24 V DC no identificadas, Incorporación efectiva de ventilación forzada del gabinete, Implementación física de señalización luminosa y acústica previstas en el diseño original. Estas acciones reducen riesgos térmicos, mejoran la seguridad operativa y aprovechan infraestructura lógica ya existente.
SISTEMA DE SEGURIDAD Y MANDO	MANDO LOCAL DE OPERACIÓN	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia. Se recomienda modernizar: Fuentes de alimentación de 24 V DC no identificadas, Incorporación efectiva de ventilación forzada del gabinete, Implementación física de señalización luminosa y acústica previstas en el diseño original. Estas acciones reducen riesgos térmicos, mejoran la seguridad operativa y aprovechan infraestructura lógica ya existente.
SISTEMA DE SEGURIDAD Y MANDO	BORNERAS, TIERRAS Y EMC	Reemplazo total	Actualización de componentes por obsolescencia. Se recomienda modernizar: Fuentes de alimentación de 24 V DC no identificadas, Incorporación efectiva de ventilación forzada del gabinete, Implementación física de señalización luminosa y acústica previstas en el diseño original. Estas acciones reducen riesgos térmicos, mejoran la seguridad operativa y aprovechan infraestructura lógica ya existente.
INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE MEDICIÓN - SISTEMA DE AMPLIFICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE SEÑAL DE FUERZA	SISTEMA HBM MGCPLUS	Conservar	Se conserva: Sistema de adquisición HBM MGCplus, Tarjetas de amplificación de frecuencia portadora, Instrumentación asociada a la lectura del IBC. El sistema presenta estabilidad, linealidad y resolución acordes con la incertidumbre declarada del patrón, y continúa siendo

			compatible con procesos modernos de adquisición y análisis de datos.
SISTEMA DE SOFTWARE Y OPERACIÓN	SOFTWARE FS CONTROL (ERICHSEN)	Reemplazo total	Desarrollar un software de operación independiente del sistema original, el cual Permite: Operación manual y automática, Configuración de perfiles de carga, Gestión de tiempos de estabilización, Registro de eventos y alarmas.
SISTEMA DE SOFTWARE Y OPERACIÓN	SOFTWARE IMELAB (IMECTRO – 2009)	Reemplazo total	Se realizará por parte del INM la actualización del software

## 11 CONCLUSIONES TÉCNICAS

La Máquina de Carga Directa de 100 kN cumple actualmente su función metrológica como patrón primario de fuerza, manteniendo la integridad de sus sistemas mecánicos fundamentales, en particular el bastidor, el sistema de masas y los mecanismos de aplicación de carga, los cuales se encuentran en buen estado y no requieren reemplazo.

Los sistemas mecánicos y metrológicos críticos presentan un desempeño estable y adecuado, permitiendo la correcta aplicación del principio de peso muerto y el mantenimiento de la trazabilidad de la unidad de fuerza. En consecuencia, el núcleo metrológico de la máquina es técnicamente recuperable, conservable y compatible con un proceso de modernización tecnológica del sistema de control.

El principal factor limitante de la máquina corresponde al grado de obsolescencia tecnológica de sus sistemas eléctricos, electrónicos y de control, incluyendo:

- PLC basado en PC industrial discontinuado.
- Sistema de E/S y comunicación PROFIBUS-DP sin soporte actual.
- Servoregulador digital fuera de ciclo de vida.
- Software de control dependiente de sistemas operativos obsoletos.

La dependencia funcional de un panel de control central compartido con otras máquinas patrón incrementa el riesgo operativo y reduce la disponibilidad del patrón primario de 100 kN, afectando la continuidad del servicio metrológico del laboratorio.

La ausencia de un sistema de ventilación forzada instalado en el gabinete eléctrico, pese a contar con la infraestructura necesaria, incrementa el riesgo térmico sobre componentes electrónicos críticos, lo cual resulta especialmente relevante dada su antigüedad y dificultad de reposición.

La instrumentación auxiliar y los sistemas de medición, incluyendo el sistema de adquisición de fuerza y la medición ambiental mediante equipos Vaisala, se encuentran funcionales y técnicamente vigentes, por lo que no constituyen una limitación para la modernización del sistema de control.

En virtud de lo anterior, se concluye que el proyecto de mejoramiento debe orientarse prioritariamente a la modernización integral del sistema de control y automatización, manteniendo los elementos mecánicos y metrológicos fundamentales, con el fin de:

- Reducir el riesgo de indisponibilidad del patrón.
- Aumentar la confiabilidad operativa.
- Garantizar la sostenibilidad metrológica a mediano y largo plazo.
- Facilitar el mantenimiento, la escalabilidad y la compatibilidad con tecnologías actuales.

# Estado de transformación digital Laboratorio de fuerza

Laboratorio de fuerza (SMF)

Ciudad

2025-04-06

## CONTENIDO

	Página.
1. INTRODUCCIÓN.....	3
3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	3
3.1 Actividades propuestas sobre el software de INM.....	3
3.2 Actividades realizadas.....	7
3.3 Diseño de la interfaz gráfica.....	9
3 RESULTADOS .....	13

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Raspberry pi5 y cámara .....	7
Figura 2 - Configuración de cámara IP .....	8
Figura 3 - Sistema de reconocimiento con cámara web.....	8
Figura 4 - Montaje cámara web .....	9
Figura 5 - Menú administrador .....	10
Figura 6 - Menú de operación .....	11
Figura 7 - Módulo de calibración .....	12

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento describe los tareas y procesos realizados en el marco de transformación digital en el laboratorio de fuerza para lo cual se encuentra en desarrollo de la modernización de la maquina patrón de fuerza de 100 kN

## 2. ALCANCE

En el alcance del documento se desglosan las actividades realizadas para mostrar el avance del proyecto.

## 3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Dentro de la modernización del patrón de fuerza de 100 kN, se cuenta con la cooperación de un consultor externo, el cual de acuerdo establecido en el convenio No 004 de 2025, se constituye como cooperante y se identifica como la compañía PINZUAR S.A.S, encargado de desarrollar las actividades de automatización y control de este. Por parte del INM la contribución a este proyecto se enfoca en el desarrollo del software de calibración que deberá trabajar en conjunto con este sistema de automatización dando como resultado una solución integral y que permita usar herramientas de transformación digital como son, adquisición de datos por visión artificial con IA, uso de bases de datos para consulta de trazabilidad en calibraciones y mediciones y finalmente el certificado digital.

Las actividades mencionadas a continuación se centran en el desarrollo del software de calibración para lo cual se han establecido las siguientes actividades.

### 3.1 Actividades propuestas sobre el software de INM.

<b>1</b>	<b>Definición del plan de trabajo</b>
1.1	Definición plan de trabajo
1.2	Definición de actividades a desarrollar
1.3	Revisión del plan de trabajo
1.4	Entrega del plan de trabajo
<b>2</b>	<b>Metodología de trabajo</b>

<b>2.1</b>	<b>Búsqueda de hardware</b>
2.1.1	Definición del hardware de adquisición (cámara)
2.1.1	Búsqueda de proveedores
2.1.2	Cotización
2.1.3	Aprobación
2.1.4	Compra
<b>2.2</b>	<b>Definición de Infraestructura</b>
2.2.1	Selección de equipos de cómputo a utilizar
	Selección de servidores Aplicativo de
2.2.2	Calibración
2.2.3	Servidores de bases de datos
<b>2.3</b>	<b>Adquisición de datos por visualización Artificial</b>
2.3.1	Pruebas de reconocimiento de imagen
2.3.2	Identificación de caracteres
	Creación de módulo de adquisición de datos por
2.3.3	cámara
2.3.4	Almacenamiento en Bases de datos
<b>2.4</b>	<b>Diseño de Interfaz Gráfica.</b>
2.4.1	Crear menús para ingresar datos
2.4.2	Interfaz de usuario
<b>2.5</b>	<b>Gestión de usuarios</b>
2.5.1	Creación de roles de administrador
2.5.2	creación de roles de operador
2.5.3	Asignación de permisos

<b>2.6</b>	<b>Construcción de api de comunicación</b>
2.6.1	Recepción de datos por parte de software de automatización
2.6.2	Envío de datos desde Software de calibración
2.6.3	Verificación de la respuesta de software de automatización
2.6.4	Respuesta del comportamiento de la máquina patrón
<b>2.7</b>	<b>Módulo de calibración</b>
2.7.1	Creación de rutinas de operación
2.7.2	Interfaz de usuario
2.7.3	Opciones para ingresar equipos, accesorios, foto, datos de cliente
2.7.4	Patron a utilizar, Fecha de Inicio de actividades, persona que calibra persona, que revisa.
2.7.5	Selección de rutinas de Calibración, Tipo de calibración, Tensión y Compresión
2.7.6	Check List de verificación de alarmas y estado general de alarmas de la maquina patrón
2.7.7	Despliegue del menú de calibración
2.7.8	Visualización de datos a tomar
2.7.9	registro de datos
2.7.10	monitoreo de condiciones ambientales
<b>2.8</b>	<b>Análisis de datos</b>
2.8.1	Conexión con base de datos SQL.
2.8.2	Creación de tablas para almacenar información de calibración
2.8.3	Creación de tablas para historial de calibración

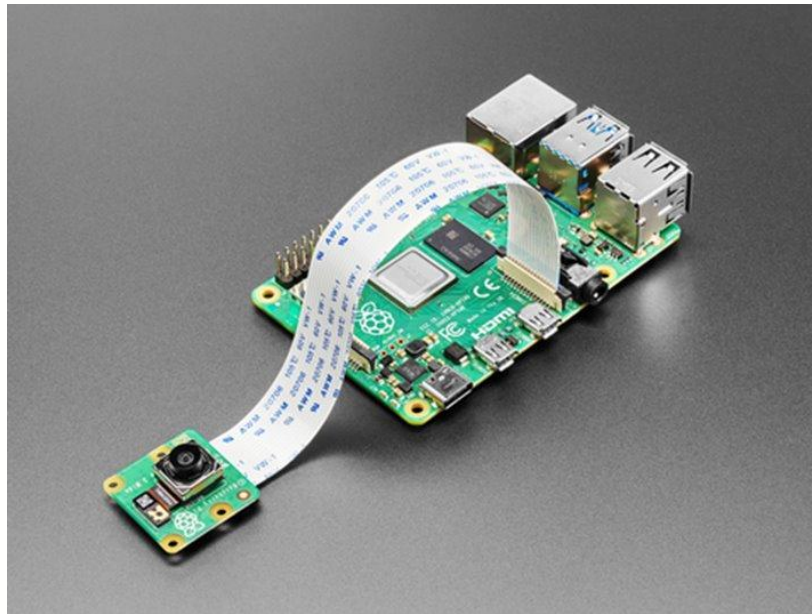
2.8.4	Creación de tablas para almacenar información de Equipos
2.8.5	Tablas para Usuarios
2.8.6	Generación de Cartas Control
2.8.7	Cálculos de incertidumbre
2.8.8	Análisis Estadístico
2.8.9	Generación de reportes en formato excel o csv
<b>2.8</b>	<b>Generación de certificado digital (Apoyo Wilmer contreras)</b>
2.8.1	Generación de etiquetas XML
2.8.2	comunicación de servicio de certificado digital con software de calibración
2.8.3	Generación de documento de certificado digital
<b>3</b>	<b>Validación de Software</b>
3.1	Actividades de validación de las funcionalidades del software de calibración en conjunto, con el sistema de automatización
3.2	Desarrollo de pruebas propuestas para validación del sistema
3.3	Validación
<b>4</b>	<b>Finalización</b>

## 3.2 Actividades realizadas.

### 3.2.1 Selección de la cámara.

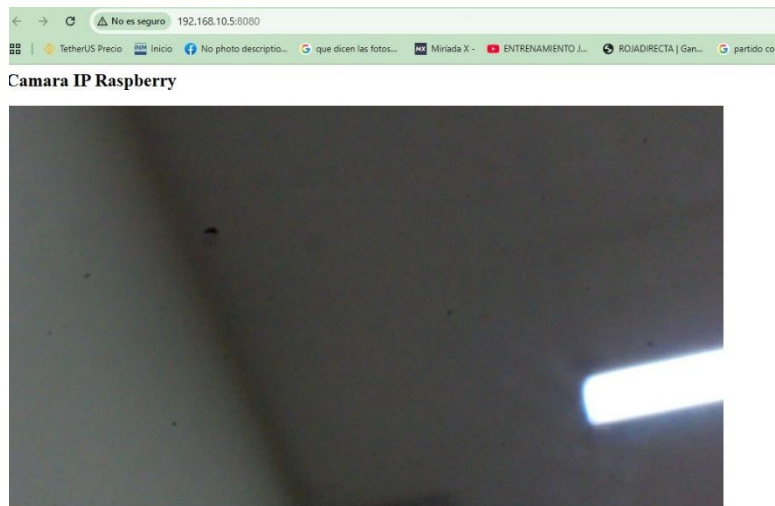
Se realizó un estudio de mercado de la cámara a utilizar, de acuerdo con las necesidades para ver qué opciones hay en el mercado para implementar.

Se hicieron pruebas con la tarjeta embebida raspberry pi 5 con su respectiva cámara y que ofrecía capacidades de conexión ethernet.



*Figura 1 - Raspberry pi5 y cámara*

Este sistema se configuro como una cámara IP para transmitir video por ethernet, sin embargo, estas pruebas arrojaron como resultado que el video transmitido por la tarjeta genera latencia o retardo en su visualización, lo cual es un inconveniente para la realización del reconocimiento de caracteres, ya que el sistema no funcionaría de forma eficiente.



*Figura 2 - Configuración de cámara IP*

Debido a lo anterior, actualmente se encuentra en pruebas el módulo de adquisición de datos a través de una cámara web, para lo cual se han obtenido los resultados que se pueden observar de forma visual en un equipo real donde se puede ver una correcta visualización de los caracteres.



*Figura 3 - Sistema de reconocimiento con cámara web.*



*Figura 4 - Montaje cámara web*

### 3.3 Diseño de la interfaz gráfica.

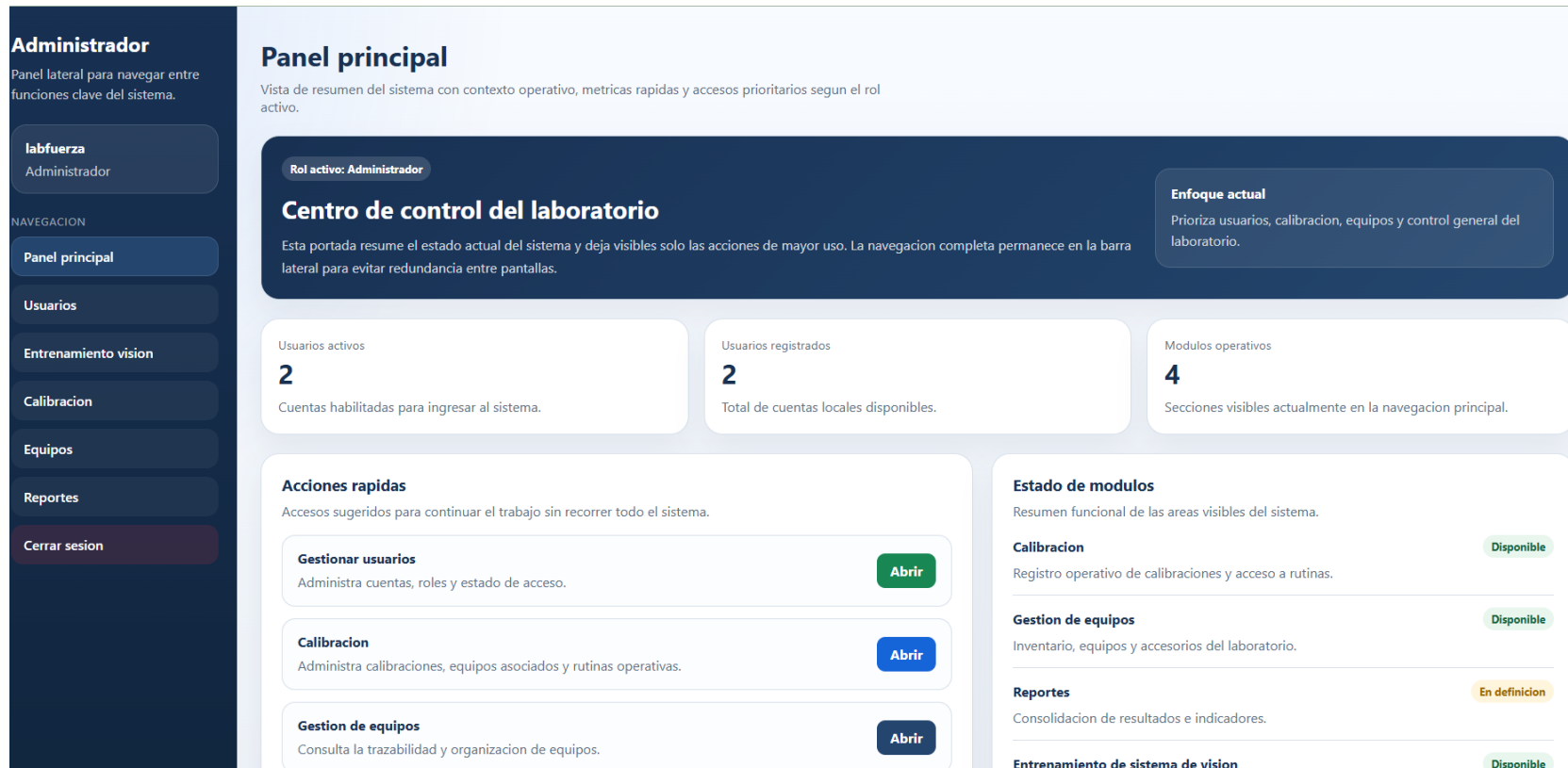
En acuerdo con los usuarios del laboratorio y el cooperante se definieron las principales funcionalidades con las que debe contar el software y los módulos para que eso se haga realidad.

De acuerdo con esto se ha trabajado en los siguientes módulos:

- Gestión de usuarios
- Módulo de administración
- Módulo de Calibración
- Rutinas de Calibración

En el módulo de gestión de usuarios se esta trabajando las funcionalidades por roles ya que se deben gestionar los diferentes accesos que estos deben tener de acuerdo con los permisos que se les asignen, es así como se han creado dos usuarios principales de administrador y de operación.

De acuerdo con esto se han implementado las siguientes interfaces.



**Administrador**  
Panel lateral para navegar entre funciones clave del sistema.

labfuerza  
Administrador

NAVEGACION

- Panel principal
- Usuarios
- Entrenamiento vision
- Calibracion
- Equipos
- Reportes
- Cerrar sesion

**Panel principal**  
Vista de resumen del sistema con contexto operativo, métricas rápidas y accesos prioritarios según el rol activo.

Rol activo: Administrador

**Centro de control del laboratorio**  
Esta portada resume el estado actual del sistema y deja visibles solo las acciones de mayor uso. La navegación completa permanece en la barra lateral para evitar redundancia entre pantallas.

Enfoque actual  
Prioriza usuarios, calibración, equipos y control general del laboratorio.

Usuarios activos: 2  
Cuentas habilitadas para ingresar al sistema.

Usuarios registrados: 2  
Total de cuentas locales disponibles.

Modulos operativos: 4  
Secciones visibles actualmente en la navegación principal.

**Acciones rapidas**  
Accesos sugeridos para continuar el trabajo sin recorrer todo el sistema.

- Gestionar usuarios**  
Administra cuentas, roles y estado de acceso. [Abrir](#)
- Calibracion**  
Administra calibraciones, equipos asociados y rutinas operativas. [Abrir](#)
- Gestion de equipos**  
Consulta la trazabilidad y organizacion de equipos. [Abrir](#)

**Estado de modulos**  
Resumen funcional de las areas visibles del sistema.

- Calibracion** [Disponible](#)  
Registro operativo de calibraciones y acceso a rutinas.
- Gestion de equipos** [Disponible](#)  
Inventario, equipos y accesorios del laboratorio.
- Reportes** [En definicion](#)  
Consolidacion de resultados e indicadores.
- Entrenamiento de sistema de vision** [Disponible](#)

Figura 5 - Menú administrador

Panel lateral para navegar entre funciones clave del sistema.

capena  
Laboratorio

NAVEGACION

Panel principal

Calibracion

Equipos

Reportes

Cerrar sesion

Vista de resumen del sistema con contexto operativo, métricas rápidas y accesos prioritarios según el rol activo.

Rol activo: Laboratorio

## Centro de control del laboratorio

Esta portada resume el estado actual del sistema y deja visibles solo las acciones de mayor uso. La navegación completa permanece en la barra lateral para evitar redundancia entre pantallas.

Enfoque actual

Prioriza operación del laboratorio, calibración y consulta de reportes dentro del mismo flujo de trabajo.

Modulos disponibles

**2**

Secciones operativas visibles para tu perfil.

Accesos rapidos

**2**

Entradas sugeridas para iniciar el trabajo diario.

Rol activo

**LAB**

Perfil con el que estas usando el sistema.

### Acciones rapidas

Accesos sugeridos para continuar el trabajo sin recorrer todo el sistema.

**Calibracion**

Ejecuta calibraciones y captura datos dentro del mismo flujo operativo.

**Abrir**

**Reportes**

Consulta salidas consolidadas e indicadores.

**Abrir**

### Estado de modulos

Resumen funcional de las areas visibles del sistema.

**Calibracion**

Modulo operativo disponible según permisos asignados.

Disponible

**Gestion de equipos**

Consulta de inventario, equipos y accesorios del laboratorio.

Disponible

**Reportes**

Consolidacion de resultados e indicadores.

En definicion

Figura 6 - Menú de operación

**Administrador**  
Panel lateral para navegar entre funciones clave del sistema.

capena  
Laboratorio

NAVEGACION

Panel principal

Calibracion

Equipos

Reportes

Cerrar sesion

## Ejecucion 1

La captura de datos por imagen queda integrada en la ejecucion activa y asociada al paso actual de la rutina.


Calibracion <b>1</b>	Cliete <b>PINZUAR</b>	Equipo <b>Sin equipo</b>	Rutina <b>001 - Rutina_Capo</b>	Estado <b>Pausada</b>	Modo <b>Manual</b>	Operador <b>capena</b>
-------------------------	--------------------------	-----------------------------	------------------------------------	--------------------------	-----------------------	---------------------------

**Adquisicion de datos**  
Captura la lectura desde la camara y registrala sobre el paso actual.

Camara  
HD Pro Webcam C920 (046d:082d) ▼

Iniciar camara
Detener
Leer una vez
Guardar muestra

Actualizar camaras



**Lectura OCR**  
0.03048

Confirmada: -  
Esperando estabilidad: 0%

**Zona de lectura**  
Pantalla ▼

**Secuencia de rutina**  
La lista sigue automaticamente el paso que se esta ejecutando.

- 1. Carga | Espera | Carga**  
Actual
- 2. Poner Carga | Espera | Soltar carga**  
Pendiente
- 3. Tomar dato | Espera | Sin comando**  
Pendiente
- 4. Descargar | Espera | Sin comando**  
Pendiente

**Paso actual**  
Paso 1 de 5. Carga. Tipo Espera.

**LISTA PARA INICIAR**  
**La rutina aun no comienza.**  
Activa la camara y luego pulsa **Iniciar rutina** para comenzar la ejecucion en tiempo real.

**EJECUTANDO AHORA**  
**Paso 1. Carga**  
Tipo Espera | Comando: Carga

**Instruccion**  
Sin observaciones adicionales.  
**Comando:** Carga  
**Parametros:** {}  
**Validacion:** Sin criterio

Este paso no requiere captura OCR. La ejecucion automatica avanzara sola segun el tipo de paso y los tiempos definidos.

**Ultima lectura recibida**

*Figura 7 - Módulo de calibración*

En el módulo de calibración se encuentra inmerso el sistema de reconocimiento de visión artificial y la ejecución de las rutinas que se deben ejecutar dentro de la máquina patrón de 100 kN durante le procesos de calibración.

### 3 RESULTADOS

Los módulos del software implementados hasta aquí son la estructura inicial de todo el sistema.

En el modulo de visión artificial el siguiente paso es realizar el correspondiente entrenamiento para identificar los caracteres que se le puedan presentar al sistema.

Se llevará a cabo las pruebas correspondientes de las funcionalidades de los módulos que se vayan construyendo para asegurar el desempeño.

Estas actividades corresponden al desarrollo del plan de trabajo propuesto para tal fin



Carlos Andrés Peña Ortiz  
Ingeniero de Solución  
2026-03-30

# Informe técnico de mantenimiento preventivo y correctivo del panel de control de los patrones nacionales de fuerza ERICHSEN (10 kN, 100 kN y 1000 kN)

## Contenido

1	Información general del servicio .....	4
1.1	Entidad solicitante.....	4
1.2	Contratista / ejecutor del servicio .....	4
1.3	Lugar de ejecución.....	4
1.4	Fecha de ejecución del mantenimiento.....	4
1.5	Personal participante .....	4
1.6	Equipo intervenido .....	5
2	Objeto del informe .....	5
3	Antecedentes.....	6
3.1	Importancia metrológica del sistema intervenido.....	6
3.2	Descripción general de las máquinas asociadas.....	6
3.3	Descripción general del panel de control .....	6
3.4	Motivo de la intervención .....	7
4	Documentos y referencias aplicables .....	8
4.1	Documento de funcionamiento y operación de patrones .....	8
4.2	Procedimientos internos del laboratorio aplicables.....	8
4.3	Manuales o fichas técnicas de los componentes intervenidos.....	8
4.4	Registros previos de fallas o mantenimientos.....	8
5	Alcance del mantenimiento .....	9
5.1	Alcance preventivo.....	9
5.2	Alcance correctivo.....	9
5.3	Componentes incluidos .....	10
5.4	Componentes no intervenidos o excluidos .....	11
6	Estado inicial / diagnóstico antes de intervenir.....	12
6.1	Condición visual general.....	12
6.2	Condición eléctrica inicial .....	12
6.3	Condición funcional inicial .....	13



- 6.4 Fallas reportadas por el usuario ..... 13
- 6.5 Hallazgos preliminares ..... 14
- 7 Actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas..... 14
  - 7.1 Desenergización segura y alistamiento del área ..... 14
  - 7.2 Inspección visual interna y externa ..... 15
  - 7.3 Verificación general del cableado, terminales y conexiones ..... 15
  - 7.4 Revisión de protecciones eléctricas ..... 15
  - 7.5 Revisión del sistema de alimentación y UPS ..... 15
  - 7.6 Revisión de tierras y puesta a tierra ..... 15
  - 7.7 Revisión del sistema de ventilación del panel..... 16
  - 7.8 Revisión de conectores de comunicación y señal ..... 16
  - 7.9 Verificación del computador y periféricos..... 16
  - 7.10 Verificación básica del amplificador y módulos asociados ..... 16
- 8 Actividades de mantenimiento correctivo ejecutadas..... 17
  - 8.1 Descripción de las fallas corregidas ..... 17
  - 8.2 Componentes reparados, ajustados o sustituidos ..... 17
  - 8.3 Intervenciones realizadas en cableado y conexiones..... 17
  - 8.4 Intervenciones realizadas en alimentación eléctrica y UPS ..... 18
  - 8.5 Medidas correctivas para mitigación de riesgo eléctrico ..... 18
  - 8.6 Observaciones técnicas de la corrección aplicada ..... 18
- 9 Repuestos, materiales e insumos utilizados..... 19
  - 9.1 Repuestos instalados ..... 19
  - 9.2 Materiales consumibles ..... 19
  - 9.3 Herramientas y equipos de medición utilizados..... 19
- 10 Pruebas y verificaciones realizadas ..... 20
  - 10.1 Verificación de energización del panel..... 20
  - 10.2 Verificación de arranque del computador e interfaz de operación ..... 20
  - 10.3 Verificación de arranque del software de operación..... 20
  - 10.4 Verificación del sistema de medición y control ..... 20
  - 10.5 Verificación de condición eléctrica segura del sistema..... 20
  - 10.6 Verificación funcional de la máquina de 10 kN ..... 21
  - 10.7 Alcance de la verificación sobre las máquinas de 100 kN y 1000 kN ..... 21
  - 10.8 Verificación de parada, apagado y condiciones seguras ..... 22

 km 2 Vía Madrid - Puente Piedra  
Parque Ind. **San Isidro • Bodega 1C**  
(Madrid, Cundinamarca) • Colombia  
Cel.: 316 525 1236 - 311 885 5256  
ventas@pinzuar.com.co

 **Lab. Metrología**  
Cll 18 # 103B - 72  
Fontibón - Bogotá • Colombia  
Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
labmetrologia@pinzuar.com.co

 **Perú**  
Calle Ricardo Palma #998  
Urb. San Joaquín Bellavista Callao - Lima  
**(51+1) 562 1263**  
peru.comercial@pinzuar.com.co

11	Resultados del mantenimiento .....	22
11.1	Estado final del panel de control .....	22
11.2	Mejoras obtenidas en seguridad y operación .....	22
11.3	Fallas solucionadas .....	23
11.4	Limitaciones, pendientes y condiciones no verificadas .....	23
11.5	Condición de servicio al finalizar .....	23
12	Análisis técnico de hallazgos.....	24
12.1	Causas probables de las fallas encontradas .....	24
12.2	Riesgos asociados identificados .....	24
12.3	Impacto potencial sobre la operación metrológica.....	25
12.4	Criticidad de los componentes y condiciones observadas .....	25
13	Recomendaciones .....	26
13.1	Recomendaciones inmediatas .....	26
13.2	Recomendaciones de mantenimiento preventivo periódico .....	26
13.3	Recomendaciones de modernización o actualización .....	26
13.4	Recomendaciones operativas para el personal usuario .....	27
13.5	Repuestos estratégicos sugeridos .....	27
14	Conclusiones.....	28
15	Anexos .....	29
15.1	Registro fotográfico antes, durante y después.....	29
16	Firmas .....	38
16.1	Elaboró.....	38
16.2	Revisó .....	38
16.3	Recibió / aprobó.....	38

## 1 Información general del servicio

### 1.1 Entidad solicitante

Subdirección de metrología física, Instituto Nacional de Metrología de Colombia

### 1.2 Contratista / ejecutor del servicio

PINZUAR S.A.S

### 1.3 Lugar de ejecución

Instituto Nacional de Metrología, Av. Carrera 50 No. 26-55 Int. 2, CAN, Bogotá D.C., Colombia.

### 1.4 Fecha de ejecución del mantenimiento

Marzo 10 del año 2026

### 1.5 Personal participante

Jaime Andres Zambrano  
Ingeniero Electrónico

Diego García  
Ingeniero Industrial/Electromecánico

## 1.6 Equipo intervenido

Panel de control, encargado de la operación de los patrones nacionales de fuerza ERICHSEN (10 kN, 100 kN y 1000 kN) según se observa en la Figura 1.



Figura 1, Panel de Control

## 2 Objeto del informe

El presente informe tiene por objeto documentar las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo realizadas al panel de control que opera los patrones nacionales de fuerza del Instituto Nacional de Metrología. La intervención se efectuó con el fin de corregir una condición anómala de retorno de tensión hacia las máquinas, la cual generaba riesgo eléctrico para los operarios y podía ocasionar afectaciones en los equipos de medición asociados. Durante el proceso se identificó que dicha condición estaba relacionada con la conexión del panel de control a una UPS en mal estado. Asimismo, se realizaron verificaciones y ajustes en terminales, conectores y distribución de voltajes, orientados a restablecer la condición operativa del sistema, mejorar su confiabilidad y prevenir fallas asociadas a falsos contactos o problemas de aislamiento.

### 3 Antecedentes

#### 3.1 Importancia metrológica del sistema intervenido

El sistema intervenido corresponde al panel de control asociado a los patrones nacionales de fuerza de la Subdirección de Metrología Física del Instituto Nacional de Metrología. Su importancia metrológica radica en que constituye el medio de operación, supervisión y adquisición de señales de las máquinas patrón utilizadas para la calibración de instrumentos medidores de fuerza, dentro de los intervalos de medición establecidos para el laboratorio. De acuerdo con la documentación de operación disponible, el laboratorio cuenta con tres patrones nacionales de fuerza: una máquina de carga directa de 10 kN, una máquina de carga directa de 100 kN y una máquina hidráulica de referencia de 1000 kN, las cuales soportan la diseminación y trazabilidad de la magnitud fuerza en el país. En consecuencia, cualquier anomalía en el panel de control puede comprometer no solo la continuidad operativa del laboratorio, sino también la seguridad del personal y la confiabilidad de los procesos de medición y calibración. Adicionalmente, la disponibilidad operativa del panel de control resulta esencial para la ejecución de actividades técnicas asociadas al proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN, por lo que cualquier falla en este subsistema no solo compromete la seguridad y operación del laboratorio, sino también el avance de las actividades de ingeniería, diagnóstico y validación requeridas para su actualización tecnológica.

#### 3.2 Descripción general de las máquinas asociadas

Los equipos asociados al panel de control corresponden a tres máquinas ERICHSEN empleadas como patrones nacionales de fuerza. Dos de ellas son máquinas de carga directa, con capacidades de 10 kN y 100 kN, las cuales operan bajo el principio de peso muerto mediante un sistema de masas calibradas y una mesa móvil accionada mecánicamente. La tercera corresponde a una máquina hidráulica de referencia de 1000 kN, en la cual la carga es generada por un sistema hidráulico y controlada en función de la señal entregada por un transductor de referencia. Según el documento de funcionamiento y operación, estas máquinas cubren diferentes intervalos de medición e incertidumbre, permitiendo atender distintos rangos de calibración de instrumentos medidores de fuerza. Las máquinas de carga directa aplican valores puntuales de fuerza mediante masas, mientras que la máquina hidráulica de referencia aplica carga mediante control dinámico del sistema hidráulico y lectura a través de instrumentación asociada al panel.

#### 3.3 Descripción general del panel de control

El panel de control intervenido es el sistema central desde el cual se realiza la operación de los patrones nacionales de fuerza. Conforme a la documentación disponible, este panel está compuesto, en términos generales, por un computador de operación, un amplificador digital HBM MGC Plus con tarjetas ML38. Consta de elementos complementarios de potencia, distribución y comunicaciones, tales como fuente de alimentación Siemens SITOP, módulos de control y comunicación industrial, protecciones eléctricas, tomas de servicio, terminales de puesta a tierra

y cableado interno de interconexión. De igual forma, se evidencia que el sistema integra una interfaz industrial de visualización y operación, así como el hardware necesario para la lectura de señales metrológicas y el enlace con las máquinas asociadas.

En conjunto, el panel constituye el nodo principal de control, alimentación y adquisición de datos del sistema de patrones nacionales de fuerza.

### 3.4 Motivo de la intervención

La intervención se originó por la presencia de una condición anómala de riesgo eléctrico en el sistema, evidenciada por retorno de tensión desde el panel de control hacia la estructura de las máquinas, situación que generaba descargas eléctricas al personal durante la operación. De acuerdo con la información recopilada durante la atención del servicio, se identificó como causa principal la conexión del panel de control a una UPS en mal estado. Adicionalmente, existía preocupación por el posible impacto de esta condición sobre la integridad de los equipos de medición, teniendo en cuenta antecedentes de afectación de instrumentación asociada al sistema.

La necesidad de intervención adquirió mayor criticidad debido a que esta falla afectó directamente la disponibilidad operativa del panel de control y, en consecuencia, retrasó actividades previstas dentro del proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN. En particular, varias pruebas técnicas programadas en el marco del “Plan de Trabajo – Visita Técnica 2026-03-03 al 13”, relacionadas con la caracterización del sistema de medición de desplazamiento, verificación de servomotores, medición de variables dinámicas del movimiento de masas e identificación de la relación de transmisión, no pudieron ejecutarse debido a la imposibilidad de encender el panel de control y habilitar la operación segura del sistema.

En este contexto, se consideró necesario ejecutar mantenimiento correctivo para eliminar la fuente de la anomalía eléctrica y restablecer la posibilidad de operación del sistema, así como mantenimiento preventivo orientado a revisar conexiones, terminales, distribución de voltajes, puesta a tierra y condiciones generales del panel, con el fin de recuperar condiciones seguras y confiables de funcionamiento y permitir la continuidad de las actividades técnicas asociadas a la modernización del equipo.

## 4 Documentos y referencias aplicables

### 4.1 Documento de funcionamiento y operación de patrones

Como referencia técnica principal para la comprensión del sistema intervenido, se consideró el documento de funcionamiento y operación de los patrones nacionales de fuerza del Instituto Nacional de Metrología. Esta documentación permitió identificar la función general del panel de control dentro de la arquitectura operativa de las máquinas ERICHSEN de 10 kN, 100 kN y 1000 kN, así como los elementos principales asociados a su encendido, operación, adquisición de señales y manejo mediante los softwares disponibles. Asimismo, esta referencia sirvió de base para contextualizar la importancia metrológica del sistema intervenido y su relación directa con la operación segura y confiable de los patrones nacionales de fuerza del laboratorio.

### 4.2 Procedimientos internos del laboratorio aplicables

Como referencia interna aplicable se consideró el procedimiento M-01-L07-P-01 Calibración de instrumentos medidores de fuerza, por su relación directa con la operación de las máquinas asociadas al panel de control intervenido y con el contexto funcional del sistema de patrones nacionales de fuerza del laboratorio. Este procedimiento fue tomado como soporte para comprender la selección de la máquina patrón, las condiciones generales de operación del sistema y su papel dentro de las actividades de calibración desarrolladas por el laboratorio. Su consideración dentro del presente informe permite enmarcar técnicamente la importancia funcional del panel de control y su incidencia sobre la disponibilidad operativa de las máquinas.

### 4.3 Manuales o fichas técnicas de los componentes intervenidos

Como soporte técnico complementario se consideraron los manuales, fichas técnicas y documentación de fabricante de los principales componentes del panel intervenido, entre ellos el amplificador digital HBM MGCplus y sus módulos asociados, la fuente de alimentación Siemens SITOP, la UPS del sistema, el computador o interfaz industrial de operación y los módulos de comunicación, potencia y distribución eléctrica instalados al interior del gabinete. Esta documentación técnica resulta necesaria para verificar características eléctricas, condiciones de conexión, parámetros nominales de alimentación, interfaces de comunicación y recomendaciones generales de operación y mantenimiento, permitiendo sustentar técnicamente las actividades de diagnóstico e intervención realizadas.

### 4.4 Registros previos de fallas o mantenimientos

Como antecedentes de la intervención se consideraron los registros y evidencias disponibles sobre la falla eléctrica presentada en el panel de control, caracterizada por la presencia de retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas, condición que generaba riesgo para los operarios y afectaba la confiabilidad del sistema. Asimismo, se tuvo en cuenta la información relacionada con la indisponibilidad del panel para su encendido y operación, situación que impactó el

desarrollo de actividades técnicas programadas dentro del proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN. Complementariamente, se revisó el registro fotográfico del sistema, los hallazgos observados durante la inspección, la información técnica derivada de documentos previos de análisis del sistema eléctrico y electrónico y los antecedentes de afectación de equipos de medición asociados al panel, todo ello como base para el diagnóstico y la definición de las acciones de mantenimiento correctivo y preventivo.

## 5 Alcance del mantenimiento

### 5.1 Alcance preventivo

El mantenimiento preventivo comprendió la inspección general del estado físico y funcional del panel de control asociado a las máquinas ERICHSEN de 10 kN, 100 kN y 1000 kN, con énfasis en la verificación de las condiciones de seguridad eléctrica, integridad del cableado, estado de conexiones, continuidad de la puesta a tierra, distribución de voltajes y protección de los circuitos internos. Dentro de este alcance se incluyó la revisión de terminales, borneras, interruptores de protección, fuente de alimentación, ventilación interna, módulos de control, tomas de servicio y elementos de interconexión, con el fin de identificar condiciones anómalas que pudieran comprometer la operación segura y confiable del sistema.

De manera particular, se verificó el estado del ventilador de recirculación de aire del panel de control, debido a que existía el reporte de una posible falla por cortocircuito. Como resultado de la revisión se determinó que el ventilador se encontraba en condiciones adecuadas de funcionamiento; sin embargo, se evidenció que su cableado de alimentación había sido manipulado previamente, quedando conectado de forma directa, sin pasar por el correspondiente dispositivo de protección eléctrica. Esta condición fue identificada como una desviación respecto de una configuración segura de operación y fue considerada dentro de las acciones preventivas y correctivas aplicadas al panel.

### 5.2 Alcance correctivo

El mantenimiento correctivo estuvo orientado a eliminar condiciones de riesgo eléctrico y restablecer la configuración adecuada del sistema de alimentación del panel de control. Durante la intervención se evidenció que el cableado eléctrico había sido manipulado previamente, identificándose, entre otros hallazgos, un conductor de puesta a tierra suelto y una conexión invertida en la alimentación del interruptor de protección del panel.

Específicamente, se observó que la alimentación de entrada proveniente de las borneras marcadas como L1, L2 y PE no estaba conectada conforme a la disposición esperada en el disyuntor, Figura 2, de tal manera que los conductores negros asociados a la alimentación principal se encontraban conectados en la parte correspondiente a la salida del dispositivo, mientras que los conductores azul y café, destinados a distribuir la alimentación hacia los diferentes componentes internos del panel, se encontraban conectados en el lado de entrada. Esta condición fue corregida durante la intervención, restableciendo la configuración adecuada

del circuito, dejando los conductores de alimentación principal en la parte de entrada del disyuntor y los conductores de distribución interna en la salida del mismo.



Figura 2

Adicionalmente, se realizó la corrección de la conexión de puesta a tierra que se encontraba suelta, así como la normalización del circuito de alimentación del ventilador de recirculación de manera que su energización quedara subordinada al dispositivo de protección eléctrica correspondiente. Estas acciones estuvieron dirigidas a recuperar condiciones seguras de operación, reducir el riesgo de contacto eléctrico para el personal y prevenir posibles afectaciones sobre los equipos de medición y control asociados al panel.

Adicionalmente, debido a la necesidad de retirar la UPS defectuosa de la ruta de alimentación del panel de control, se adecuó la conexión eléctrica del sistema a un circuito alterno disponible, para lo cual fue necesario realizar el cambio de la clavija de alimentación del panel. Esta adecuación permitió energizar el sistema de forma segura y efectuar las pruebas funcionales correspondientes.

### 5.3 Componentes incluidos

Dentro del alcance de la intervención se incluyeron los siguientes componentes y subsistemas del panel de control:

- Borneas de entrada de alimentación eléctrica identificadas como L1, L2 y PE.



- Dispositivo de protección eléctrica principal del circuito de alimentación del panel.
- Conductores de alimentación principal y conductores de distribución interna del panel.
- Conexiones de puesta a tierra y terminales asociados.
- Circuito de alimentación del ventilador de recirculación de aire del panel.
- Elementos internos de distribución eléctrica y verificación de continuidad hacia los componentes del gabinete.
- Revisión funcional general de fuente de alimentación, módulos instalados, tomas de servicio y demás elementos asociados al sistema eléctrico interno del panel.

#### 5.4 Componentes no intervenidos o excluidos

El presente mantenimiento se concentró en la corrección de condiciones eléctricas, de protección y de seguridad operacional del panel de control, así como en las acciones necesarias para restablecer su energización y verificar su funcionamiento. En consecuencia, no contempló modificaciones de diseño, actualización tecnológica ni intervención de fondo sobre la arquitectura funcional de las máquinas asociadas. Tampoco incluyó actividades de rediseño del sistema de control, sustitución integral de hardware por modernización, recalibración de la cadena metrológica ni intervención mecánica sobre las máquinas patrón.

De igual manera, no formaron parte del alcance del presente servicio la reparación interna, reacondicionamiento o mantenimiento especializado de la UPS originalmente asociada al panel de control, la cual fue retirada de la ruta de alimentación debido a su condición de falla. Como medida para restablecer la operación del sistema y permitir la ejecución de pruebas funcionales, fue necesario trasladar la alimentación del panel de control a otro circuito eléctrico disponible, para lo cual se realizó el cambio de la clavija de conexión. Esta clavija fue suministrada por personal del Instituto Nacional de Metrología. La adecuación efectuada tuvo como propósito habilitar la energización segura del panel durante la intervención, sin que ello constituyera una reparación de la UPS ni una modernización del sistema eléctrico general de las máquinas.

## 6 Estado inicial / diagnóstico antes de intervenir

### 6.1 Condición visual general

Al inicio de la intervención, el panel de control presentaba condiciones que evidenciaban manipulaciones previas en su sistema eléctrico interno. Durante la inspección visual se observaron conexiones no normalizadas, conductores con trazado y disposición no correspondientes a una configuración ordenada de fábrica y elementos del sistema con señales de intervención sobre su cableado original. Entre los hallazgos más relevantes se identificó un conductor de puesta a tierra suelto, un conector DB25 macho proveniente de la antigua UPS suspendido dentro del gabinete y con sus pines expuestos, Figura 3, así como modificaciones en el circuito de alimentación del ventilador de recirculación de aire. En términos generales, la condición visual inicial del panel indicaba la necesidad de una revisión técnica detallada para restablecer condiciones adecuadas de seguridad eléctrica y confiabilidad operativa.



Figura 3

### 6.2 Condición eléctrica inicial

Desde el punto de vista eléctrico, el sistema presentaba una condición anómala asociada a retorno de tensión hacia la estructura metálica de las máquinas, situación que generaba riesgo de contacto eléctrico para el personal operador. Como evidencia de esta condición, durante la verificación previa se realizó una medición entre el IBC y la estructura de la máquina, obteniéndose una lectura aproximada de 46.1 V AC, valor que confirmaba la presencia de una diferencia de potencial no deseada entre partes del sistema. De acuerdo con la información recopilada durante el servicio, esta condición se asoció a la conexión del panel de control a una UPS en mal estado, Figura 4.

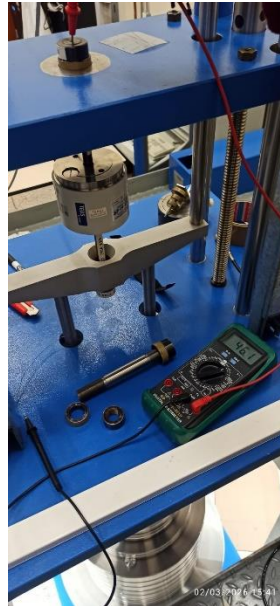


Figura 4

Adicionalmente, durante la inspección del circuito de alimentación se evidenció una conexión invertida en el disyuntor principal del panel, de manera que los conductores de alimentación de entrada y los conductores de salida hacia las cargas internas no se encontraban conectados en la disposición esperada, Figura 2. También se encontró una condición insegura en el circuito del ventilador de recirculación, el cual se encontraba alimentado de forma directa, sin pasar por el correspondiente elemento de protección eléctrica. En conjunto, estas condiciones comprometían la seguridad del sistema y aumentaban la probabilidad de fallas eléctricas, contactos indirectos y afectación de equipos asociados.

### 6.3 Condición funcional inicial

Funcionalmente, el panel de control no se encontraba en condiciones adecuadas para garantizar una operación segura y confiable de las máquinas asociadas. La anomalía eléctrica existente impedía disponer de un estado confiable de energización del sistema y afectaba directamente la posibilidad de ejecutar pruebas técnicas programadas. Esta situación tuvo impacto sobre las actividades previstas en el proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN, debido a que el panel no podía encenderse en condiciones seguras para habilitar la operación del sistema. En consecuencia, la condición funcional inicial del panel podía considerarse deficiente, tanto por el riesgo eléctrico presente como por la afectación sobre la disponibilidad operativa del conjunto.

### 6.4 Fallas reportadas por el usuario

De acuerdo con lo reportado por el personal del Instituto Nacional de Metrología, la principal anomalía asociada al panel de control correspondía a la presencia de descargas eléctricas percibidas por los operarios al interactuar con las máquinas, atribuibles a un retorno de tensión proveniente del sistema. Asimismo, se informó que el panel presentaba problemas para su

energización y que esta condición venía afectando el desarrollo de actividades técnicas asociadas a la modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN. Adicionalmente, se reportó la sospecha de una posible falla por cortocircuito en el ventilador de recirculación de aire del panel. Como antecedente adicional, se indicó la afectación de un amplificador HBM perteneciente a una celda patrón del INM, evento presuntamente relacionado con la anomalía eléctrica existente en el sistema.

## 6.5 Hallazgos preliminares

Como resultado del diagnóstico preliminar se identificaron varios hallazgos relevantes para la seguridad y operación del panel de control. En primer lugar, se evidenció que la UPS asociada al sistema se encontraba en mal estado y constituía una causa probable de la anomalía eléctrica reportada. En segundo lugar, se confirmó mediante medición una diferencia de potencial aproximada de 46.1 V AC entre el IBC y la estructura metálica de la máquina, condición incompatible con una operación segura del sistema y consistente con los reportes de descarga eléctrica manifestados por el personal. En tercer lugar, se encontró un conductor de puesta a tierra suelto, condición que comprometía la adecuada referencia de protección del sistema. En cuarto lugar, se verificó que la alimentación eléctrica del disyuntor principal presentaba una conexión invertida entre entrada y salida, lo que evidenciaba una intervención previa incorrecta sobre el cableado. Adicionalmente, se observó que el ventilador de recirculación había sido reconectado por fuera de su ruta normal de protección, quedando alimentado de manera directa. Finalmente, se encontró un conector DB25 macho proveniente de la antigua UPS, suspendido dentro del panel y con terminales expuestos, representando riesgo de cortocircuito o contacto accidental con otros elementos del gabinete. Estos hallazgos confirmaron la necesidad de ejecutar acciones correctivas inmediatas sobre el sistema eléctrico del panel antes de proceder con pruebas funcionales.

## 7 Actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas

### 7.1 Desenergización segura y alistamiento del área

Previo al inicio de la intervención se efectuó la desenergización del sistema y el alistamiento del área de trabajo, con el fin de garantizar condiciones seguras para la inspección interna del panel de control y la manipulación de sus componentes eléctricos. Esta actividad incluyó la verificación de las condiciones iniciales del sistema, la preparación del acceso al gabinete y la disposición del área para ejecutar las labores de diagnóstico y revisión técnica sin comprometer la seguridad del personal ni la integridad de los equipos asociados. Durante estas actividades se utilizaron los elementos de protección personal adecuados para trabajo con riesgo eléctrico, incluyendo guantes y botas con aislamiento dieléctrico, como medida preventiva para reducir el riesgo de contacto accidental durante la intervención.

## 7.2 Inspección visual interna y externa

Se realizó una inspección visual general del panel de control, tanto en su parte externa como interna, con el propósito de identificar señales de manipulación previa, estado general del gabinete, condiciones de montaje de los componentes y posibles anomalías en el sistema de cableado. Durante esta revisión se evidenciaron intervenciones previas no normalizadas sobre el circuito eléctrico interno, así como condiciones que requerían revisión detallada para asegurar la confiabilidad y seguridad del sistema.

## 7.3 Verificación general del cableado, terminales y conexiones

Se efectuó la revisión del cableado de alimentación y distribución interna del panel, incluyendo borneras, terminales, rutas de conductores y puntos de conexión de los diferentes componentes eléctricos. Esta actividad permitió identificar condiciones anómalas tales como conductor de puesta a tierra suelto, disposición incorrecta de conductores en el disyuntor principal y modificaciones previas en el cableado de algunos elementos del panel. La verificación tuvo como propósito confirmar el estado general de las conexiones y establecer la necesidad de acciones correctivas posteriores.

## 7.4 Revisión de protecciones eléctricas

Se revisó el estado general de las protecciones eléctricas del panel, en particular el disyuntor principal y los dispositivos asociados a la distribución de alimentación interna. Durante esta actividad se verificó la correspondencia entre las conexiones de entrada y salida del disyuntor, así como la condición de protección de los circuitos derivados. Esta revisión permitió identificar una configuración no adecuada en la conexión del sistema de alimentación, la cual comprometía la correcta protección del panel y requería normalización.

## 7.5 Revisión del sistema de alimentación y UPS

Se evaluó la ruta de alimentación eléctrica del panel de control, incluyendo la UPS originalmente asociada al sistema. Como resultado de esta revisión se identificó que la UPS presentaba condición de falla y constituía una causa probable de la anomalía eléctrica reportada en el sistema. Esta verificación permitió definir la necesidad de retirar la UPS de la ruta de alimentación del panel para restablecer condiciones seguras de energización y operación durante la intervención.

## 7.6 Revisión de tierras y puesta a tierra

Se realizó la verificación de las conexiones de puesta a tierra del panel de control, con énfasis en la continuidad del conductor de protección y su correcta vinculación a la estructura del sistema. Durante esta actividad se identificó un conductor de tierra suelto, condición que afectaba la referencia de protección eléctrica del panel y aumentaba el riesgo de contacto indirecto. La revisión de este subsistema fue fundamental para sustentar las acciones de corrección aplicadas posteriormente.

## 7.7 Revisión del sistema de ventilación del panel

Se verificó el estado del ventilador de recirculación de aire del panel de control, debido a que existía el reporte de una posible falla por cortocircuito. Como resultado de la revisión se determinó que el ventilador se encontraba en adecuadas condiciones de funcionamiento. No obstante, se evidenció que su cableado había sido manipulado previamente y que su alimentación se encontraba conectada de manera directa, sin pasar por el dispositivo de protección correspondiente, condición que fue registrada para su posterior corrección.

## 7.8 Revisión de conectores de comunicación y señal

Se inspeccionaron los conectores internos de comunicación y señal presentes en el panel, con el fin de verificar su estado físico, fijación y condición de seguridad eléctrica. Durante esta revisión se encontró un conector DB25 macho proveniente de la antigua UPS, suspendido dentro del gabinete y con los pines expuestos, representando riesgo de cortocircuito o contacto accidental con otros elementos del sistema. Este hallazgo fue incorporado dentro de las condiciones a corregir durante la intervención.

## 7.9 Verificación del computador y periféricos

Se realizó la verificación general del computador e interfaz de operación del panel, así como de los periféricos asociados al sistema, con el propósito de constatar su condición general y su disponibilidad para las pruebas funcionales posteriores. Esta actividad se orientó a confirmar que, una vez corregidas las anomalías de alimentación y seguridad eléctrica, el sistema de operación pudiera ser energizado y utilizado para la revisión funcional del panel y de las máquinas asociadas.

## 7.10 Verificación básica del amplificador y módulos asociados

Se efectuó una revisión básica del amplificador HBM MGCplus y de los módulos instalados en el panel, verificando su estado general de montaje, conexiones visibles y condición aparente de operación. Esta actividad tuvo carácter preventivo y de inspección, sin incluir recalibración ni intervención metrológica sobre la cadena de medición. La revisión cobró especial relevancia considerando los antecedentes de afectación de un amplificador HBM perteneciente a una celda patrón del Instituto Nacional de Metrología, presuntamente asociada a la anomalía eléctrica existente en el sistema.



## 8 Actividades de mantenimiento correctivo ejecutadas

### 8.1 Descripción de las fallas corregidas

Durante la intervención se corrigieron varias anomalías eléctricas y de conexionado que comprometían la seguridad y operatividad del panel de control. Entre las fallas corregidas se encontraban la presencia de retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas, la conexión invertida en el disyuntor principal del panel, la existencia de un conductor de puesta a tierra suelto, la alimentación directa del ventilador de recirculación sin pasar por su protección eléctrica correspondiente y la presencia de un conector DB25 macho suelto, proveniente de la antigua UPS, con sus pines expuestos dentro del gabinete. Asimismo, se corrigió la condición de alimentación del panel al retirar de la ruta eléctrica la UPS que presentaba falla y que se identificó como causa probable de la anomalía principal reportada.

### 8.2 Componentes reparados, ajustados o sustituidos

Como parte del mantenimiento correctivo se realizaron ajustes y normalización sobre diferentes componentes del sistema eléctrico del panel. Se intervino el disyuntor principal mediante la corrección de la disposición de los conductores de entrada y salida, se ajustó la conexión de puesta a tierra que se encontraba suelta, se normalizó el circuito de alimentación del ventilador de recirculación y se aisló el conector DB25 expuesto para evitar riesgo de cortocircuito. Adicionalmente, fue necesario realizar el cambio de la clavija de alimentación del panel con el fin de permitir su conexión a un circuito eléctrico alterno, debido al retiro de la UPS defectuosa de la ruta de alimentación. La clavija instalada fue suministrada por personal del Instituto Nacional de Metrología.

### 8.3 Intervenciones realizadas en cableado y conexiones

Se efectuó la revisión y corrección del cableado interno del panel de control, en particular sobre los circuitos de alimentación y protección. Se restableció la conexión correcta del disyuntor principal, dejando en la parte de entrada los conductores negros provenientes de las borneras de alimentación L1 y L2, y en la parte de salida, conductores azul y café destinados a la distribución de voltaje hacia los componentes internos del panel. Igualmente, se corrigió la conexión del conductor de puesta a tierra que se encontraba suelto y se reorganizó la conexión del ventilador de recirculación, eliminando su alimentación directa por fuera del esquema de protección. De igual manera, se intervino el conector DB25 macho proveniente de la antigua UPS, realizando su aislamiento mediante cinta aislante de uso eléctrico para proteger sus pines expuestos y evitar contacto accidental con otros elementos del gabinete.

## 8.4 Intervenciones realizadas en alimentación eléctrica y UPS

Como acción correctiva principal, se retiró la UPS defectuosa de la ruta de alimentación del panel de control, debido a que su condición de falla se identificó como causa probable del retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas. Con el fin de restablecer la energización del sistema y permitir la ejecución de pruebas funcionales, se reubicó la conexión del panel hacia otro circuito eléctrico disponible. Para ello fue necesario adaptar la conexión de alimentación mediante el cambio de la clavija del equipo. Esta adecuación permitió suministrar energía al panel en condiciones más seguras y continuar con las verificaciones operativas posteriores, sin que ello constituyera una reparación interna de la UPS retirada.

## 8.5 Medidas correctivas para mitigación de riesgo eléctrico

Las acciones ejecutadas estuvieron orientadas a eliminar o reducir condiciones que representaban riesgo eléctrico para los operarios y para los equipos asociados al sistema. En particular, la corrección del circuito de alimentación, la reconexión adecuada de la puesta a tierra, la exclusión de la UPS averiada, la normalización del circuito del ventilador y el aislamiento del conector DB25 expuesto permitieron reducir el riesgo de descargas eléctricas, cortocircuitos, falsos contactos y posibles daños sobre la instrumentación conectada al panel. Estas medidas correctivas fueron implementadas como requisito previo para recuperar condiciones seguras de operación del sistema.

## 8.6 Observaciones técnicas de la corrección aplicada

Las correcciones realizadas permitieron normalizar condiciones básicas de seguridad eléctrica y restablecer la posibilidad de energización del panel de control. Los hallazgos encontrados evidencian que el sistema había sido objeto de manipulaciones previas no normalizadas en su cableado y distribución eléctrica, situación que incrementó la probabilidad de falla y generó condiciones inseguras para la operación. La intervención ejecutada tuvo carácter correctivo inmediato y estuvo enfocada en restablecer la integridad funcional del circuito de alimentación y de protección del panel. No obstante, estas acciones no sustituyen las actividades de modernización del sistema ni la eventual revisión especializada de los equipos periféricos que hayan podido verse afectados por la anomalía eléctrica previamente existente.



## 9 Repuestos, materiales e insumos utilizados

### 9.1 Repuestos instalados

Durante la intervención no se realizó sustitución de componentes eléctricos o electrónicos funcionales al interior del panel de control, tales como protecciones, fuentes, módulos de medición, módulos de comunicación o ventiladores. Como parte de las adecuaciones necesarias para restablecer la energización del sistema, se efectuó únicamente el cambio de la clavija de alimentación del panel, con el fin de permitir su conexión a un circuito eléctrico alterno, debido al retiro de la UPS defectuosa de la ruta de alimentación. Esta clavija fue suministrada por personal del Instituto Nacional de Metrología.

### 9.2 Materiales consumibles

Para la ejecución del mantenimiento se utilizaron materiales e insumos de apoyo requeridos para las labores de conexión, verificación y aseguramiento eléctrico del sistema, entre ellos:

- Cinta aislante negra.
- Extensiones eléctricas (3 unidades).
- Cable eléctrico 3 x 12 AWG (5 m).

Estos materiales fueron utilizados para apoyar las actividades de intervención, adecuación temporal de alimentación, aislamiento de elementos expuestos y ejecución segura de las pruebas realizadas sobre el panel de control.

### 9.3 Herramientas y equipos de medición utilizados

Para el desarrollo de las actividades de diagnóstico, verificación e intervención se utilizaron las siguientes herramientas y equipos:

- Multímetro / osciloscopio FLUKE 190-102.
- Multitoma con voltímetro y amperímetro.
- Computador portátil Lenovo V14 G4 AMN.
- Baroscopio Klein Tools.
- Pinza amperimétrica UNI-T UT204A.
- Herramientas de mano: destornilladores, pinzas, cortafríos, alicate de punta y otros elementos de apoyo manual.

Estos equipos permitieron realizar inspecciones visuales internas, verificaciones eléctricas, revisión de conexiones, mediciones de tensión y apoyo a las pruebas funcionales efectuadas durante la intervención.

## 10 Pruebas y verificaciones realizadas

### 10.1 Verificación de energización del panel

Una vez ejecutadas las correcciones eléctricas y de conexionado descritas en los numerales anteriores, se realizó la verificación de energización del panel de control, confirmando que el sistema podía ser alimentado desde el circuito alterno dispuesto para la intervención y que se restablecían las condiciones básicas para su operación. Esta prueba permitió confirmar la recuperación de la capacidad de encendido del panel y la continuidad de alimentación hacia sus componentes principales.

### 10.2 Verificación de arranque del computador e interfaz de operación

Posteriormente se verificó el arranque del computador y de la interfaz de operación del panel, constatando la disponibilidad del sistema para el desarrollo de pruebas funcionales. Esta verificación permitió confirmar que, una vez corregidas las anomalías de alimentación, el equipo de operación podía inicializarse adecuadamente y quedar disponible para interactuar con la máquina asociada.

### 10.3 Verificación de arranque del software de operación

Se verificó el arranque del software de operación utilizado para el control de la máquina y el envío de órdenes funcionales. Esta prueba permitió confirmar que el sistema de control podía iniciar correctamente y que se encontraba disponible para ejecutar comandos relacionados con el cambio de masas y la simulación de una secuencia de calibración en la máquina ensayada.

### 10.4 Verificación del sistema de medición y control

Como parte de las pruebas realizadas, se efectuó el montaje de un IBC en la máquina de 10 kN, verificando la interacción general entre el sistema de medición, el panel de control y el software de operación. Durante esta verificación se comprobó la capacidad del sistema para recibir órdenes funcionales y ejecutar maniobras generales de operación, incluyendo el cambio de masas comandado desde el software y la simulación de una calibración, con el fin de validar la recuperación operativa del conjunto.

### 10.5 Verificación de condición eléctrica segura del sistema

Con posterioridad a la intervención, se repitió la medición de tensión entre el IBC y la estructura metálica de la máquina, obteniéndose una lectura de aproximadamente 9,4 mV AC. Este resultado contrasta con la medición inicial de aproximadamente 46,1 V AC registrada antes del

mantenimiento, evidenciando la eliminación de la diferencia de potencial anómala que generaba riesgo de descarga eléctrica para los operarios, Figura 5. Esta verificación constituyó uno de los principales criterios de aceptación de la intervención correctiva realizada sobre el sistema eléctrico del panel.

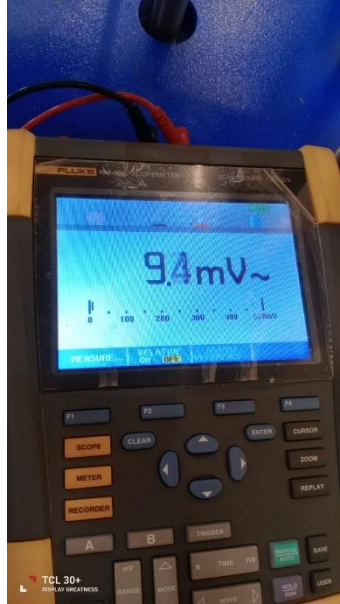


Figura 5

## 10.6 Verificación funcional de la máquina de 10 kN

La verificación funcional completa realizada durante la intervención se ejecutó sobre la máquina de 10 kN, por ser la máquina utilizada para comprobar la recuperación operativa del panel de control. La prueba incluyó el montaje del IBC, la energización del sistema, la ejecución de maniobras generales de funcionamiento y la validación de órdenes enviadas desde el software de operación, particularmente aquellas asociadas al cambio de masas. Adicionalmente, se efectuó una simulación de calibración con el fin de confirmar que la máquina respondía adecuadamente a la secuencia operativa básica requerida para su funcionamiento.

## 10.7 Alcance de la verificación sobre las máquinas de 100 kN y 1000 kN

En el marco del presente mantenimiento no se ejecutó una verificación funcional completa sobre las máquinas de 100 kN y 1000 kN. La intervención estuvo orientada principalmente a eliminar la anomalía eléctrica del panel de control, recuperar condiciones seguras de energización y validar su funcionamiento general mediante prueba operativa en la máquina de 10 kN. En consecuencia, las verificaciones funcionales específicas de las demás máquinas deberán desarrollarse en actividades posteriores, de acuerdo con la programación técnica del laboratorio y las necesidades asociadas al proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN.

## 10.8 Verificación de parada, apagado y condiciones seguras

Finalmente, se verificaron las condiciones de parada y apagado del sistema una vez concluidas las pruebas, confirmando que el panel podía desenergizarse sin evidenciar comportamientos anómalos asociados a retorno de tensión, contactos eléctricos accidentales o condiciones inseguras para el personal. Esta actividad permitió cerrar la intervención con una comprobación final del restablecimiento de condiciones básicas de seguridad eléctrica y operación controlada del sistema.

## 11 Resultados del mantenimiento

### 11.1 Estado final del panel de control

Al finalizar la intervención, el panel de control quedó en condiciones de energización y operación significativamente más seguras que las observadas en el diagnóstico inicial. Se restableció una configuración eléctrica coherente en los circuitos principales de alimentación y protección, se corrigieron conexiones que habían sido manipuladas de forma inadecuada y se retiró de la ruta de alimentación la UPS defectuosa identificada como causa probable de la anomalía eléctrica reportada. Asimismo, se adecuó la alimentación del panel a un circuito alterno, permitiendo su encendido, arranque del computador e interfaz de operación, así como la ejecución de pruebas funcionales controladas.

### 11.2 Mejoras obtenidas en seguridad y operación

Como resultado del mantenimiento se obtuvo una mejora sustancial en las condiciones de seguridad eléctrica del sistema. La evidencia más representativa de esta mejora fue la reducción de la diferencia de potencial medida entre el IBC y la estructura metálica de la máquina, pasando de aproximadamente 46,1 V AC antes de la intervención a aproximadamente 9,4 mV AC después de ejecutadas las correcciones, lo cual evidencia la eliminación de la condición anómala de retorno de tensión que generaba riesgo para el personal operador. Adicionalmente, se mejoró la confiabilidad del sistema al normalizar la conexión del disyuntor principal, reconectar adecuadamente la puesta a tierra, corregir la alimentación del ventilador de recirculación y aislar elementos que presentaban riesgo de cortocircuito dentro del panel. En términos operativos, el panel recuperó su capacidad de encendido y permitió realizar pruebas funcionales sobre la máquina de 10 kN.

### 11.3 Fallas solucionadas

Durante el mantenimiento fueron solucionadas las siguientes fallas y condiciones anómalas identificadas en el diagnóstico inicial:

- Retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas.
- Conexión invertida en el disyuntor principal del panel.
- Conductor de entrada de puesta a tierra suelto.
- Alimentación directa del ventilador de recirculación, sin paso por protección eléctrica.
- Presencia de conector DB25 macho suelto, proveniente de la antigua UPS, con pines expuestos.
- Imposibilidad de energización segura del panel desde la configuración de alimentación existente.

Estas correcciones permitieron restablecer condiciones básicas de seguridad y operación para el sistema intervenido.

### 11.4 Limitaciones, pendientes y condiciones no verificadas

A pesar de los resultados satisfactorios obtenidos, el presente mantenimiento no incluyó la reparación interna ni el reacondicionamiento de la UPS retirada del sistema, ni tampoco contempló actividades de modernización del panel o rediseño del sistema de control. De igual manera, la verificación funcional completa solo se ejecutó sobre la máquina de 10 kN, por lo que no se realizó validación funcional integral sobre las máquinas de 100 kN y 1000 kN dentro del alcance de esta intervención. En consecuencia, permanecen pendientes las verificaciones específicas sobre dichas máquinas, así como la continuidad de las actividades técnicas asociadas al proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN.

### 11.5 Condición de servicio al finalizar

Al cierre del mantenimiento, el panel de control quedó habilitado para energización y operación controlada, con recuperación de condiciones básicas de seguridad eléctrica y con validación funcional realizada sobre la máquina de 10 kN. En este sentido, se considera que la intervención fue efectiva para eliminar la anomalía principal reportada, reducir el riesgo de descarga eléctrica para los operarios y restablecer la disponibilidad del panel para pruebas operativas. No obstante, la condición final de servicio debe entenderse con el alcance de las verificaciones efectuadas, por lo que la habilitación integral del sistema para las tres máquinas deberá complementarse con pruebas adicionales y con las actividades técnicas futuras que el Instituto Nacional de Metrología tenga programadas.



## 12 Análisis técnico de hallazgos

### 12.1 Causas probables de las fallas encontradas

Con base en la inspección realizada y en los resultados obtenidos durante la intervención, se concluye que la falla principal del sistema estuvo asociada a una combinación de condiciones anómalas en la alimentación eléctrica y en el cableado interno del panel de control. La causa probable más relevante corresponde a la conexión del panel a una UPS en mal estado, condición que se identificó como origen probable del retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas. A esta condición se sumaron otras desviaciones detectadas durante la inspección, entre ellas la conexión invertida en el disyuntor principal, la presencia de un conductor de puesta a tierra suelto, la alimentación directa del ventilador de recirculación sin pasar por su protección eléctrica correspondiente y la existencia de un conector DB25 proveniente de la antigua UPS con terminales expuestos dentro del gabinete.

En conjunto, estos hallazgos evidencian que el panel había sido objeto de manipulaciones previas no normalizadas en su sistema eléctrico, lo que alteró las condiciones esperadas de protección, distribución de energía y seguridad operacional. Desde el punto de vista técnico, la coexistencia de estas condiciones incrementó la probabilidad de aparición de tensiones no deseadas sobre partes metálicas accesibles, falsos contactos, exposición de terminales energizables y afectación de equipos sensibles conectados al sistema.

### 12.2 Riesgos asociados identificados

Los hallazgos detectados durante el diagnóstico permitieron identificar riesgos relevantes para la seguridad del personal y para la integridad del sistema. El riesgo más crítico correspondía a la posibilidad de descarga eléctrica por contacto indirecto, evidenciada por la presencia de una diferencia de potencial entre el IBC y la estructura metálica de la máquina. Esta condición representaba una amenaza directa para los operarios durante la manipulación de las máquinas y de los elementos asociados al proceso de calibración.

Adicionalmente, se identificó riesgo de cortocircuito derivado de la presencia del conector DB25 macho con pines expuestos dentro del panel, así como riesgo de protección eléctrica ineficaz por la conexión invertida del disyuntor principal y por la alimentación directa del ventilador de recirculación por fuera de su esquema de protección. También se identificó riesgo de afectación a equipos de medición y control, dada la existencia de antecedentes de daño en un amplificador HBM asociado a una celda patrón del Instituto Nacional de Metrología, situación presuntamente relacionada con la anomalía eléctrica presente en el sistema. En términos generales, los hallazgos evidenciaban un escenario de riesgo eléctrico y funcional que exigía corrección inmediata.

## 12.3 Impacto potencial sobre la operación metrológica

Las anomalías encontradas en el panel de control tenían el potencial de afectar de manera directa la continuidad operativa de los patrones nacionales de fuerza y, por tanto, la ejecución de actividades metrológicas del laboratorio. La imposibilidad de energizar el panel en condiciones seguras comprometía la disponibilidad del sistema para la operación de las máquinas ERICHSEN y limitaba la realización de calibraciones y verificaciones funcionales. Además, la presencia de tensiones no deseadas y configuraciones eléctricas incorrectas podía comprometer la integridad de la cadena de medición, generar fallas en instrumentación sensible y afectar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Este impacto no solo tenía implicaciones sobre la operación rutinaria del laboratorio, sino también sobre actividades técnicas estratégicas, como el proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN. En este contexto, la indisponibilidad del panel retrasó la ejecución de pruebas programadas, afectando el avance de actividades de diagnóstico, caracterización y validación requeridas para dicho proceso. Por lo tanto, la falla observada no debe entenderse únicamente como un problema de mantenimiento eléctrico, sino como una condición con repercusión directa sobre la infraestructura metrológica y sobre la continuidad de proyectos técnicos asociados al sistema.

## 12.4 Criticidad de los componentes y condiciones observadas

Desde el punto de vista de criticidad, la UPS defectuosa y la configuración anómala del circuito de alimentación principal constituyeron los hallazgos de mayor severidad, debido a su relación directa con el retorno de tensión, el riesgo de descarga eléctrica y la indisponibilidad operativa del panel. En un segundo nivel de criticidad se ubicaron la puesta a tierra suelta y la inversión de conexiones en el disyuntor principal, por comprometer la referencia de protección del sistema y la correcta lógica de distribución de energía dentro del panel. Estas condiciones tenían capacidad de amplificar la severidad de la falla principal y de comprometer tanto la seguridad como la confiabilidad del sistema.

En un nivel también importante, aunque de impacto más localizado, se ubicaron la alimentación directa del ventilador sin protección adecuada y la presencia del conector DB25 con terminales expuestos, dado que estas condiciones constituían focos potenciales de cortocircuito, contacto accidental o daño adicional a componentes internos. En conjunto, los hallazgos observados permiten concluir que el sistema presentaba una condición de criticidad alta desde el punto de vista eléctrico y operacional, y que la intervención correctiva realizada era necesaria para restablecer condiciones mínimas de seguridad y funcionamiento.

## 13 Recomendaciones

### 13.1 Recomendaciones inmediatas

Se recomienda que el panel de control quede alimentado desde la misma UPS asociada al sistema eléctrico de las máquinas, y no desde una UPS diferente o desde una configuración de alimentación independiente no validada técnicamente, como se encontraba al momento de la intervención. Esta recomendación busca evitar diferencias de potencial entre subsistemas, reducir el riesgo de retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas y mantener una referencia eléctrica común para el conjunto del sistema. En todo caso, la UPS que se utilice para esta finalidad deberá encontrarse en condiciones operativas verificadas, con revisión previa de su estado funcional, conexiones, puesta a tierra y parámetros eléctricos de salida.

Adicionalmente, se recomienda mantener fuera de servicio la UPS que presentó la falla hasta que sea sometida a evaluación técnica especializada, y evitar su reincorporación al sistema sin un diagnóstico concluyente y sin la validación correspondiente.

### 13.2 Recomendaciones de mantenimiento preventivo periódico

Se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo periódico para el panel de control, que incluya como mínimo inspección visual interna y externa, verificación del estado del cableado, revisión y reapriete de terminales, comprobación de continuidad de la puesta a tierra, verificación del estado de protecciones eléctricas y revisión del sistema de ventilación. De igual manera, se recomienda incluir dentro de estas actividades la verificación de ausencia de tensión anómala entre el IBC y la estructura metálica de las máquinas, como criterio de seguridad eléctrica previo a la operación.

Asimismo, es conveniente llevar registro documental de cada mantenimiento realizado, incluyendo fecha, personal ejecutor, hallazgos, acciones correctivas aplicadas y evidencia fotográfica, con el fin de mantener trazabilidad técnica sobre el historial del panel y facilitar la detección temprana de desviaciones o manipulaciones no autorizadas.

### 13.3 Recomendaciones de modernización o actualización

Se recomienda que, en el marco del proceso de modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN, se considere una revisión integral de la arquitectura eléctrica y de control del panel, incluyendo actualización de diagramas eléctricos, identificación formal de conductores, normalización de puntos de alimentación, revisión del esquema de tierras y retiro definitivo de conexiones, cables o interfaces que ya no cumplan una función operativa dentro del sistema.

Igualmente, se recomienda evaluar la conveniencia de sustituir elementos obsoletos o intervenidos previamente sin criterio de normalización, en especial aquellos asociados al sistema

de alimentación, protección y respaldo eléctrico. Esta revisión deberá articularse con las actividades de modernización ya previstas, de manera que el sistema final quede con una arquitectura eléctrica segura, documentada y consistente con las necesidades metrológicas y operativas del laboratorio.

### 13.4 Recomendaciones operativas para el personal usuario

Se recomienda que el personal usuario no energice ni opere el panel de control si detecta descargas eléctricas, comportamiento anómalo del sistema, olores inusuales, calentamiento excesivo, fallas de encendido o cualquier indicio de tensión sobre partes metálicas accesibles. Ante cualquiera de estas condiciones, debe suspenderse la operación y solicitarse revisión técnica inmediata.

De igual forma, se recomienda no realizar modificaciones en el cableado interno, conexiones de alimentación, protecciones eléctricas o rutas de señal sin autorización y sin soporte técnico documentado. Toda intervención futura debe quedar registrada y, en caso de trabajos con exposición a riesgo eléctrico, debe ejecutarse con los elementos de protección personal adecuados y bajo condiciones seguras de intervención.

### 13.5 Repuestos estratégicos sugeridos

Se recomienda mantener disponibles algunos elementos estratégicos para atención de contingencias y mantenimiento del panel de control, entre ellos: clavija de alimentación compatible con la configuración eléctrica aprobada, conductores eléctricos para reposición, terminales y accesorios de conexión, cinta aislante de uso eléctrico, elementos de protección equivalentes a los instalados y componentes básicos para normalización de cableado y puesta a tierra.

Adicionalmente, se recomienda considerar dentro de la planeación técnica una solución de respaldo eléctrico confiable y verificada para el sistema, ya sea mediante recuperación certificada de la UPS correspondiente o mediante reemplazo por un equipo equivalente que cumpla con las condiciones eléctricas requeridas por el panel y por las máquinas asociadas.

## 14 Conclusiones

Al momento de la intervención, el panel de control presentaba una condición eléctrica anómala que generaba retorno de tensión hacia la estructura de las máquinas, evidenciada mediante medición entre el IBC y la estructura metálica, así como múltiples señales de manipulación previa no normalizada en el cableado interno, incluyendo inversión de conexiones en el disyuntor principal, conductor de puesta a tierra suelto, alimentación inadecuada del ventilador de recirculación y presencia de un conector DB25 con terminales expuestos.

El mantenimiento realizado permitió identificar como causa probable principal de la falla la conexión del panel de control a una UPS en mal estado, razón por la cual se retiró dicha UPS de la ruta de alimentación, se corrigieron las conexiones eléctricas internas observadas, se normalizó la disposición del cableado de alimentación y protección, se restableció la conexión de puesta a tierra y se aplicaron medidas de mitigación para reducir riesgos de cortocircuito y contacto accidental.

Como resultado de la intervención, el panel de control recuperó condiciones básicas de energización y operación segura, lo cual fue verificado mediante el arranque del sistema, la operación del computador e interfaz de control y la ejecución de pruebas funcionales sobre la máquina de 10 kN, incluyendo montaje de IBC, cambio de masas desde software y simulación de una calibración.

La eficacia de las acciones correctivas ejecutadas se evidenció en la reducción de la diferencia de potencial entre el IBC y la estructura de la máquina, pasando de aproximadamente 46,1 V AC antes de la intervención a aproximadamente 9,4 mV AC después del mantenimiento, mitigando de manera significativa el riesgo de descarga eléctrica para el personal y disminuyendo la probabilidad de afectación sobre equipos de medición y control asociados al sistema.

Aunque la intervención permitió restablecer condiciones seguras de operación del panel y recuperar su disponibilidad para pruebas controladas, permanecen pendientes la evaluación especializada de la UPS retirada, la validación funcional completa sobre las máquinas de 100 kN y 1000 kN, y la continuidad de las actividades técnicas relacionadas con la modernización del patrón nacional de fuerza de 100 kN.

## 15 Anexos

### 15.1 Registro fotográfico antes, durante y después

Se anexa el registro fotográfico del panel de control y de los elementos asociados, con evidencia del estado inicial encontrado, los hallazgos identificados durante la inspección y las condiciones finales posteriores a la intervención. Este anexo incluye, entre otros aspectos, evidencia de las conexiones internas del panel, del estado del cableado, del conector DB25 encontrado con terminales expuestos, de la corrección efectuada en la alimentación eléctrica, del cambio de clavija y de las pruebas realizadas sobre el sistema.

- Antes

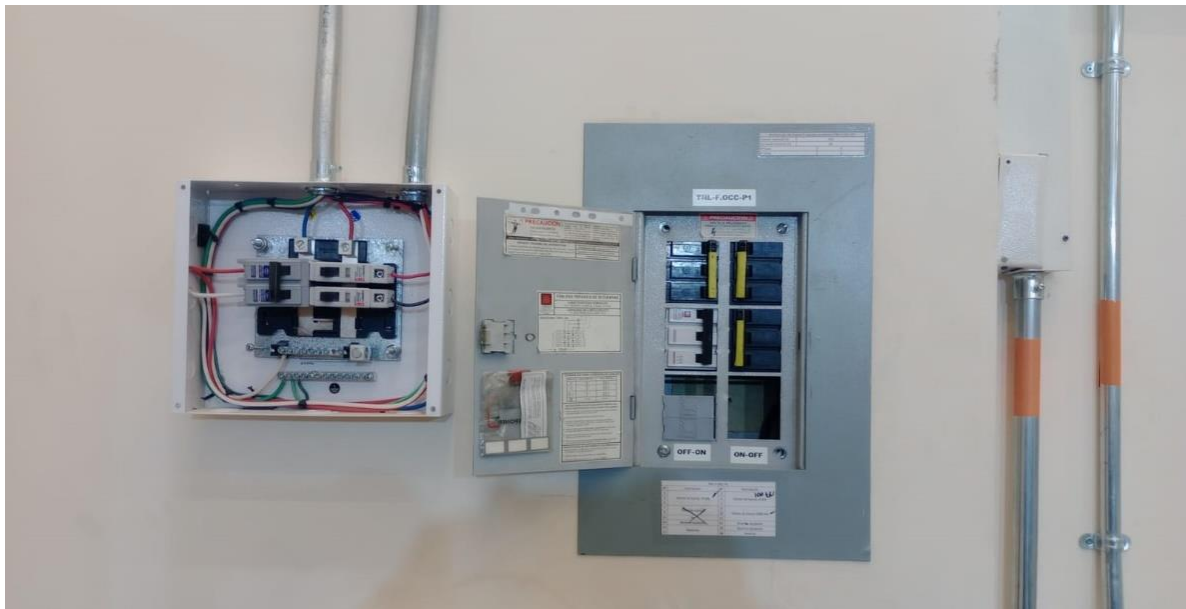


Figura 6. Verificación del circuito de alimentación y desenergización del sistema previa a la intervención del panel de control.



Figura 7

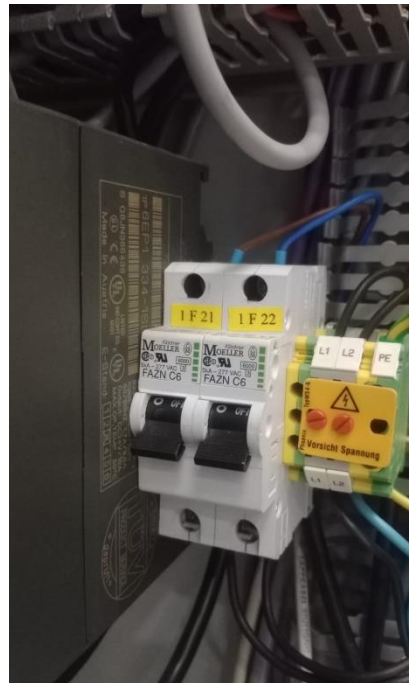


Figura 8

Figura 7 y 8, conexión invertida identificada en el disyuntor principal del panel de control antes de la corrección.

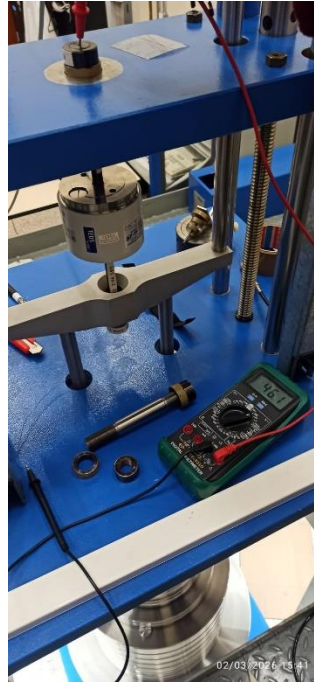


Figura 9, Evidencia de retorno de tensión entre el IBC y la estructura metálica de la máquina antes de la intervención.



Figura 10, Conector DB25 proveniente de la antigua UPS, encontrado suelto dentro del panel de control y con pines expuestos.

- Durante



Figura 11, UPS retirada de la ruta de alimentación del panel de control durante la intervención.



Figura 12, Revisión de la instalación eléctrica asociada al punto de conexión de la UPS durante la intervención.



Figura 13, Revisión del subsistema de protección eléctrica asociado a la UPS que presentaba la falla.



Figura 14, Realización de mediciones y verificaciones técnicas durante la intervención del sistema.



Figura 15, Panel de control abierto durante la ejecución de actividades de mantenimiento.



Figura 16, detalle del montaje utilizado para la medición de tensión entre el IBC y la estructura de la máquina durante el mantenimiento.

- Después



Figura 17, Verificación final de funcionamiento del panel de control, con consumo aproximado de 470 mA a 220 VAC después de las correcciones realizadas.



Figura 18, UPS desconectada y retirada de la ruta de alimentación del panel de control, dispuesta temporalmente en un costado del laboratorio.



Figura 19



Figura 20

Figura 19 y 20, Organización final del área de intervención, con cables de conexión aislados y dispuestos de forma segura después del mantenimiento.

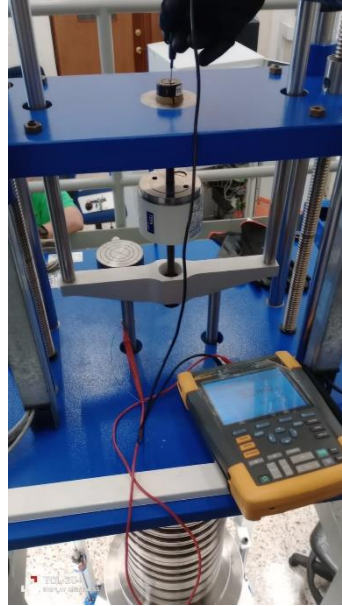


Figura 21

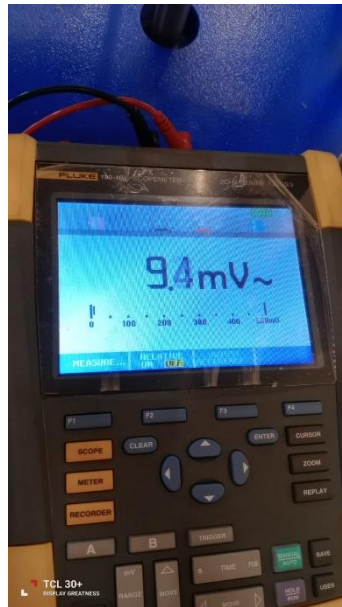


Figura 22

Figura 21 y 22 Evidencia de medición final de 9,4 mV AC entre el IBC y la estructura de la máquina, confirmando la eliminación del retorno de tensión.

## 16 Firmas

### 16.1 Elaboró

Jaime Andres Zambrano  
Ingeniero Electrónico  
[investigacion@pinzuar.com.co](mailto:investigacion@pinzuar.com.co)

### 16.2 Revisó

CATALINA PINTOR  
Directora General  
[direccion.general@pinzuar.com.co](mailto:direccion.general@pinzuar.com.co)

### 16.3 Recibió / aprobó

 km 2 Vía Madrid - Puente Piedra  
Parque Ind. **San Isidro • Bodega 1C**  
(Madrid, Cundinamarca) • Colombia  
Cel.: 316 525 1236 - 311 885 5256  
[ventas@pinzuar.com.co](mailto:ventas@pinzuar.com.co)

 **Lab. Metrología**  
Cll 18 # 103B - 72  
Fontibón - Bogotá • Colombia  
Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640  
[labmetrologia@pinzuar.com.co](mailto:labmetrologia@pinzuar.com.co)

 **Perú**  
Calle Ricardo Palma #998  
Urb. San Joaquín Bellavista Callao - Lima  
**(51+1) 562 1263**  
[peru.comercial@pinzuar.com.co](mailto:peru.comercial@pinzuar.com.co)

# Informe mantenimiento preventivo y correctivo panel de control por parte de Pinzuar S.A.S

Subdirección de Metrología Física  
Bogotá D.C

2026-04-06

## CONTENIDO

	Página.
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ALCANCE.....	3
3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	3
3.1. Antecedentes de la intervención.....	3
3.2. Actividades verificadas .....	4
3.3. Resultados y verificación de cumplimiento .....	4
4. RESULTADOS .....	5
5. CONCLUSIONES.....	6
6. ANEXOS.....	6

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe de supervisión contractual tiene por objeto documentar la revisión técnica y administrativa efectuada sobre las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo realizadas por el contratista PINZUAR S.A.S. al panel de control de los patrones nacionales de fuerza ERICHSEN (10 kN, 100 kN y 1000 kN), ejecutadas el 10 de marzo de 2026 en las instalaciones del Instituto Nacional de Metrología de Colombia.

Esta intervención se originó por la detección de una condición anómala de retorno de tensión eléctrica hacia las estructuras de las máquinas, que generaba riesgo para el personal operador y comprometía la operatividad del sistema, afectando además actividades programadas de modernización del patrón de 100 kN.

De conformidad con las funciones de supervisión asignadas, se analizó el informe técnico aportado por el contratista, verificando el diagnóstico inicial, las acciones ejecutadas, los resultados obtenidos y su correspondencia con el alcance del servicio contratado.

## 2. ALCANCE

De conformidad con las funciones de supervisión del Convenio 004 del 2025 y con base en el informe técnico de mantenimiento preventivo y correctivo del panel de control de los patrones nacionales de fuerza ERICHSEN (10 kN, 100 kN y 1000 kN), se deja constancia de la revisión efectuada sobre las actividades ejecutadas por el cooperante PINZUAR S.A.S., respecto del servicio realizado el 10 de marzo de 2026 en las instalaciones del Instituto Nacional de Metrología de Colombia.

## 3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

### 3.1. Antecedentes de la intervención

El informe técnico da cuenta de que la intervención se originó por la presencia de una condición de riesgo eléctrico evidenciada por retorno de tensión desde el panel de control hacia la estructura de las máquinas, situación que generaba descargas eléctricas al personal y podía afectar equipos de medición asociados.

Asimismo, se identificó como causa probable principal la conexión del panel de control a una UPS en mal estado, junto con otras anomalías tales como conexión

invertida en el disyuntor principal, conductor de puesta a tierra suelto, alimentación directa del ventilador sin protección y presencia de un conector DB25 con terminales expuestos.

### 3.2. Actividades verificadas

Con base en el informe aportado por el contratista, se evidenció la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo consistentes en desenergización segura y alistamiento del área, inspección visual interna y externa, verificación de cableado, terminales y conexiones, revisión de protecciones eléctricas, evaluación del sistema de alimentación y UPS, revisión de tierras, verificación del sistema de ventilación, revisión de conectores de comunicación y señal, y comprobación general del computador, periféricos, amplificador y módulos asociados.

Igualmente, se verificó la ejecución de actividades correctivas dirigidas a normalizar la configuración eléctrica del panel, entre ellas la corrección de la conexión del disyuntor principal, el ajuste de la puesta a tierra suelta, la normalización del circuito de alimentación del ventilador, el aislamiento del conector DB25 expuesto, el retiro de la UPS defectuosa de la ruta de alimentación y la adecuación de la conexión del panel a un circuito alterno mediante cambio de clavija.

Estas actividades guardan relación directa con el diagnóstico inicial reportado y resultan coherentes con la finalidad del servicio, en tanto estuvieron encaminadas a eliminar los riesgos identificados, corregir condiciones inseguras de operación y restablecer el funcionamiento básico del sistema de control.

### 3.3. Resultados y verificación de cumplimiento

El informe técnico evidencia que, una vez ejecutadas las correcciones, se realizaron pruebas de energización del panel, arranque del computador e interfaz de operación, arranque del software de operación, verificación del sistema de medición y control, comprobación de condición eléctrica segura del sistema y validación funcional sobre la máquina de 10 kN.

Como resultado objetivo de la intervención, se reportó una reducción de la diferencia de potencial entre el IBC y la estructura metálica de la máquina, pasando de aproximadamente 46,1 V AC antes del mantenimiento a aproximadamente 9,4 mV AC después de la intervención, lo que evidencia la eliminación de la condición anómala que generaba riesgo de descarga eléctrica para los operarios.

También se dejó documentado que el panel recuperó su capacidad de encendido y operación controlada, permitiendo la ejecución de maniobras generales de funcionamiento, cambio de masas desde el software y simulación de calibración en la máquina de 10 kN.

En criterio de supervisión, los resultados consignados permiten establecer que el trabajo realizado fue satisfactorio, por cuanto atendió de manera efectiva la causa principal de la falla reportada, redujo el riesgo eléctrico existente y restableció condiciones básicas de seguridad y operatividad para el fin previsto dentro del alcance contratado.

#### 4. RESULTADOS

De la revisión integral del informe se observa correspondencia entre:

- i) las fallas reportadas inicialmente,
- ii) los hallazgos técnicos identificados durante el diagnóstico,
- iii) las actividades preventivas y correctivas ejecutadas, y
- iv) las pruebas efectuadas al finalizar la intervención.

De igual forma, se evidencia que las acciones implementadas fueron adecuadas y pertinentes frente a los riesgos detectados, especialmente en lo relacionado con la eliminación del retorno de tensión, la normalización del circuito de alimentación, la reconexión de la puesta a tierra y la mitigación de posibles eventos de cortocircuito o contacto accidental dentro del panel.

Si bien el mismo informe precisa que la verificación funcional completa se efectuó sobre la máquina de 10 kN y que quedan pendientes validaciones específicas sobre las máquinas de 100 kN y 1000 kN, ello no desvirtúa la conformidad del servicio ejecutado dentro del alcance definido para esta intervención, el cual estuvo orientado principalmente a corregir la anomalía eléctrica del panel y recuperar condiciones seguras de energización y operación.

Por lo anterior, desde la supervisión se considera acreditado que las actividades realizadas fueron adecuadas para el fin previsto, en la medida en que permitieron mitigar la condición de riesgo identificada, recuperar la disponibilidad operativa del panel para pruebas controladas y mejorar la confiabilidad del sistema intervenido.

## 5. CONCLUSIONES

- El servicio de mantenimiento fue ejecutado de manera satisfactoria, evidenciándose la corrección efectiva de las anomalías eléctricas identificadas, incluyendo la conexión invertida del disyuntor principal, el conductor de puesta a tierra suelto, la alimentación directa del ventilador y el retiro de la UPS defectuosa.
- Los resultados objetivos confirman la eliminación del riesgo de descarga eléctrica, con reducción de la diferencia de potencial de 46,1 V AC a 9,4 mV AC, y la recuperación de condiciones seguras de energización y operación controlada del panel, validada funcionalmente en la máquina de 10 kN.
- Se acredita el cumplimiento material del objetivo, considerando que las actividades desarrolladas resultaron pertinentes y adecuadas para mitigar los riesgos detectados y restablecer la confiabilidad del sistema intervenido dentro del alcance definido.

## 6. ANEXOS

Informe Mantenimiento eléctrico Panel de control ERICHSEN 2026-03-10 ver 1\_0\_PINZUAR

Ivan David  
Betancur Pulido

Firmado digitalmente por  
Ivan David Betancur Pulido  
Fecha: 2026.04.08 11:02:44  
-05'00'

---

Iván David Betancur Pulido  
Profesional Especializado  
2026-04-06