

Facultad de
INGENIERÍA
Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Ingeniería Mecatrónica

Informe de Práctica Profesional Supervisada

Ensayo de estanqueidad y desplazamiento
Central Nuclear Embalse
(Córdoba, Argentina)

Alumno: Ariel David Knaidel

ÍNDICE

Introducción	1
Líneas de trabajo	1
Polos tecnológicos.....	1
Centro Atómico Constituyentes (CAC).....	1
Centro Atómico Ezeiza (CAE).....	1
Centro Atómico Bariloche (CAB).....	2
Sede Central	2
Descripción del Reactor de Investigación RA-1	2
Objetivo de la PPS	3
Descripción de la Central Nuclear Embalse (CANDU)	4
Información Técnica.....	4
Ensayo de estanqueidad y desplazamiento	5
Participación en el Ensayo	5
Aspectos Técnicos del Ensayo	6
Metodología	6
Preparación del ensayo.....	7
Verificación previa.....	7
Presurización de la contención.....	7
Monitoreo de la tasa de fuga	7
Certificación del ensayo.....	7
Soportes	8
Soportes para las cámaras termográficas.....	8
Soportes para termómetros infrarrojos.....	9
Soportes para medidores de desplazamiento.....	10
Soporte para sensor de temperatura PT100 de pared.....	12
Ubicaciones gráficas de los sensores.....	13
Electrónica.....	26
Instrumentación	26
Diagramas de conexión de los ensayos	33
Software	35
Programación y análisis de datos	35
Interfaz de usuario.....	36
Conclusión	40
Observaciones.....	43

Introducción

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) es el organismo de referencia del desarrollo nuclear argentino, contempla las necesidades de autonomía y desarrollo tecnológico para nuestro país. Su misión principal es promover el uso pacífico de la tecnología nuclear y fomentar el desarrollo científico-tecnológico en este campo, contribuyendo al progreso del país.

Líneas de trabajo

La CNEA lleva adelante actividades en diversas áreas estratégicas, entre las que destacan:

- Investigación y desarrollo: Innovación en tecnologías nucleares de potencia y de investigación.
- Medicina nuclear: Producción de radioisótopos y tecnologías para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.
- Gestión de residuos radiactivos: Desarrollo de soluciones seguras para la disposición y el manejo de residuos nucleares.
- Formación de recursos humanos: Capacitación de técnicos y profesionales en el ámbito nuclear.
- Aplicaciones industriales: Desarrollo de técnicas para mejorar procesos industriales.
-

Polos tecnológicos

Los polos principales donde desarrollan todas estas líneas de trabajo son:

Centro Atómico Constituyentes (CAC)

Ubicación: San Martín, Provincia de Buenos Aires.

Funciones principales:

- Investigación y desarrollo en ciencias básicas y aplicadas.
- Fabricación de materiales nucleares.
- Formación de recursos humanos especializados.
- Laboratorios avanzados de física, química, biología e ingeniería nuclear.

Centro Atómico Ezeiza (CAE)

Ubicación: Ezeiza, Provincia de Buenos Aires.

Funciones principales:

- Producción de radioisótopos para aplicaciones médicas, industriales y de investigación.
- Desarrollo de tecnologías para el tratamiento y gestión de residuos radiactivos.
- Fabricación de combustible nuclear.
- Actividades de investigación relacionadas con la protección radiológica y seguridad nuclear.

Centro Atómico Bariloche (CAB)

Ubicación: San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro.

Funciones principales:

- Investigación en física y tecnología nuclear.
- Sede del Instituto Balseiro, reconocido internacionalmente.
- Desarrollo de tecnología para reactores y aplicaciones en medicina nuclear.

Sede Central

Ubicación: Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Funciones principales:

- Gestión administrativa y planificación estratégica.
- Coordinación de proyectos nucleares de alcance nacional e internacional.
- Relaciones con organismos regulatorios y de cooperación internacional.

Descripción del Reactor de Investigación RA-1

El reactor de investigación RA-1 ubicado en el Centro Atómico Constituyentes es un reactor del tipo tanque abierto de 40 Kw térmicos y con núcleo de uranio enriquecido al 20% reflejado por grafito y su moderador y refrigerante es agua liviana desmineralizada.

Especificaciones técnicas:

- Reactor de recipiente abierto.
- Potencia autorizada de 40 kW térmicos.
- Núcleo del reactor con grilla radial.
- Núcleo con capacidad para 228 elementos combustibles de tipo varilla, los cuales están enriquecido al 19.71% con Urano 235. La vaina de los elementos combustibles es de aluminio. Diseño totalmente nacional en la década de los '60.
- Material reflector grafito.
- 4 barras de control de cadmio envainadas en acero inoxidable rodeando al núcleo.
- Agua liviana desmineralizada utilizada como moderador y refrigerante.

-
- Sistema de refrigeración primario con agua desmineralizada que extrae el calor de los elementos combustibles y los traslada a un circuito secundario separado del primero, para luego a través de una torre de enfriamiento disiparlo a la atmósfera.
 - Facilidades de irradiación:
 - 3 facilidades de irradiación de acceso vertical (2 en reflector central y 1 sobre reflector interior) dentro del tanque del reactor, y 3 fuera de él de forma radial y de acceso horizontal (columna térmica, columna epitérmica y columna rápida)
 - 2 posiciones disponibles en la grilla del núcleo del reactor para colocación de dispositivos experimentales (Loop y Criostato)
 - El reactor dispone en sus diversas facilidades de irradiación flujos neutrónicos térmicos, epitérmicos y rápidos de acuerdo a la necesidad de experimentación.

Líneas de trabajo

- Análisis por activación.
- Terapia por captura de flujo neutrónico en boro (BNCT).
- Daños por radiación.
- Formación de recursos humanos.
- Pruebas de instrumentación nuclear y detectores nucleares.

Objetivo de la PPS

El ensayo de estanqueidad y desplazamiento desempeña un papel fundamental en garantizar la seguridad física y nuclear de la contención durante la operación de la central nuclear. La contención actúa como una barrera primaria diseñada para evitar la liberación de material radiactivo al medio ambiente, incluso en condiciones extremas.

Este tipo de prueba permite verificar la integridad estructural de la contención y su capacidad para mantener su funcionalidad bajo presiones elevadas, simulando escenarios de diseño. Asimismo, garantiza que no existan fugas significativas que puedan comprometer la seguridad de los trabajadores, el entorno circundante o la población en general.

Al cumplir con los requisitos normativos establecidos, el ensayo no solo certifica el estado operativo de la contención, sino que también refuerza la confianza en los sistemas de protección y control implementados en la planta nuclear, asegurando una operación segura y sostenible a lo largo del tiempo.

Descripción de la Central Nuclear Embalse (CANDU)

La Central Nuclear Embalse es una planta de generación de electricidad diseñada para abastecer tanto el consumo doméstico como industrial. Su funcionamiento se basa en un proceso de fisión nuclear controlada que utiliza uranio como combustible principal.

En el reactor, los núcleos de los átomos de uranio 235 se dividen al ser impactados por neutrones, liberando una gran cantidad de energía térmica. Cada evento de fisión genera en promedio de 2 a 3 neutrones, que a su vez pueden inducir nuevas fisiones, dando lugar a una reacción en cadena controlada. Este control se logra mediante el uso de barras de control y un moderador, garantizando que el proceso sea seguro y estable.

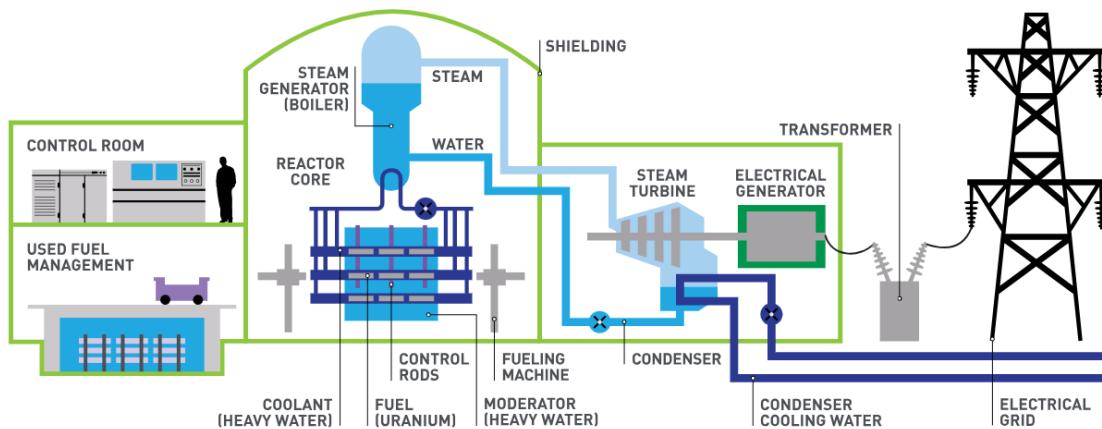
El calor producido durante la fisión se transfiere al agua pesada que circula dentro del reactor impulsada por bombas. Este refrigerante eleva su temperatura y lleva el calor hasta el generador de vapor, donde se produce vapor de alta presión. El vapor generado impulsa grandes turbinas conectadas a un generador eléctrico, completando así el proceso de producción de energía eléctrica.

Posteriormente, el vapor se condensa en el condensador, transformándose nuevamente en agua, que regresa al generador de vapor para reiniciar el ciclo. Este sistema cerrado asegura eficiencia energética y minimiza las pérdidas de agua.

Información Técnica

- Tipo de reactor: Tubos de presión (CANDU)
- Potencia Térmica: 2.064 MWt
- Potencia Eléctrica Bruta: 656 MWe
- Moderador y Refrigerante: Agua pesada (D_2O)
- Combustible: Urano natural

Esquema de la central:



Ensayo de estanqueidad y desplazamiento

El ensayo de estanqueidad y desplazamiento es un procedimiento fundamental para garantizar la seguridad física y nuclear de la Central Nuclear Embalse. La contención actúa como una barrera protectora primordial, diseñada para prevenir cualquier fuga de material radiactivo al medio ambiente, incluso en condiciones extremas de operación. Este ensayo asegura que la planta cumpla con los estándares internacionales de seguridad, protegiendo tanto al personal como a la población circundante.

Según las Normas de Seguridad Nuclear (KTA), es obligatorio demostrar la estanqueidad de la contención mediante una prueba integral de fugas antes de que la planta comience a operar por primera vez. Además, se realizan pruebas periódicas de fugas recurrentes, las cuales son esenciales para evaluar la tasa de fugas en las condiciones de diseño. Estas pruebas garantizan que cualquier posible fuga se mantenga dentro de los límites establecidos, protegiendo la salud pública y el entorno natural.

El ensayo permite verificar la capacidad de la contención para resistir condiciones de presión extrema, un aspecto crítico dado el riesgo de fugas radiactivas en situaciones fuera de lo común. De igual manera, se inspeccionan puntos vulnerables donde podrían desarrollarse fisuras o fallos, lo cual podría comprometer la integridad de la estructura.

Además, el ensayo de estanqueidad no solo evalúa la resistencia de la contención en sí misma, sino que también se vincula con otros sistemas de seguridad de la planta, como los sistemas de refrigeración y control, para asegurar que todas las barreras de seguridad funcionen de manera conjunta y sin fallos. Este proceso es vital para la seguridad operativa de la planta y refuerza la confianza en las prácticas de control y protección nuclear.

Participación en el Ensayo

Tareas realizadas:

- Preparativos previos (cables, simulación de ensayo, tableros, sensores):

Se llevaron a cabo actividades de planificación y verificación, como la organización de los cables, simulación de las condiciones del ensayo y la preparación de los tableros y sensores. Esto incluyó la revisión de los equipos y herramientas, así como la validación de que los sistemas de medición y control estaban listos para su uso.

- Traslado de todos los instrumentos y herramientas:

Durante esta fase, se coordinó el traslado de todos los instrumentos, componentes y herramientas necesarios para llevar a cabo el ensayo, asegurando que llegaran en condiciones óptimas y estuvieran disponibles en el lugar y momento adecuados.

- Colocación de soportes y sensores dentro y fuera:

Colocación de los sensores y soportes dentro y fuera de la central, asegurando que se ubicaran en puntos estratégicos para una medición precisa de las condiciones de la contención.

- Conexionado de sensores, tableros y borneras:

Una vez que los sensores fueron colocados, se procedió al conexionado de los mismos, así como la integración con los tableros y borneras, para garantizar que todas las señales pudieran ser monitoreadas y procesadas adecuadamente.

- Control de datos durante el ensayo:

Control de los datos recopilados, asegurando que todos los parámetros fueran monitoreados en tiempo real.

- Desarme de componentes:

Una vez completado el ensayo, se desarmó todos los componentes utilizados, incluyendo sensores, soportes y equipos de medición, siguiendo los procedimientos establecidos para asegurar que todo el equipo fuera desconectado y almacenado adecuadamente.

Aspectos Técnicos del Ensayo

Metodología

El ensayo de estanqueidad y desplazamiento en la contención de la Central Nuclear Embalse se llevó a cabo siguiendo un procedimiento riguroso, diseñado para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos adquiridos. El proceso incluyó las siguientes etapas:

Preparación del ensayo

- Se procedió a la instalación de los soportes y cableado para los sensores de medición y adquisición de datos, así como de los equipos necesarios, incluyendo los sistemas de adquisición de datos (DAQ), computadoras para visualización en tiempo real y herramientas auxiliares.
- Los sensores empleados en el ensayo de estanqueidad, tales como sensores de presión, humedad y temperatura, se conectaron a los sistemas de adquisición de datos, asegurando su correcta integración para la monitorización en tiempo real.
- Para el ensayo de desplazamiento, se instalaron y conectaron los sensores específicos (cámara termográfica, láser infrarrojo y medidor de desplazamiento) a sus respectivos sistemas de adquisición.

Verificación previa

- Antes de iniciar la presurización de la contención, se realizaron pruebas de previsualización para verificar la funcionalidad y precisión de los sensores conectados. Esta etapa permitió confirmar que los datos adquiridos por cada sensor eran correctos y coherentes con las expectativas.

Presurización de la contención

La presurización se realizó en dos etapas diferenciadas:

- **Primera etapa:** Se llevó a cabo una presurización inicial hasta alcanzar una presión de 6 PSI, seguida de un periodo de estabilización. Durante esta etapa, se verificó que los valores obtenidos estuvieran dentro de los rangos estimados.
- **Segunda etapa:** Posteriormente, se incrementó la presión hasta 18 PSI. Una vez alcanzada esta presión, se permitió la estabilización del sistema y se procedió a la adquisición de datos durante un periodo de seis horas, con el objetivo de evaluar la tasa de fuga de la contención.

Monitoreo de la tasa de fuga

- Finalizada la presurización, se estableció un periodo adicional de observación de ocho horas para monitorear la evolución de la presión y registrar el parámetro de fuga. Durante este periodo, los resultados se reportaron al Jefe de Seguridad Nuclear de la Central Nuclear Embalse cada hora.

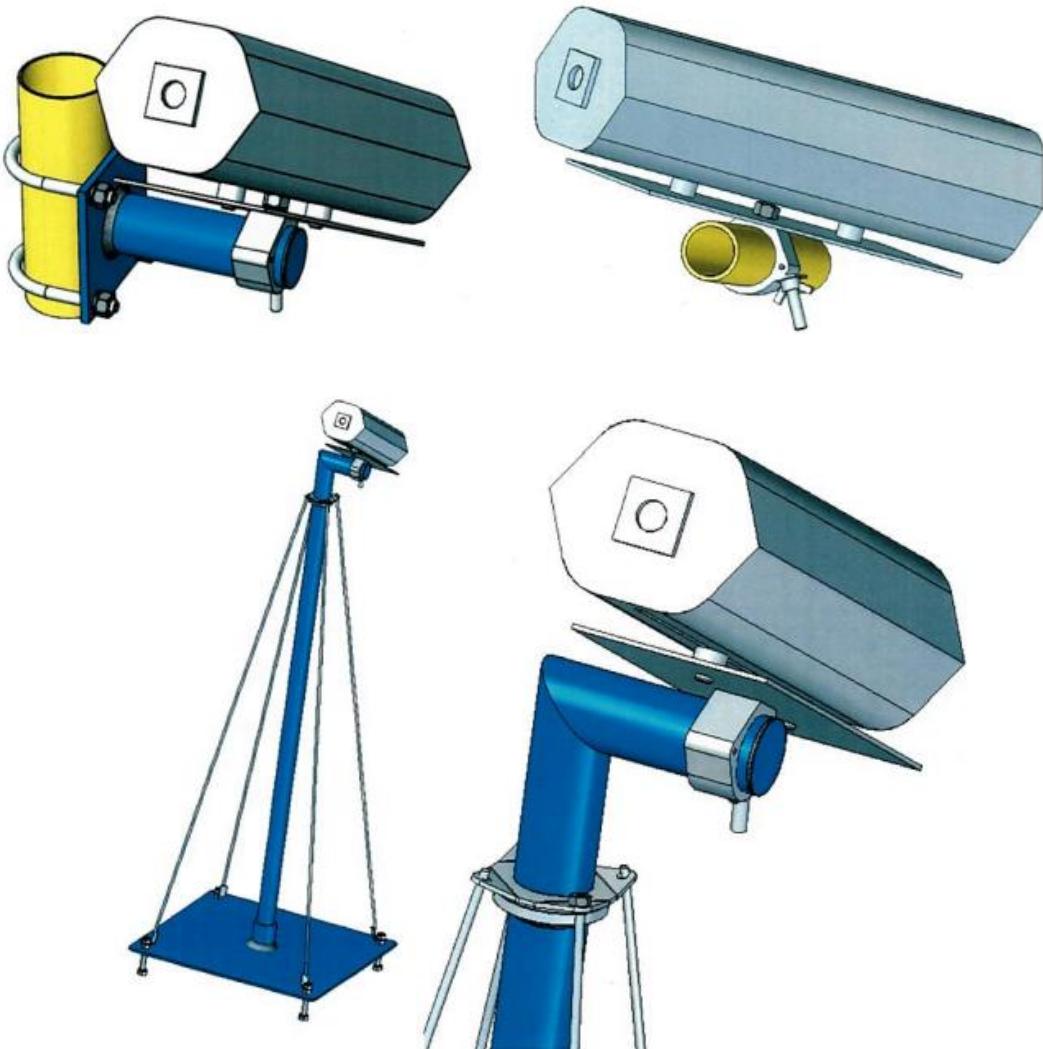
Certificación del ensayo

- Una vez concluido el ensayo, los resultados fueron evaluados por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). Esta entidad certificó los valores obtenidos y aprobó la operación segura de la central hasta la próxima parada de mantenimiento programada.

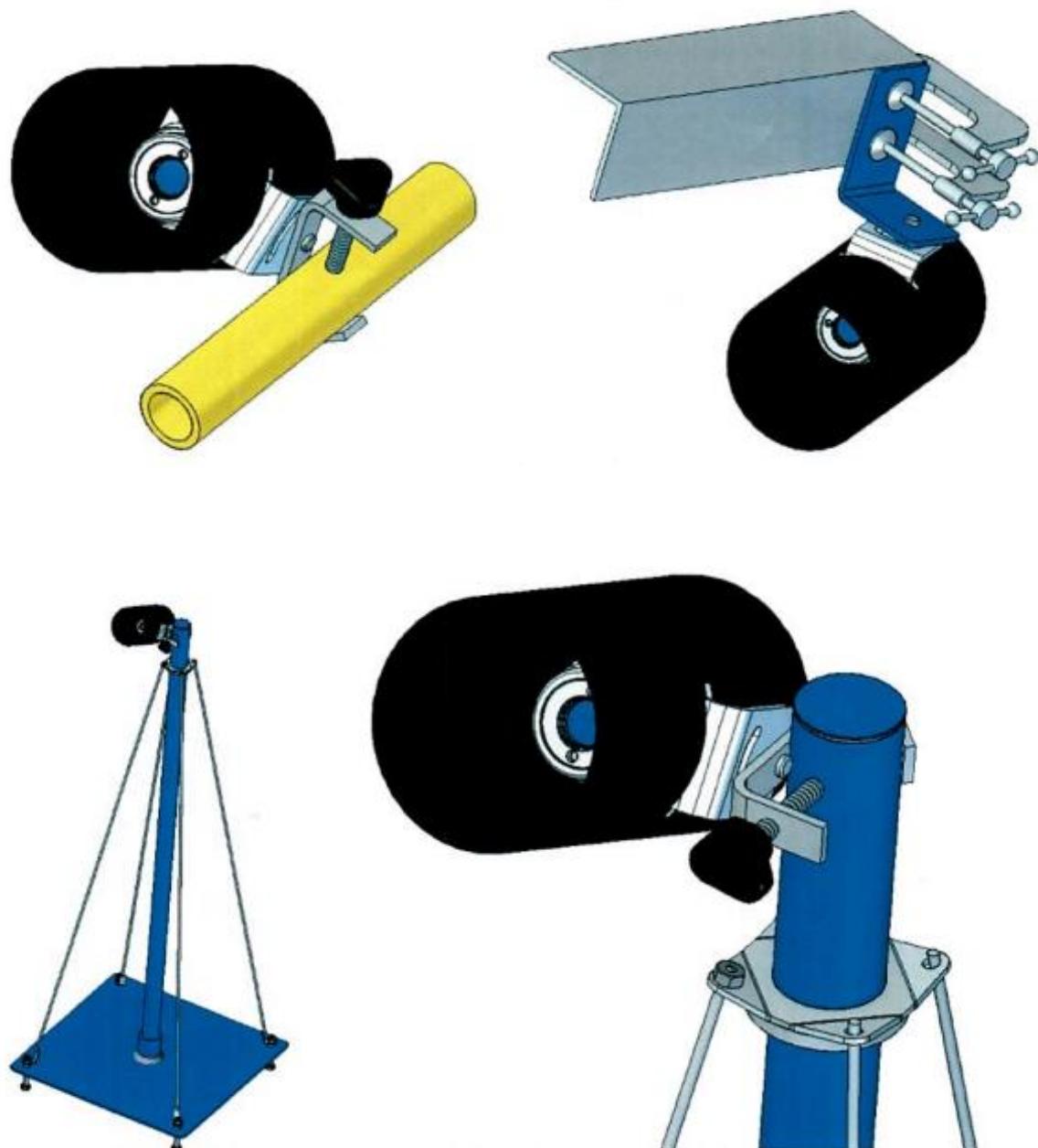
Sopores

Se desarrollaron e implementaron soportes específicos para cada tipo de sensor, diseñados y fabricados con base en las necesidades particulares de la Central Nuclear Embalse. Estos soportes fueron adaptados a las condiciones de instalación y ubicación dentro y fuera de la contención, asegurando tanto la estabilidad mecánica como la precisión en la medición. La variabilidad en los diseños responde a los distintos requerimientos funcionales de los sensores: algunos soportes fueron diseñados para fijaciones en paredes o estructuras metálicas, mientras que otros se optimizaron para aplicaciones en áreas de difícil acceso o con condiciones ambientales adversas.

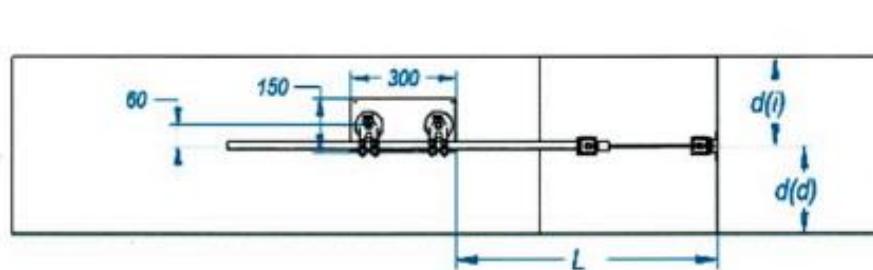
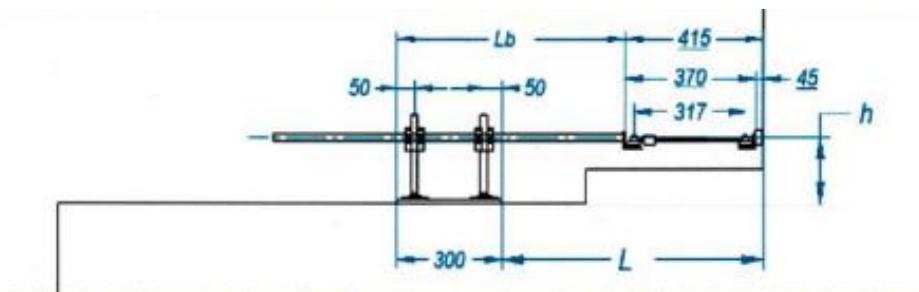
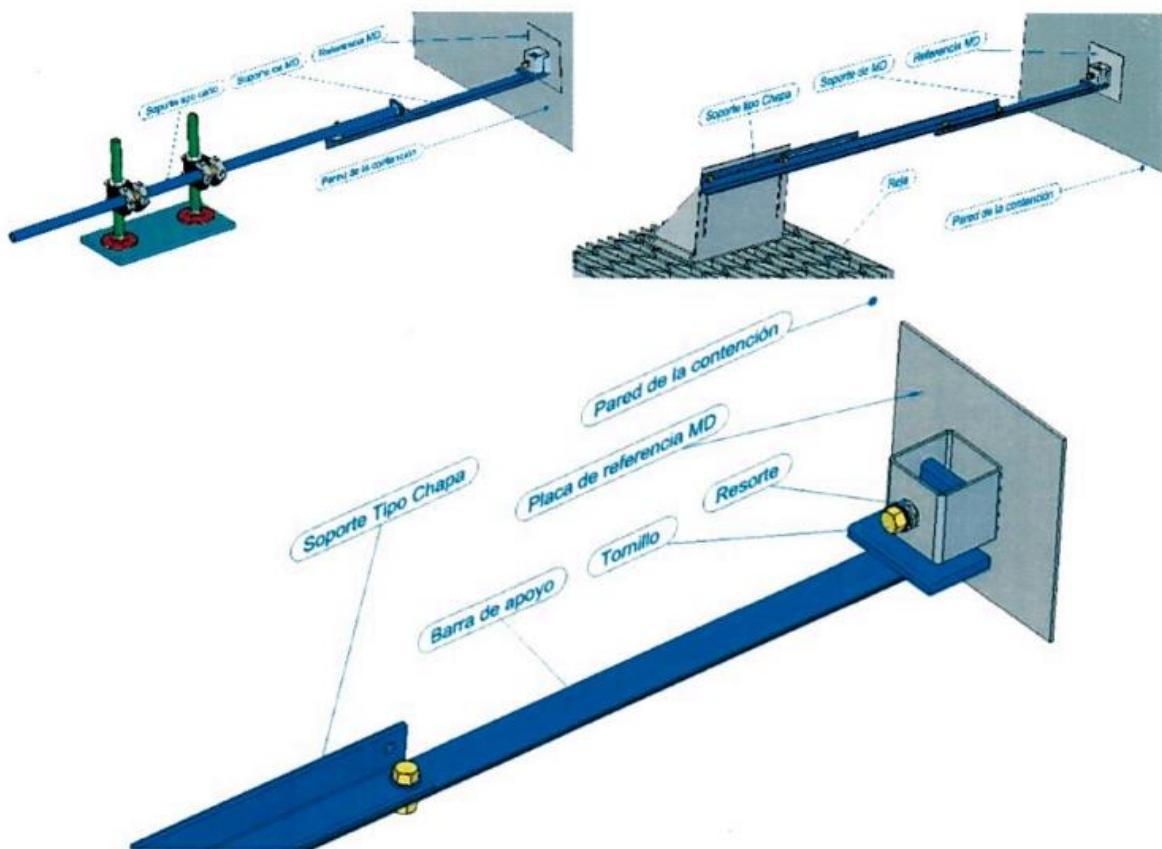
Sopores para las cámaras termográficas

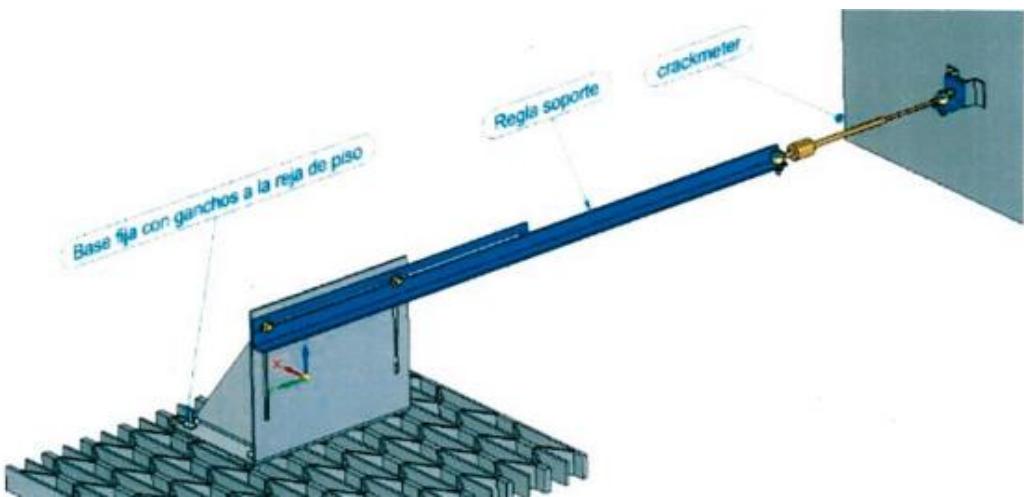
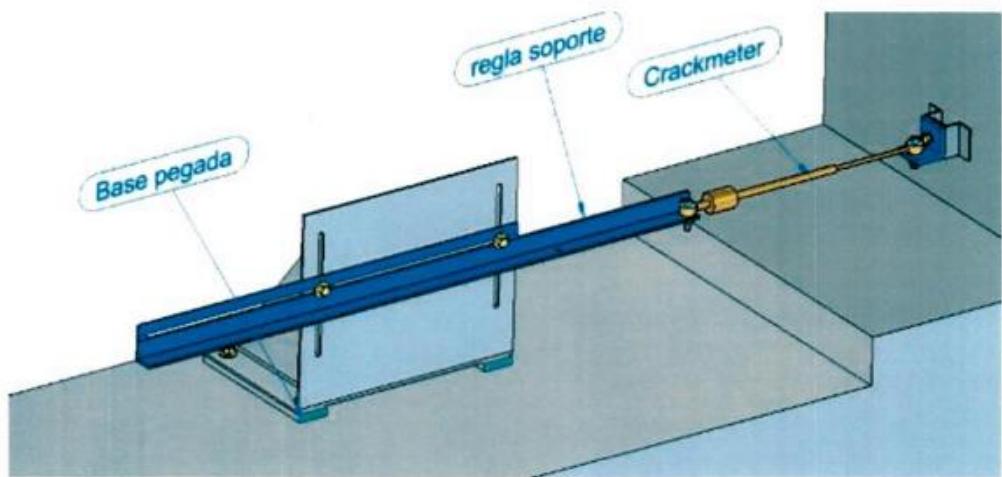
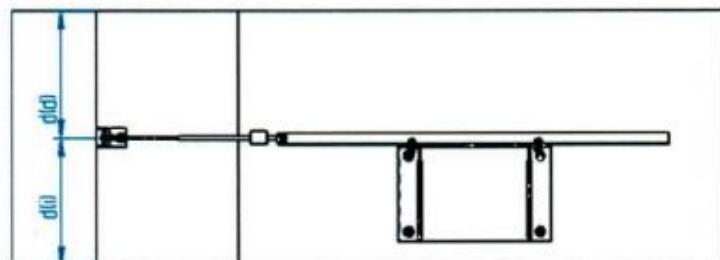
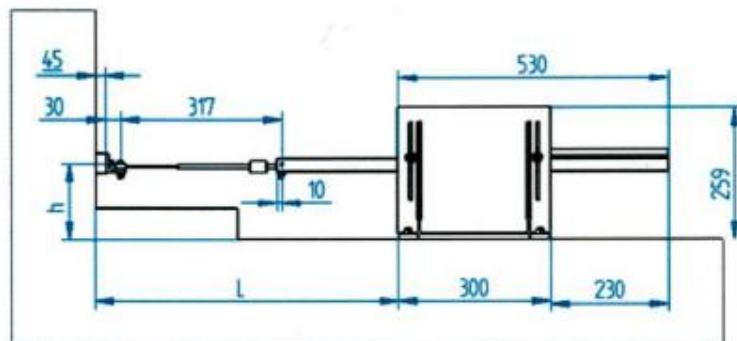


Soportes para termómetros infrarrojos



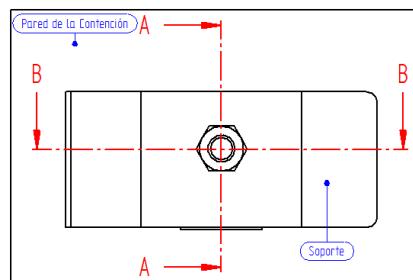
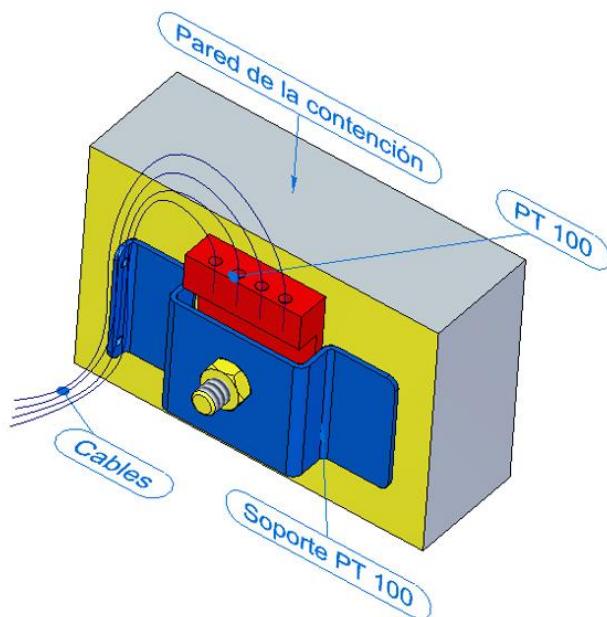
Sopores para medidores de desplazamiento



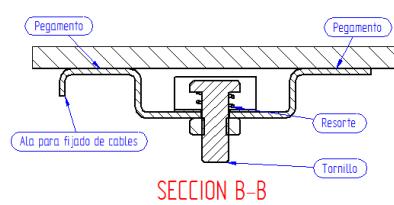




Soporte para sensor de temperatura PT100 de pared



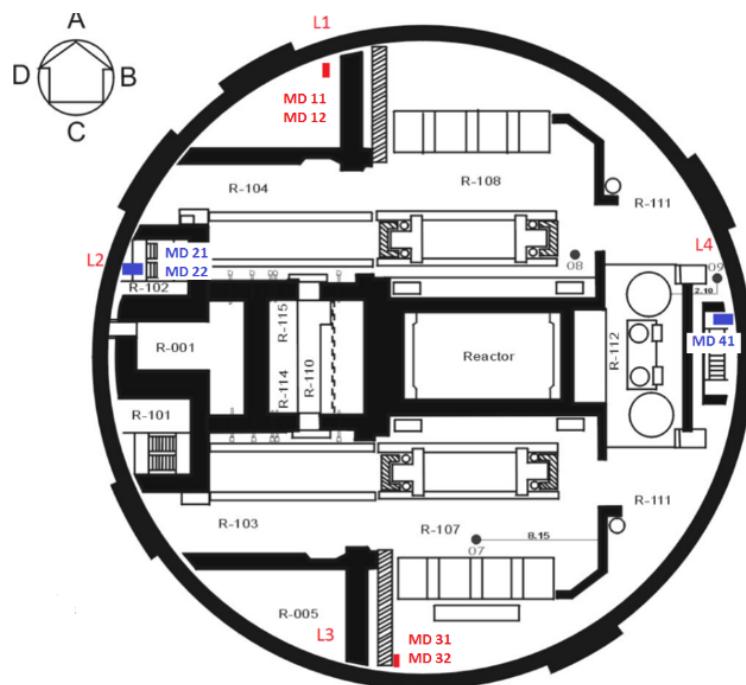
SECCION A-A



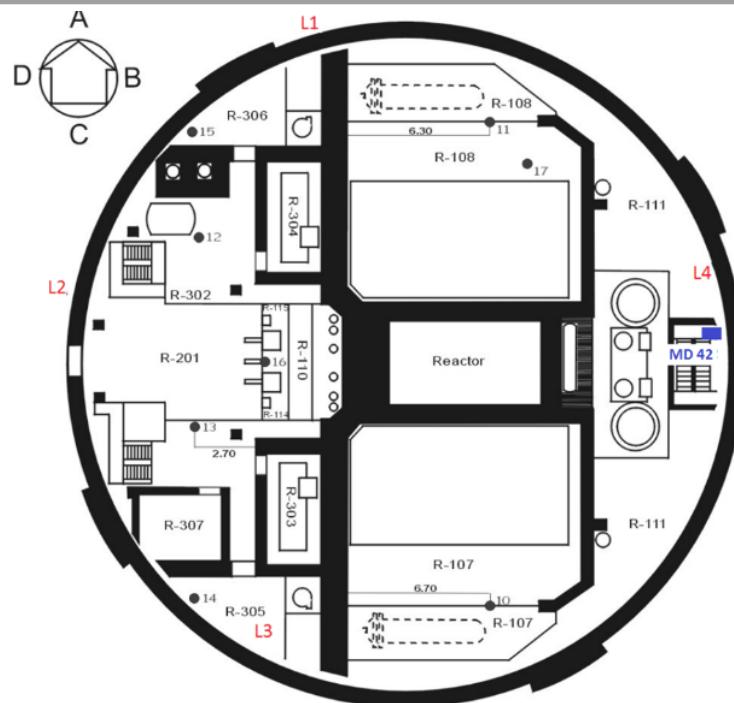
Ubicaciones gráficas de los sensores

Desplazamiento y PT100 interior

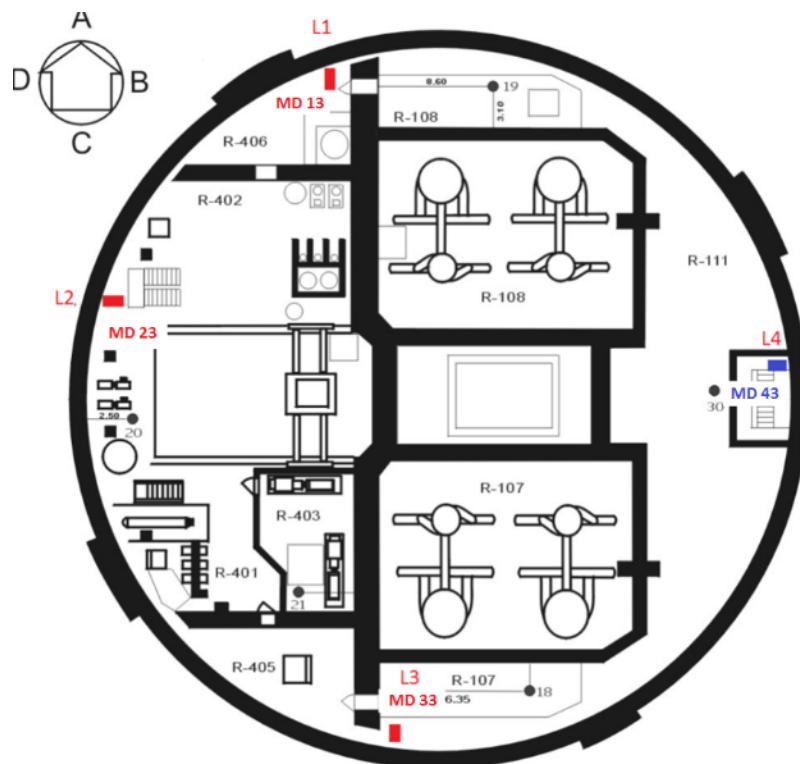
Se adjuntan los planos donde se van a ubicar los sensores de desplazamientos y PT100. Los sensores de desplazamiento figuran como MD y los sensores PT100 que van colocados contra la pared interna de la contención se ubican aproximadamente en el mismo lugar que los MD. Se adjuntan planos de la central dividida en niveles de altura.



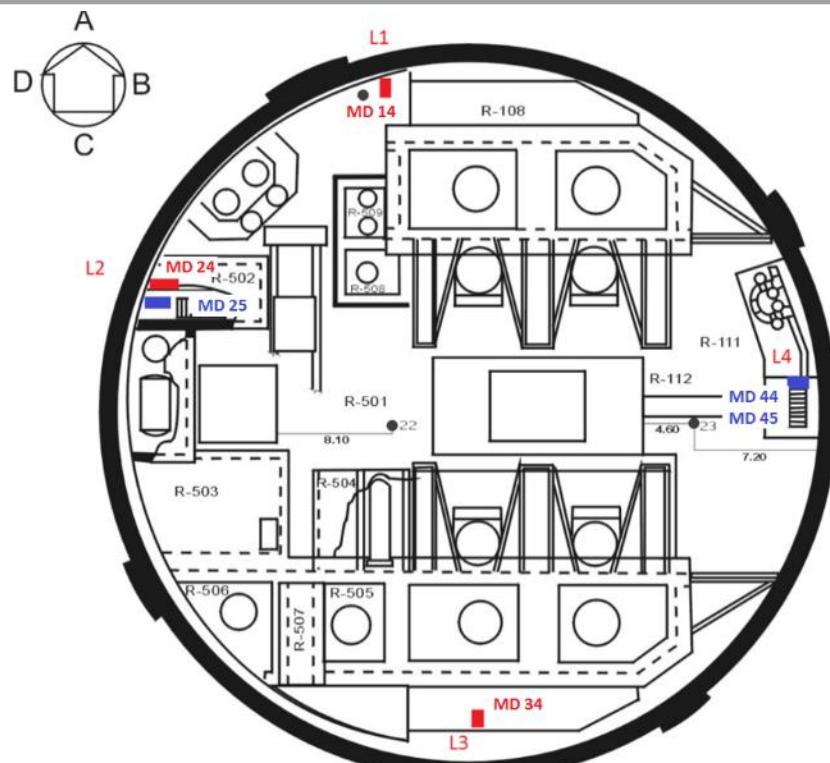
Ubicación aproximada bases soportes para MD nivel 100.00 (metros).



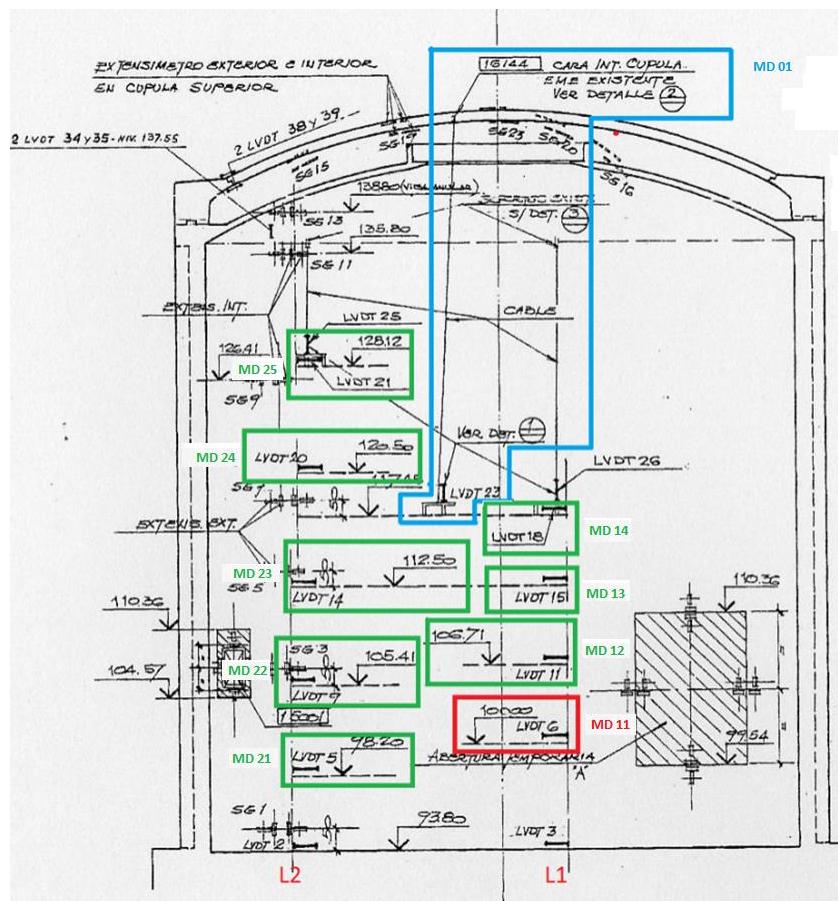
Ubicación aproximada bases soportes para MD nivel 107.00 (metros).



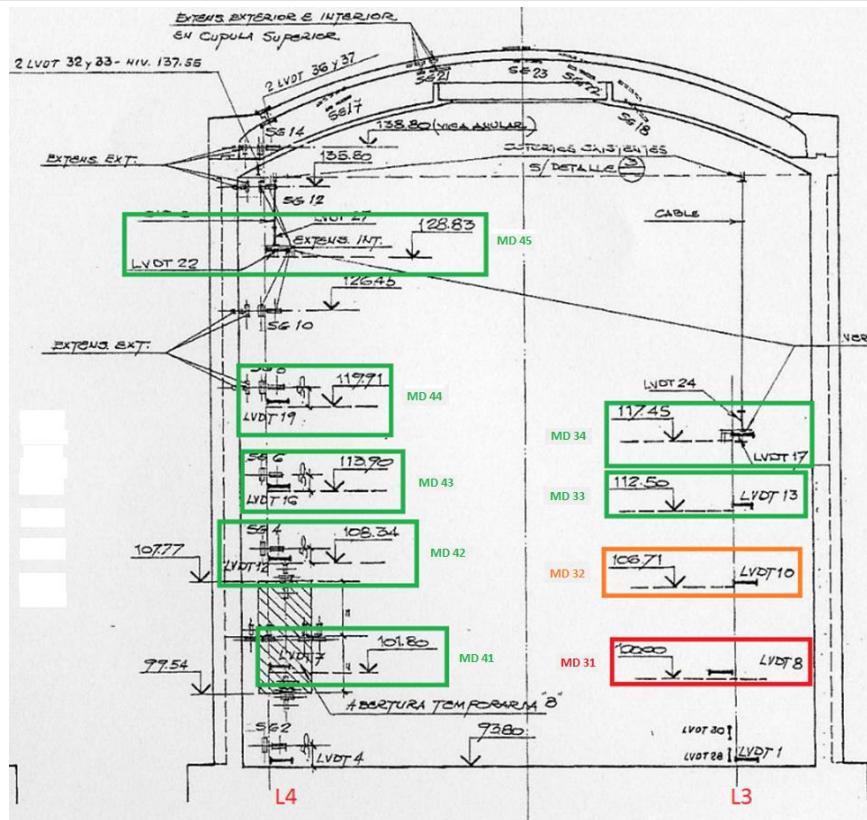
Ubicación aproximada bases soportes para MD nivel 112.00 (metros).



Ubicación aproximada bases soportes para MD nivel 117.00 (metros).



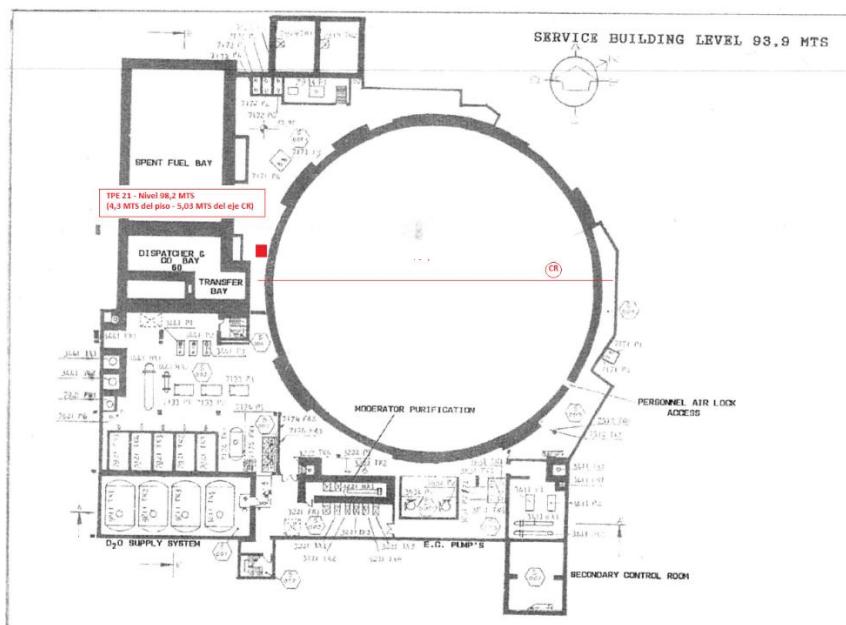
Ubicación aproximada bases soportes para MD corte AA (metros)



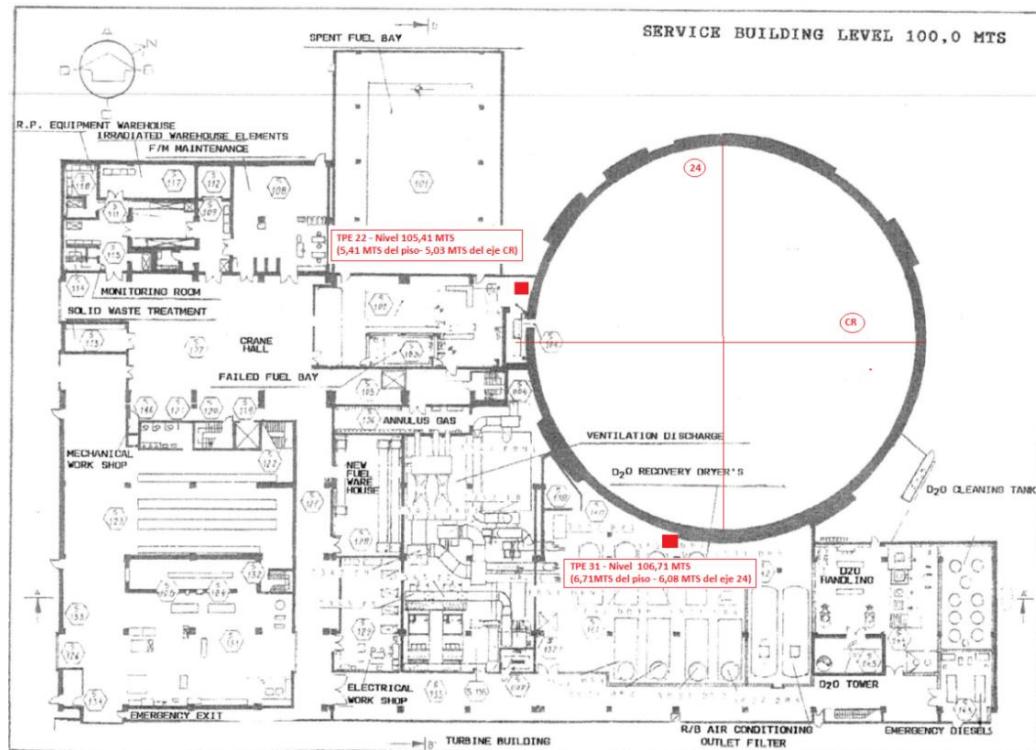
Ubicación aproximada bases soportes para MD corte BB (metros)

PT100 de pared exterior

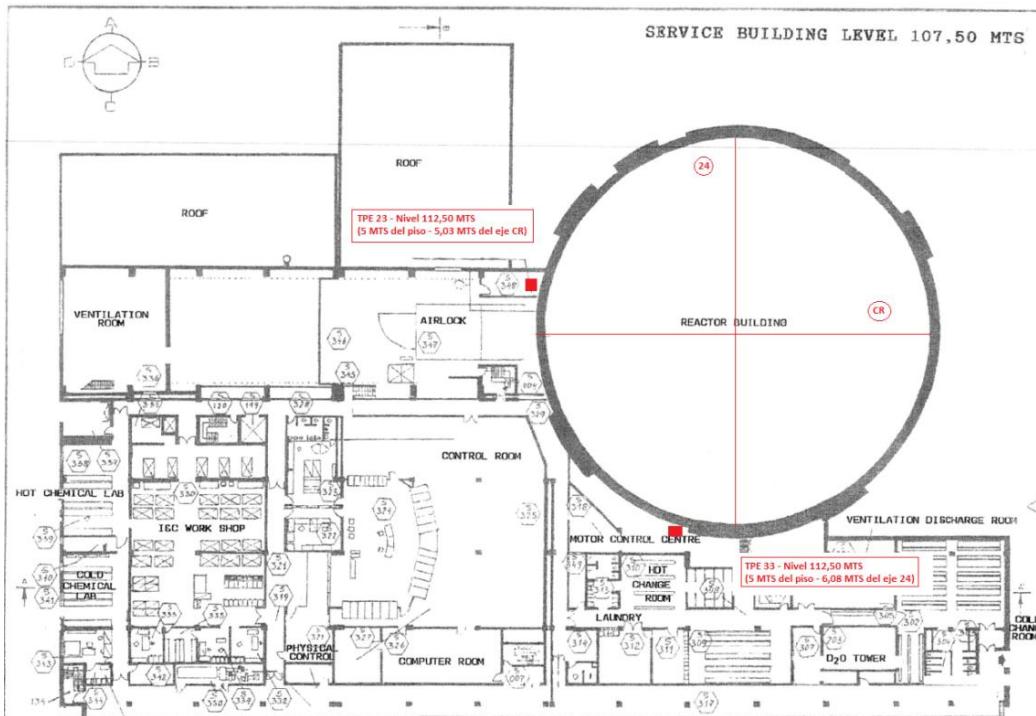
Ubicación de los sensores de temperatura de pared del lado externo a la contención. En los siguientes planos se detalla la posición aproximada de los soportes de las PT100 que serán ubicados en el lado externo de la pared de la contención.



Ubicación aproximada para PT100 sobre pared externa nivel 93,9mts.



Ubicación aproximada para PT100 sobre pared externa nivel 100,0mts.



Ubicación aproximada para PT100 sobre pared externa nivel 107,5mts.

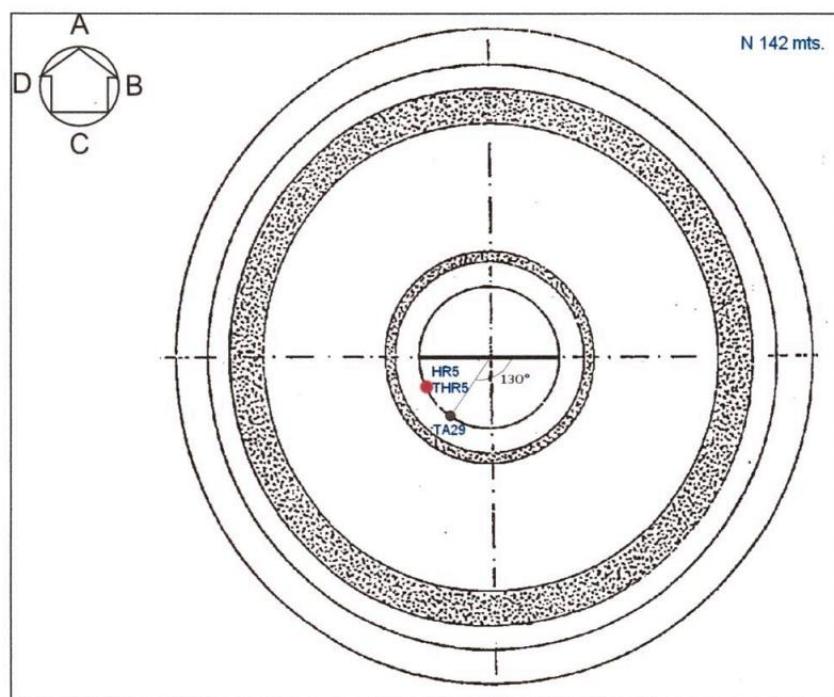
Cámara termográfica y laser infrarrojo de temperatura

Se adjunta una imagen satelital de la contención y en ella la marca de la ubicación correspondiente a la cámara termográfica (CT) y el termómetro infrarrojo (IR).

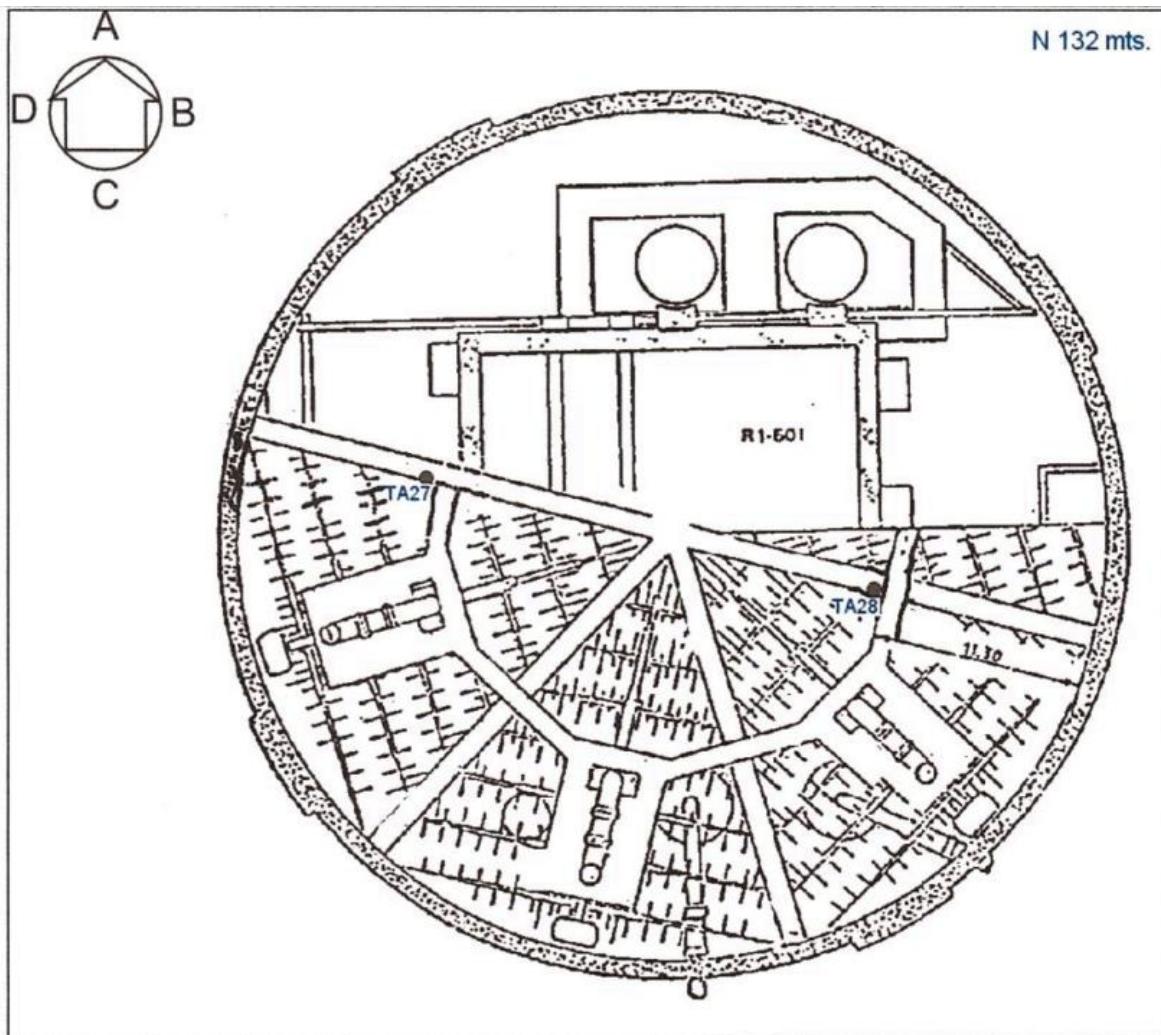


Distribución de sensores IR y CT

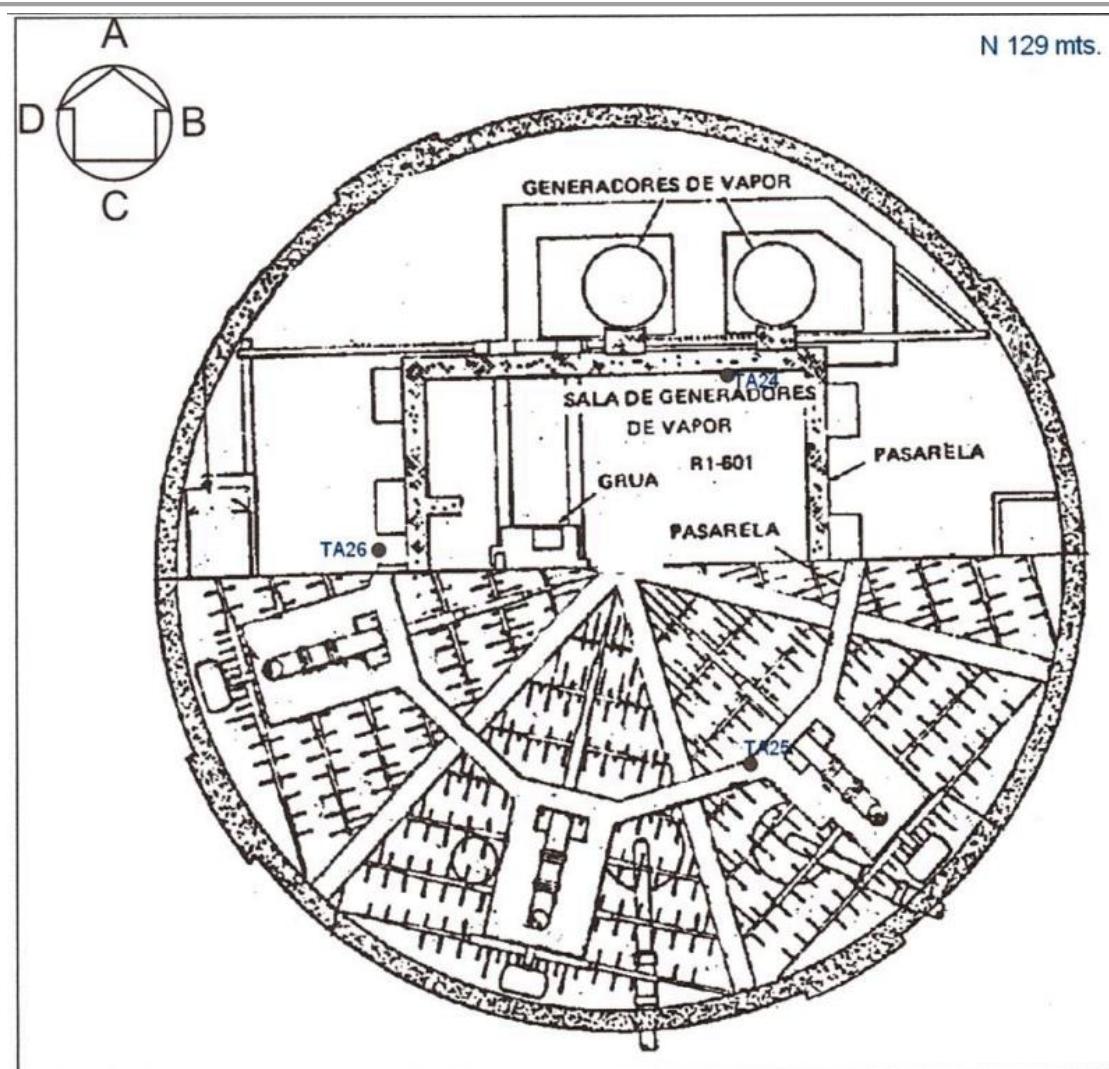
PT100 en aire y sensores de humedad



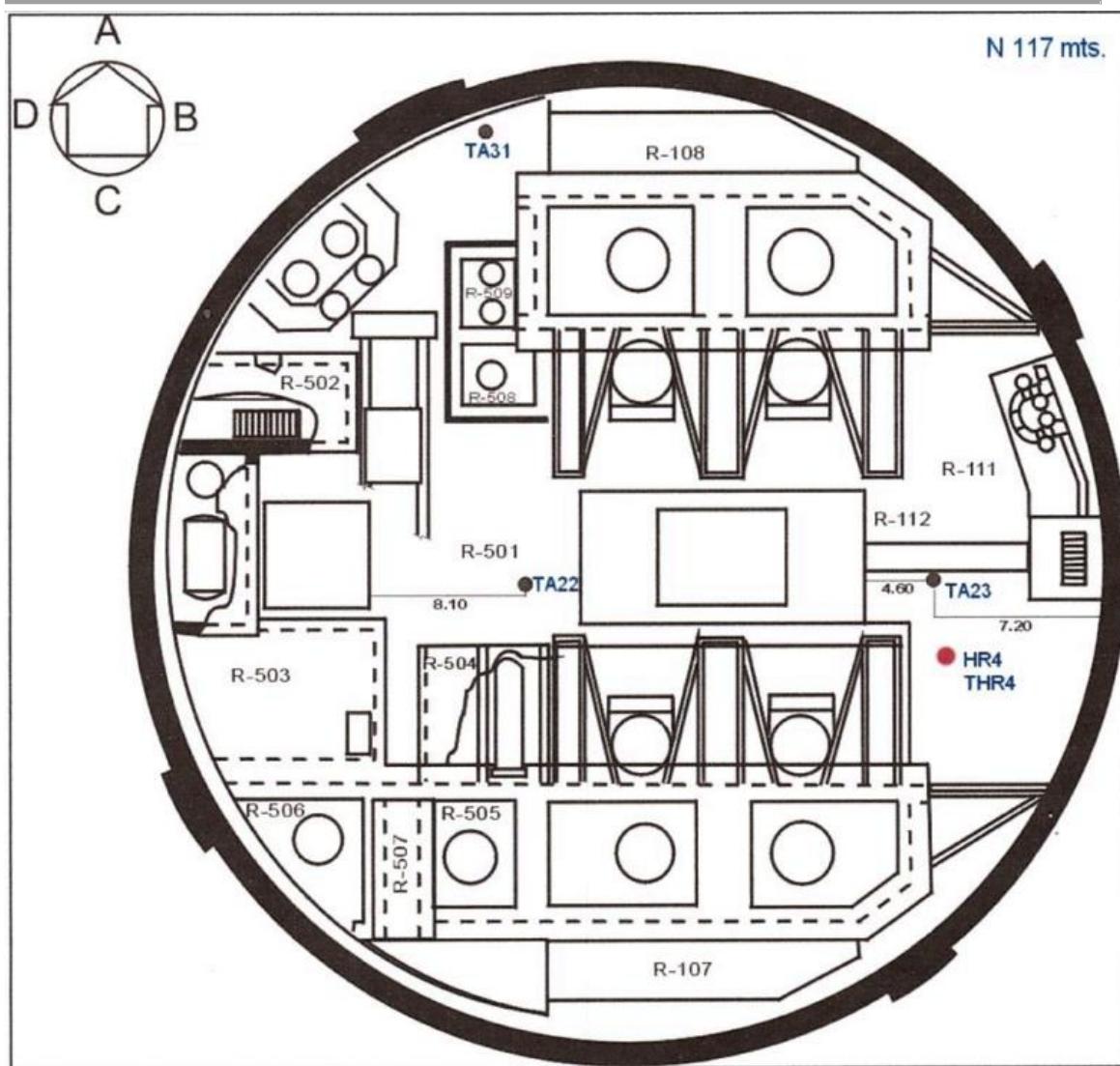
TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA29	0,00	
HR5-THR5	0,20	R-501



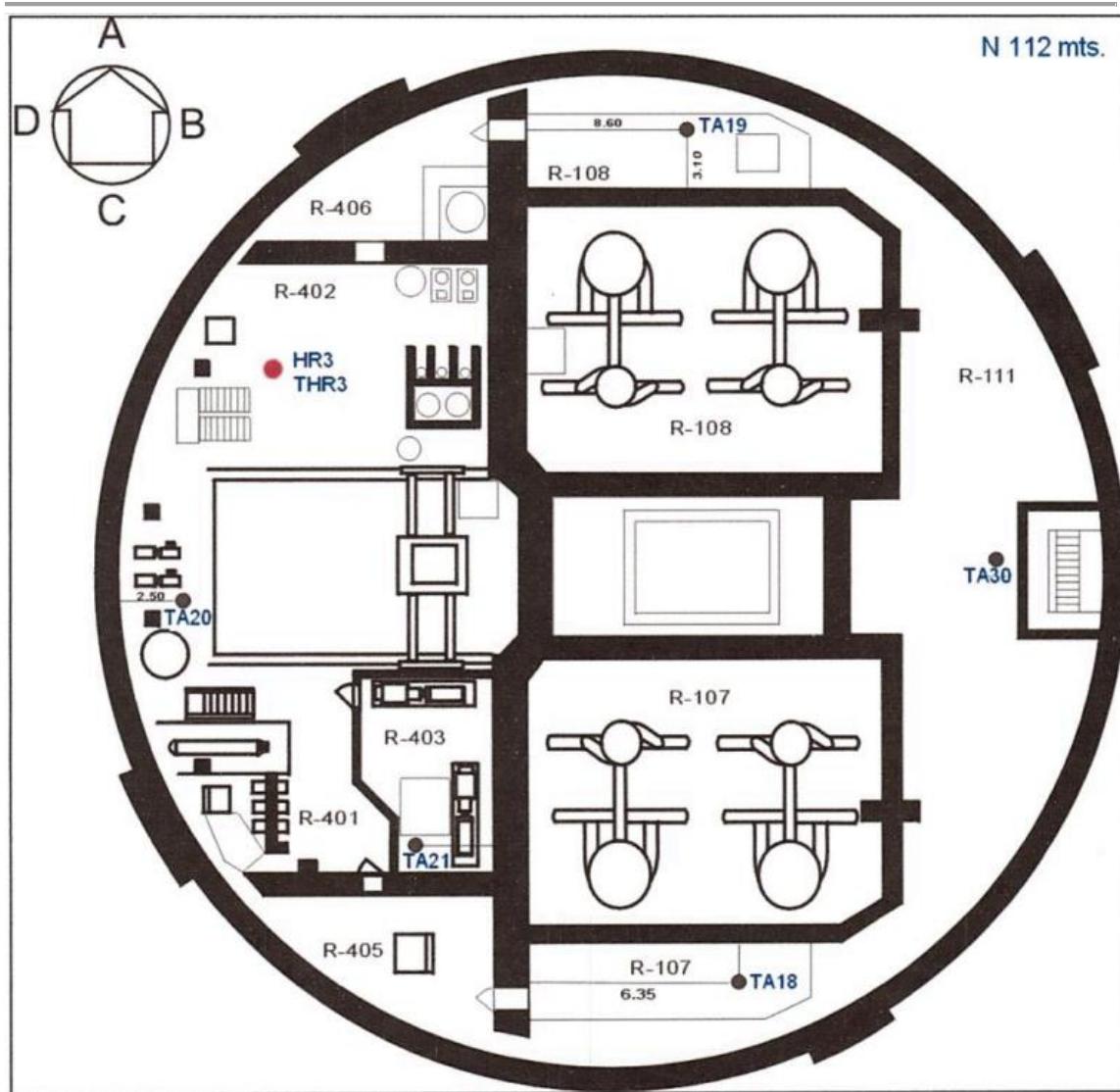
TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA27	2,30	R-601 (pasarela)
TA28	2,10	R-601 (pasarela)



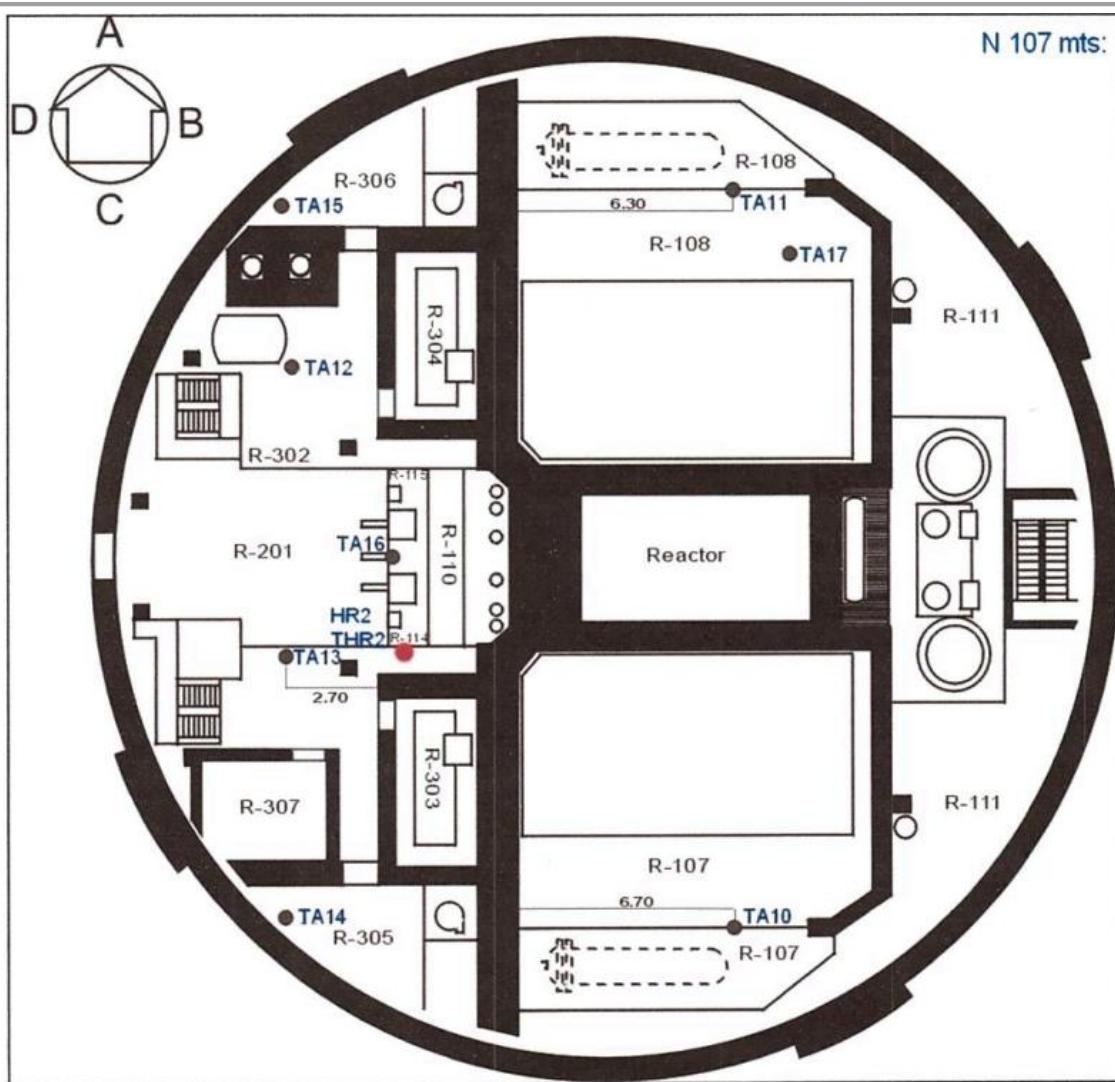
TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA24	2,85	R-601 (pasarela)
TA25	2,85	R-601 (pasarela)
TA26	2	R-601 (pasarela)



TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA22	2,85	R-111 (pasarela)
TA23	2,15	R-501
TA31	2,00	R-501
HR4-THR4	0,2	R-111

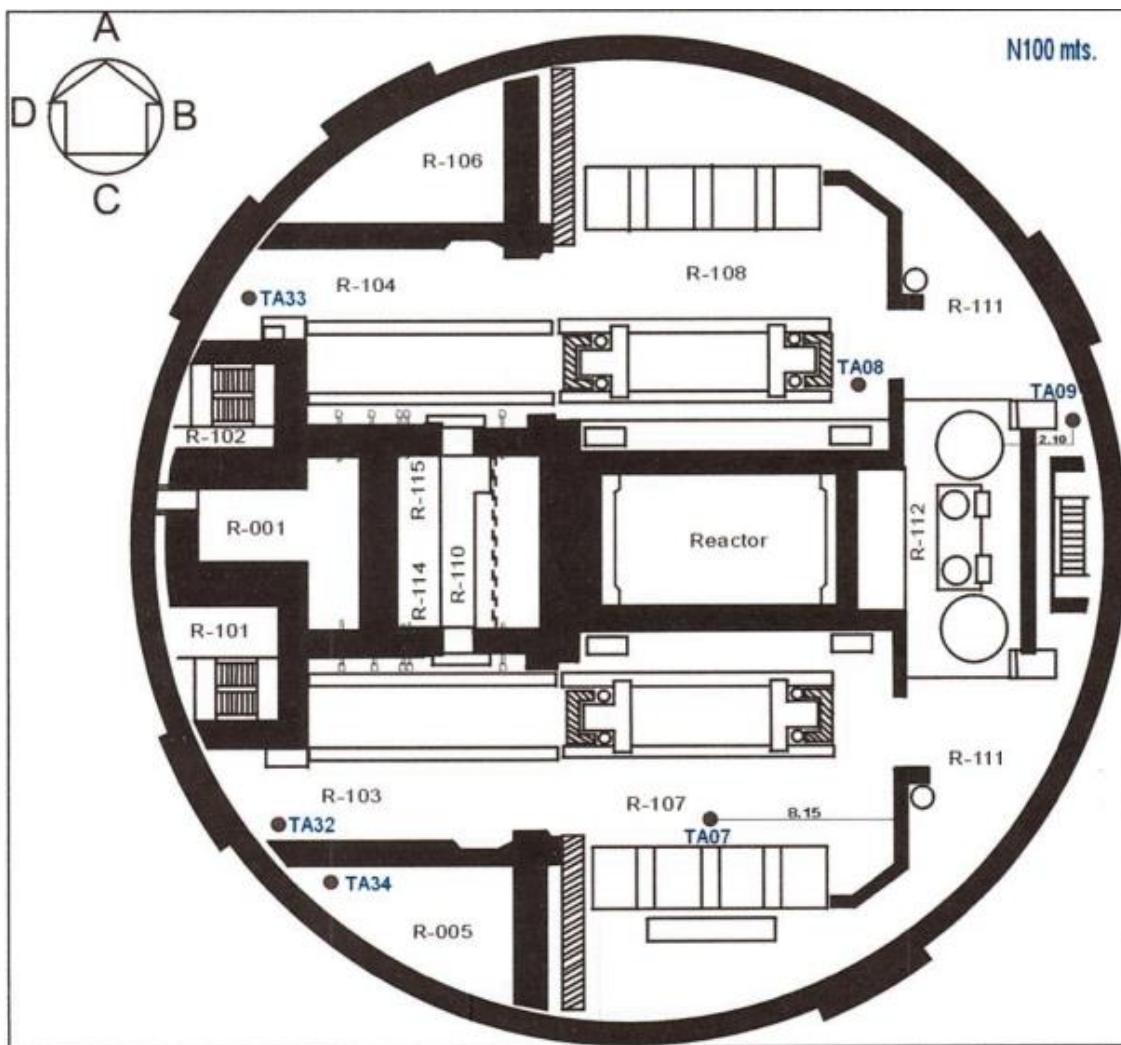


TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA18	1,85	R-107
TA19	1,80	R-108
TA20	2,80	R-401/402
TA21	1,90	R-403
TA30	-4,00	R-111
HR3-THR3	0,20	R-402

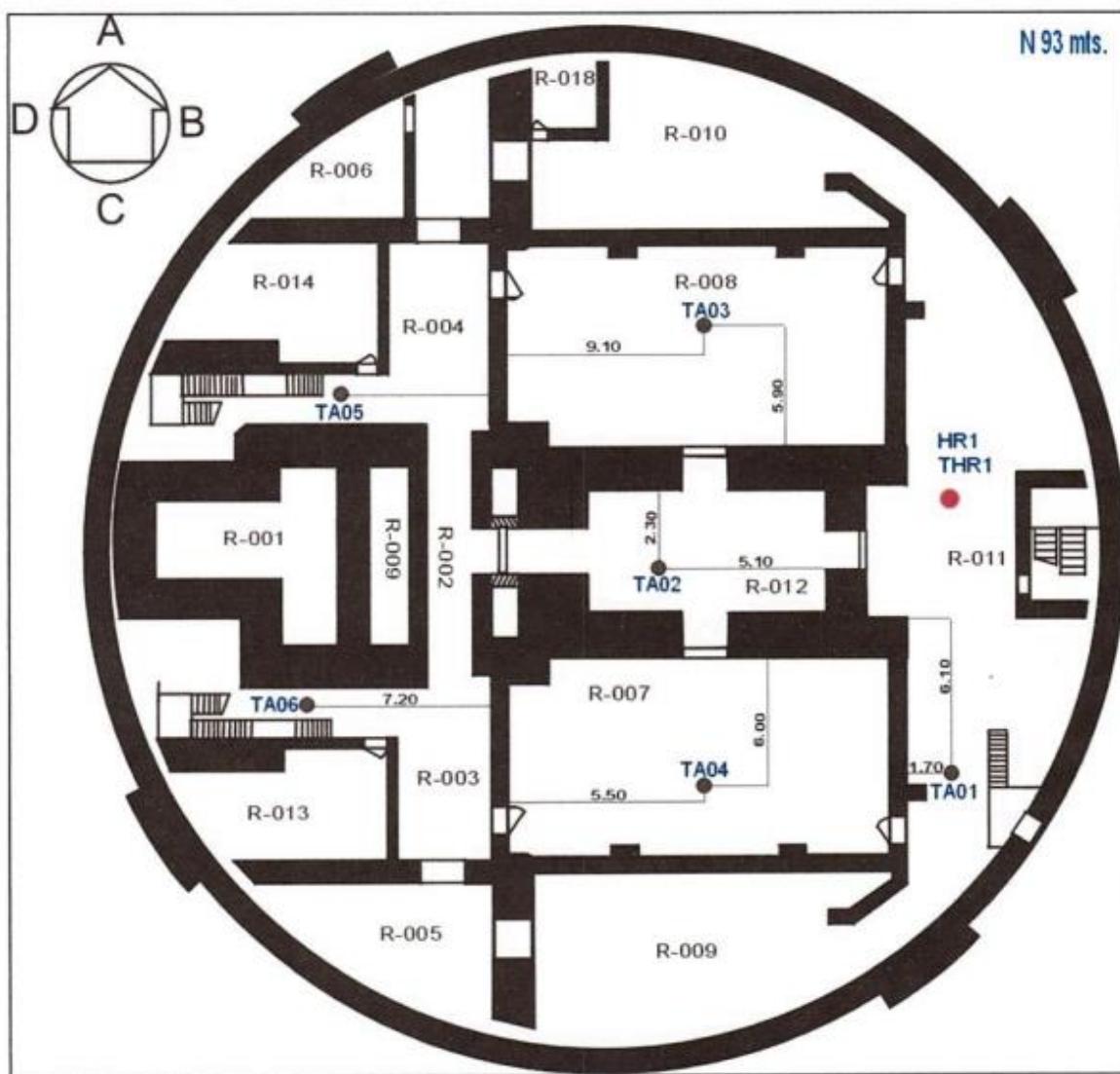


TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA10	3,20	R-107
TA11	3,40	R-108
TA12	3,20	R-302
TA13	3,30	R-301
TA14	2,00	R-305

TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA15	2,00	R-306
TA16	2,40	R-201
TA17	3,00	R-108
HR2-THR2	0,20	R-201



TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA07	2,70	R-107
TA08	2,15	R-108
TA09	0,25	R-017 (escalera)
TA32	1,00	R-103
TA33	1,00	R-104
TA34	0,00	R-005



TAG Sensor	Cota respecto del nivel (m)	Recinto
TA01	2,30	R-011
TA02	2,10	R-012
TA03	3,90	R-008
TA04	3,90	R-007
TA05	2,95	R-004 (escalera)
TA06	3,10	R-003 (escalera)
HR1-THR1	0,20	R-011

Electrónica

Instrumentación

Estanqueidad:

- **Temperatura:** Sensores PT100 para medir variaciones de temperatura en aire, pared interna y externa.
- **Humedad:** Sensores colocados en puntos críticos para detectar infiltraciones.
- **Presión:** Sensores para monitorear la presión interna y externa.

Desplazamientos:

- **Tracción y Compresión:** Sensores para medir deformaciones longitudinales.
- **Temperatura:** Cámaras termográficas y sensores infrarrojos.

Se detalla los sensores utilizados en el sistema de instrumentación y medición empleados en el proyecto. Estos dispositivos cumplen funciones esenciales para la obtención de datos confiables y precisos de diferentes parámetros, tales como temperatura, desplazamiento, presión y humedad permitiendo así el monitoreo eficiente de cada uno de ellos.

Cada sensor seleccionado cuenta con especificaciones técnicas que garantizan su adecuado desempeño bajo las condiciones del entorno de trabajo. A continuación, se presenta una descripción técnica de cada uno de los sensores utilizados, incluyendo sus principales características, rangos de operación y ventajas con el objetivo de destacar su funcionalidad y su papel dentro del ensayo.

Cámara Termográfica:

Imágenes térmicas en tiempo real con una velocidad de fotogramas de hasta 128 Hz, captura y guarda resultados de medición rápidos como instantáneas o secuencias de video, gracias a la excelente sensibilidad térmica, indica incluso los cambios de temperatura más pequeños, por nombrar solo algunas de las muchas ventajas. Incluyendo óptica y cable, las cámaras termográficas Optris PI pesan menos de 320 g, lo que las convierte en las cámaras infrarrojas más pequeñas del mundo (dimensiones de hasta 46 mm x 56 mm x 90 mm).



Laser IR:

El Optris CSlaser LT es un termómetro infrarrojo de alto rendimiento con un rango de temperatura de -30 °C a 1000 °C, con un diseño robusto de una sola pieza para una fácil instalación. Sus características únicas incluyen doble marcado de punto láser, una carcasa de acero inoxidable y una mayor relación de tamaño de distancia a punto. Con puntos de medición a partir de 1,4 mm y tiempos de respuesta a partir de 150 ms, es ideal para industrias que requieren soluciones de medición de temperatura sin contacto en aplicaciones de instalación fija o montada fijamente. Su innovador sistema de mira de doble láser garantiza el marcado exacto de los objetivos, mejorando la precisión. Fiable a temperaturas ambiente de hasta 85 °C sin refrigeración adicional, ofrece una resolución óptica excepcional, de hasta 50:1, lo que garantiza datos de temperatura precisos y fiables en condiciones de campo de visión estrecho.



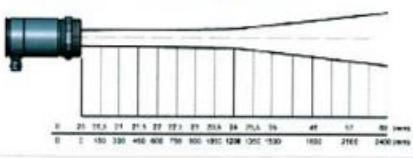
- Rango de temperatura: -30 °C a 1000 °C
- Rango espectral: 8 µm a 14 µm
- Tiempo de respuesta: 150 ms
- Alta resolución óptica
- Avistamiento láser

optris® CSlaser LT

Optical parameter

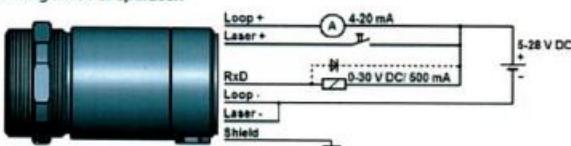
CSlaser LT optics	
...SF	24 mm @ 1200 mm
...CF1	1.4 mm @ 70 mm
...CF2	3 mm @ 150 mm
...CF3	4 mm @ 200 mm
...CF4	9 mm @ 450 mm

SF optics, D:S = 50:1, 24 mm @ 1200 mm

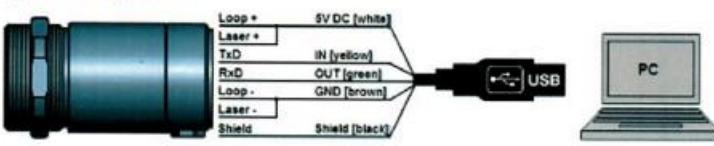


Connections

Analog mode of operation

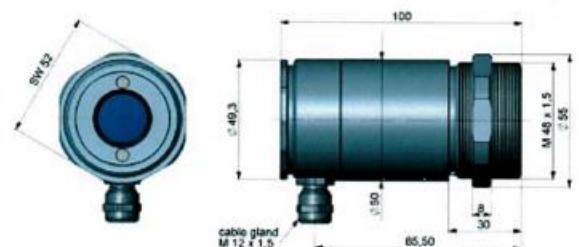


Digital mode of operation



Dimensions

Dimensions CSlaser hs LT



Electrical connections / emissivity adjustment (sensor back side)



Medición de desplazamiento:

Los medidores de grietas Geokon de cuerda vibrante Modelo 4420 están diseñados para medir el movimiento entre grietas de tensión en suelos, uniones en piedra y concreto, uniones de construcción en edificios, puentes, oleoductos, presas y más.

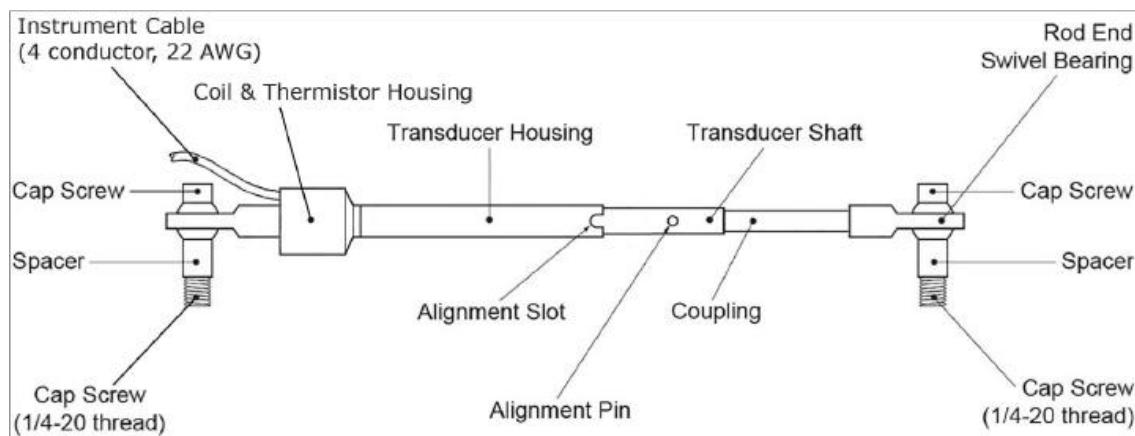
Este instrumento consiste en una serie de elementos sensibles de cuerda vibrante con un resorte con tratado térmico y libre de tensión, conectado a la cuerda en un extremo y a una varilla de conexión en el otro. La unidad está completamente sellada y opera a presiones de hasta 250 psi. Conforme la varilla de conexión sale del cuerpo del medidor, el resorte se alarga provocando un incremento en la tensión, lo cual es percibido por el elemento de cuerda vibrante. El aumento en la tensión (deformación) de

la cuerda es directamente proporcional a la extensión del eje. Este cambio en la tensión permite al Modelo 4420 medir la abertura en la unión con mucha precisión.



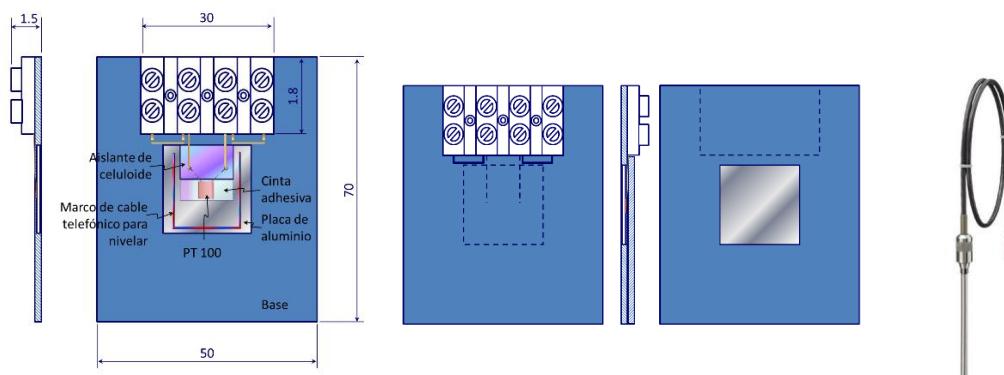
Características técnicas

Rangos estándar ¹	12,5, 25, 50, 100, 150, 300, 400, 500 mm
Resolución	0.025% F.S.
Precisión ²	±0.1% F.S.
No linealidad	<0.5% F.S.
Rango de temperatura ¹	De -20 °C a +80 °C
Longitudes ³	318, 343, 397, 555, 645 mm (transductor)
Diámetro	8 mm (eje); 25 mm (bobina)



Sensor de temperatura PT100 en pared y aire:

Disponible en configuraciones para pared y aire, permite medir temperaturas con gran exactitud y estabilidad.



Transmisor de humedad y temperatura - Rotronic HF4:

La serie HygroFlex4 es ideal para obtener una buena precisión en la medición de la humedad y la temperatura.

Características:

- Rango de aplicación hasta -50...100 °C / 0...100 %HR
- Precisión: Hasta $\pm 1\%$ RH, $\pm 0,2$ K, a 23 °C
- Conforme a GAMP (Software HygroSoft)
- Diferentes carcasa disponibles



Medidor de presión Mensor CPG2500:

El indicador de presión digital CPG2500 se puede configurar con uno, dos o tres sensores de presión. Dos sensores son internos y el tercero es externo. Los sensores de presión están aislados neumáticamente, de modo que un canal se puede configurar con un sensor de hasta 2.895 bar [42.000 psi] y otro de hasta 25 mbar [10 inH₂O]. Se puede agregar internamente un sensor de referencia barométrico opcional para mostrar la presión barométrica o se puede usar para emular la presión manométrica o absoluta.



Adquisidores de datos:

34980A Multifunction Switch / Measure Unit, Modules.

Interruptor multifunción de alto rendimiento / unidades de medida en una plataforma flexible y económica.

El mainframe y los módulos de conmutación/medida multifunción Keysight 34980A proporcionan una funcionalidad fácil de configurar y utilizar. El 34980A le ayuda a reducir el costo de la prueba, acelerar la integración y el desarrollo de su sistema.

Características generales:

- Admite hasta ocho módulos enchufables.
- DMM incorporado con 6½ dígitos (22 bits) de resolución.
- Se integra en sistemas de prueba y adquisición de datos con conectores estándar y controladores de software.
- Conectividad estándar LAN, USB y GPIB a PC, compatible con LXI.
- Velocidades de escaneo de hasta 1000 canales/segundo.
- Controla dispositivos externos como interruptores de microondas, atenuadores, solenoides y relés de potencia.
- Hasta 560 puntos de cruce MUX de 2 hilos o 4096 puntos de cruce de matriz en un mainframe.



ADM-8F8-E Adquisidor programable Modbus:

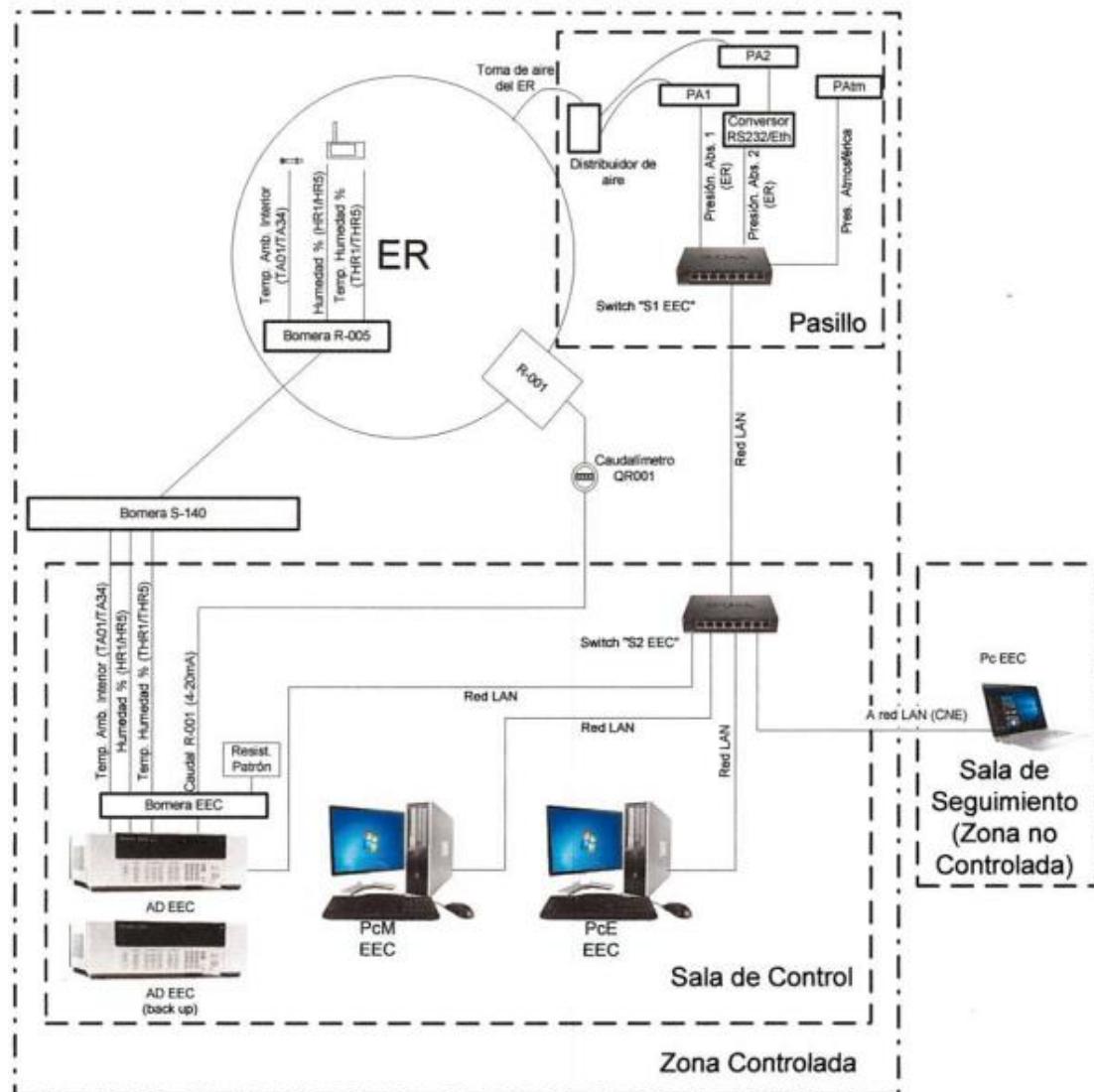
El ADM-8F8-E PROSER es un adquisidor de datos Modbus programable, con posibilidad de almacenamiento y administración de alarmas y eventos. Los datos almacenados (por intervalo de tiempo, por eventos o por ambos) pueden exportarse en formato de planilla de cálculo, visualiza en la web embebida todas las variables de entrada y permite controlar desde la misma las variables de salida. También es posible definir un nombre para cada señal de entrada, como así también las unidades de las mismas.

Características generales:

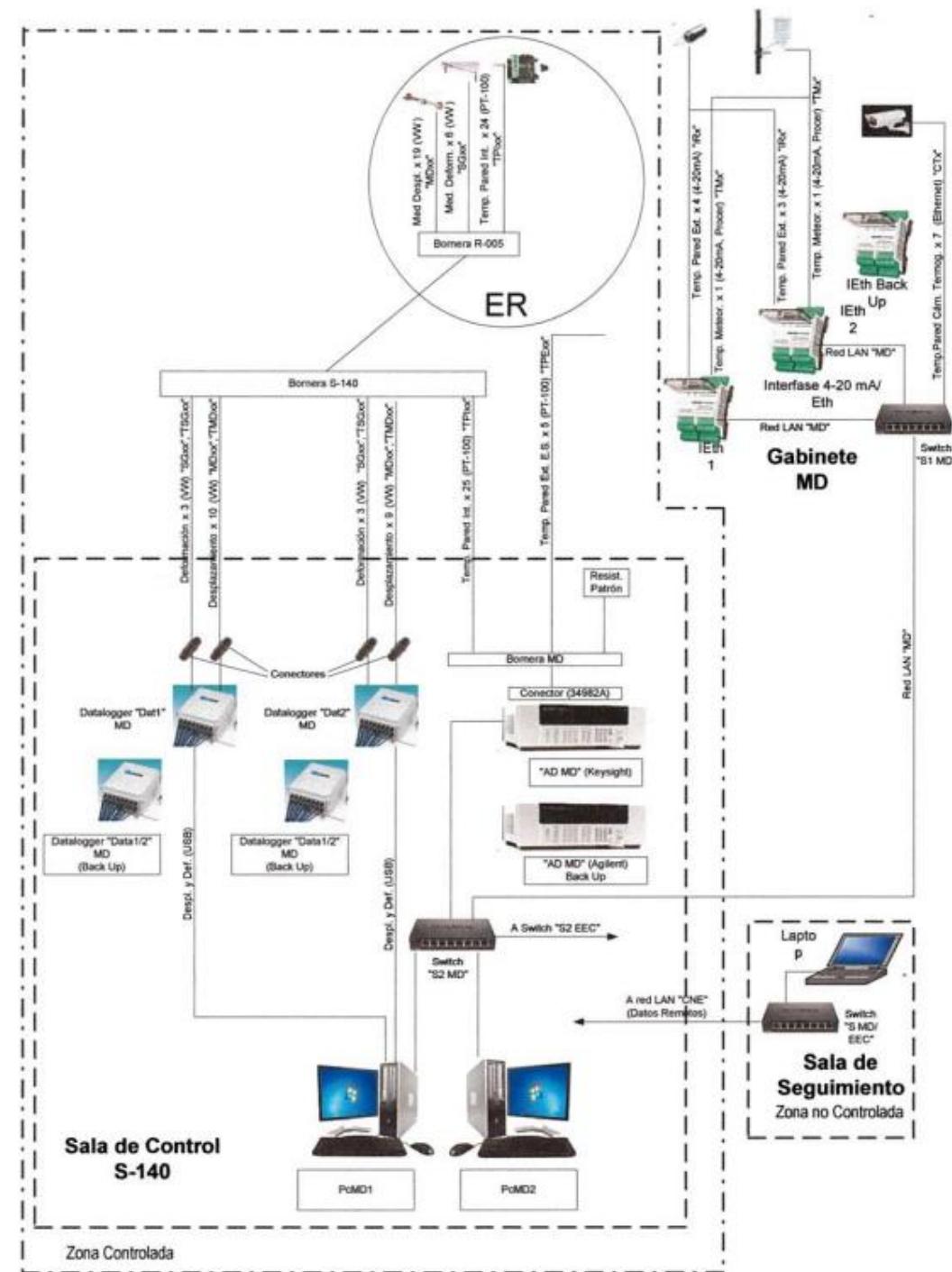
- Alimentación de 8 a 30 VCC.
- Consumo menor a 2W.
- Puerto de comunicación serie RS-232 y RS-485.
- Puerto de comunicación ethernet.
- 16 Entradas digitales con común configurable.
- 8 Entradas analógicas 4-20mA con cero y span configurable.
- 8 Salidas digitales tipo colector abierto (hasta 500mA c/u).
- 8 Contadores internos asociables a entradas digitales.
- Nombre de entradas configurables para visualización.
- Configuración mediante web.
- Control de las salidas digitales a través de la web.
- Visualización de variables en la página web embebida.
- Exportación de datos históricos y alarmas a Excel.
- Almacenamiento de datos por tiempo (data logger).
- Protocolo Modbus ASCII y RTU, configurable.
- Protocolo Modbus sobre TCP.
- Gabinete industrial para montaje sobre riel DIN.



Diagramas de conexión de los ensayos



Esquema de conexión del ensayo de estanqueidad



Esquema de conexión del ensayo de desplazamiento

Software

Programación y análisis de datos

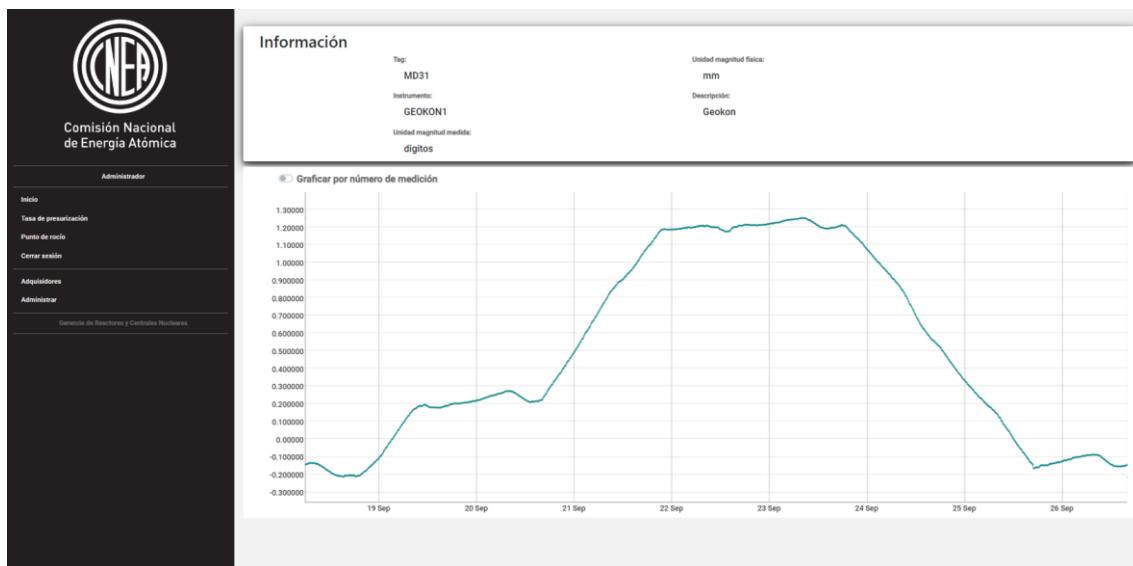
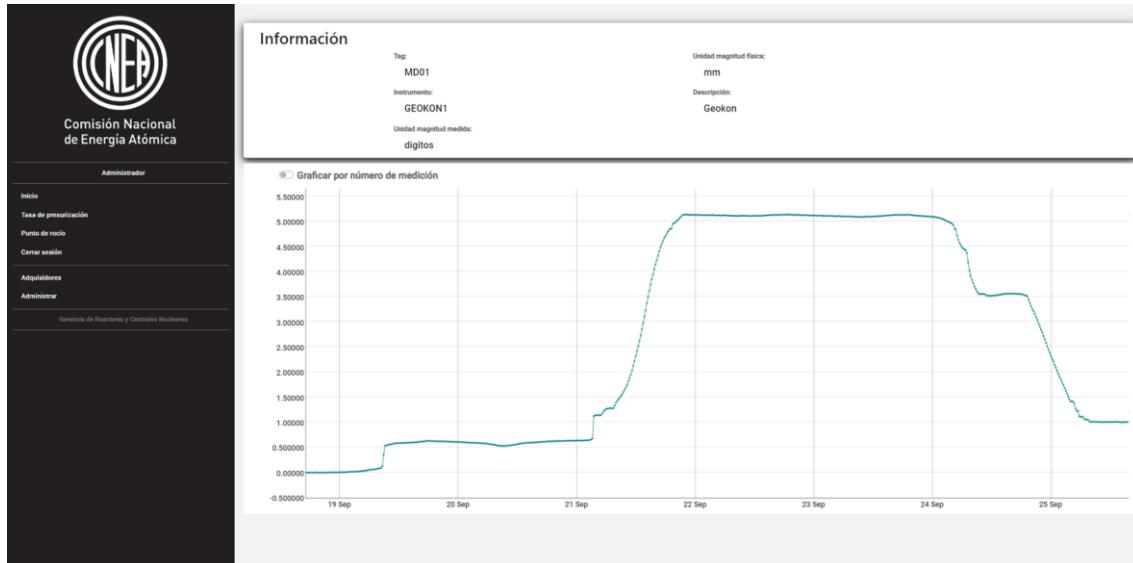
La programación del sistema de adquisición y análisis de datos fue desarrollada íntegramente en Python, permitiendo la integración eficiente de los sensores utilizados en los ensayos de estanqueidad y desplazamiento. Para el ensayo de estanqueidad, los datos recopilados por los sensores de presión, humedad y temperatura fueron procesados en tiempo real mediante algoritmos diseñados para calcular la tasa de fuga de la contención. Este cálculo se basa en modelos matemáticos que correlacionan las variaciones de los parámetros medidos en función del tiempo, ofreciendo una estimación precisa del comportamiento de la contención durante las etapas de presurización.

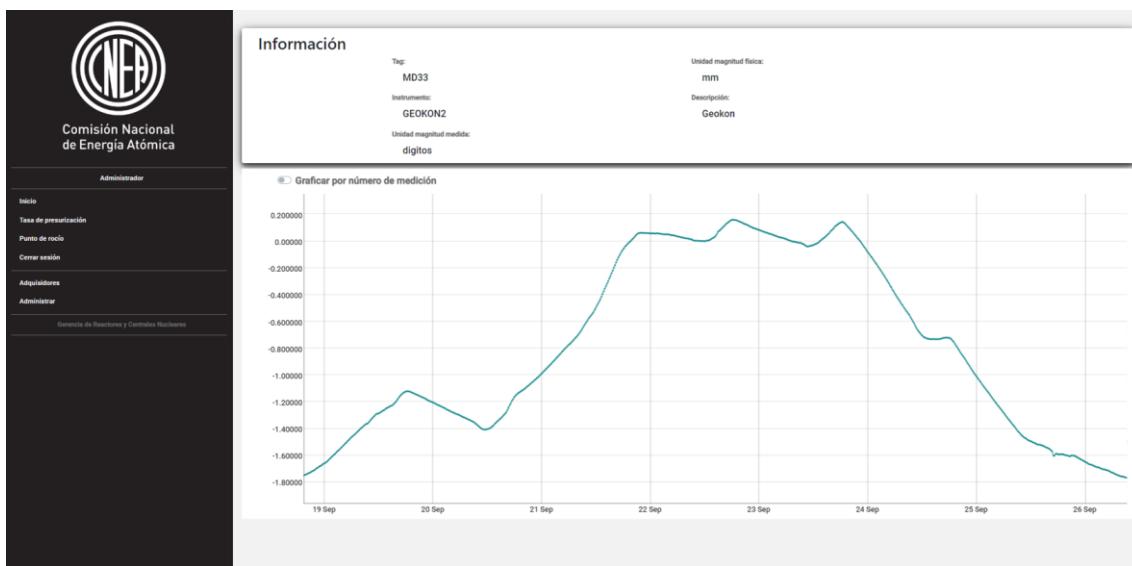
En el ensayo de desplazamiento, los datos obtenidos de las cámaras termográficas, el láser infrarrojo y los medidores de desplazamiento fueron analizados utilizando algoritmos específicos que permitieron medir deformaciones en milímetros, identificar patrones térmicos y correlacionar los resultados con las condiciones estructurales observadas.

Para facilitar la supervisión y análisis, se desarrolló una interfaz gráfica que permite visualizar los datos en tiempo real, ofreciendo una representación clara y detallada del comportamiento de los parámetros monitoreados durante el ensayo. Este sistema no solo simplificó el monitoreo continuo, sino que también permitió generar reportes día a día detallados para su validación y aprobación por parte de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

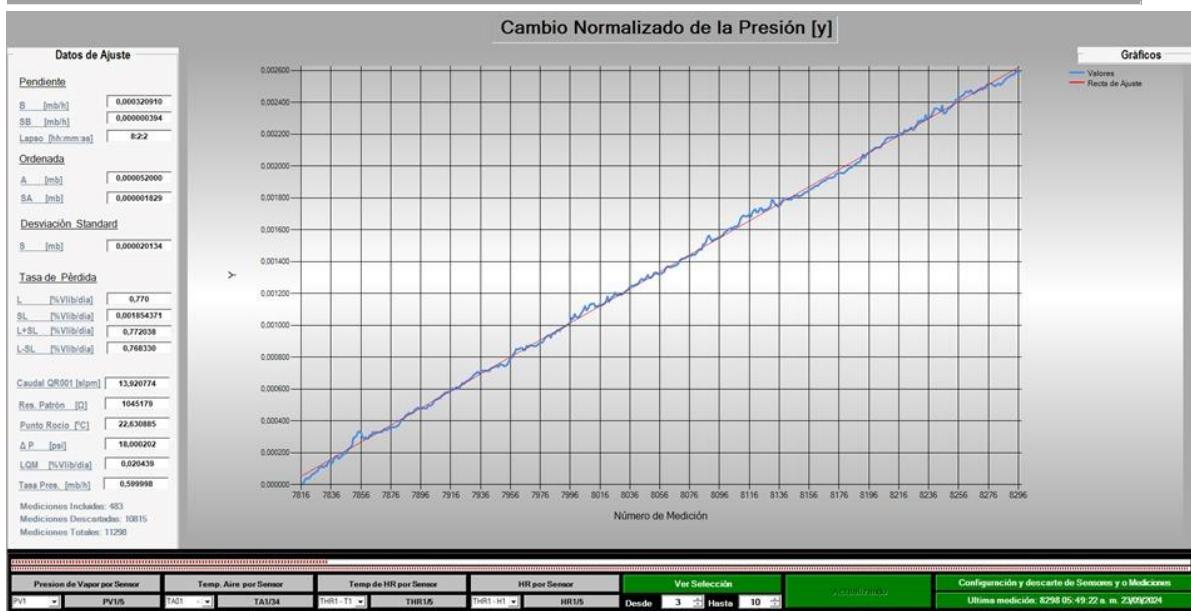
Interfaz de usuario

Se adjuntan imágenes de la interfaz mostrando resultados adquiridos.

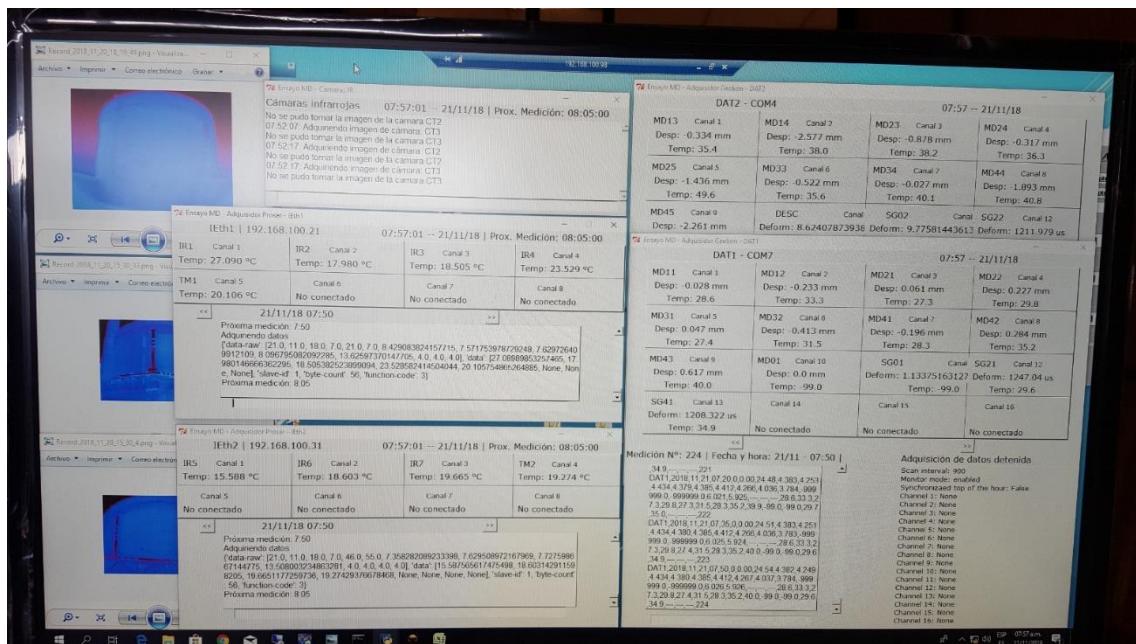


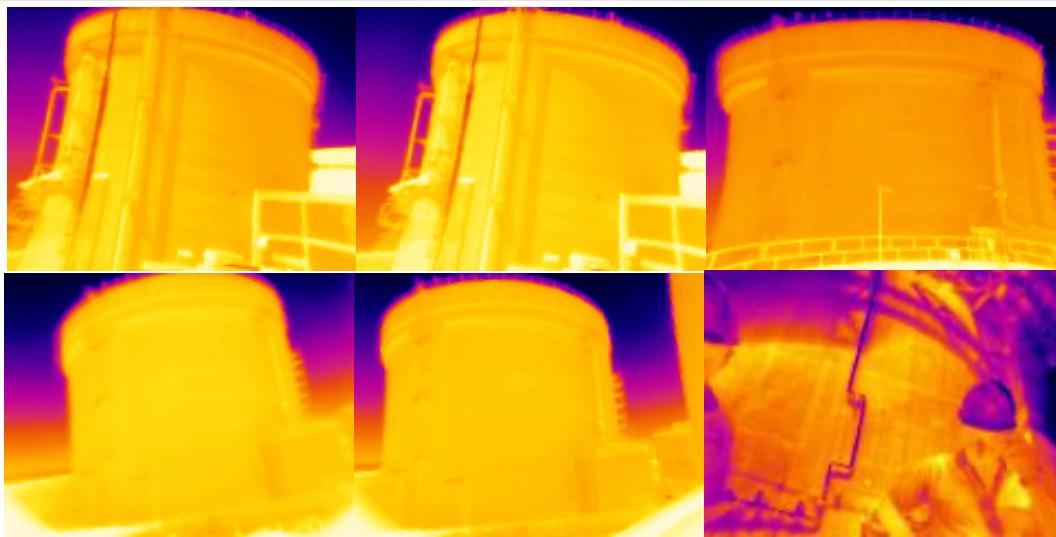


Variación de los sensores de desplazamiento

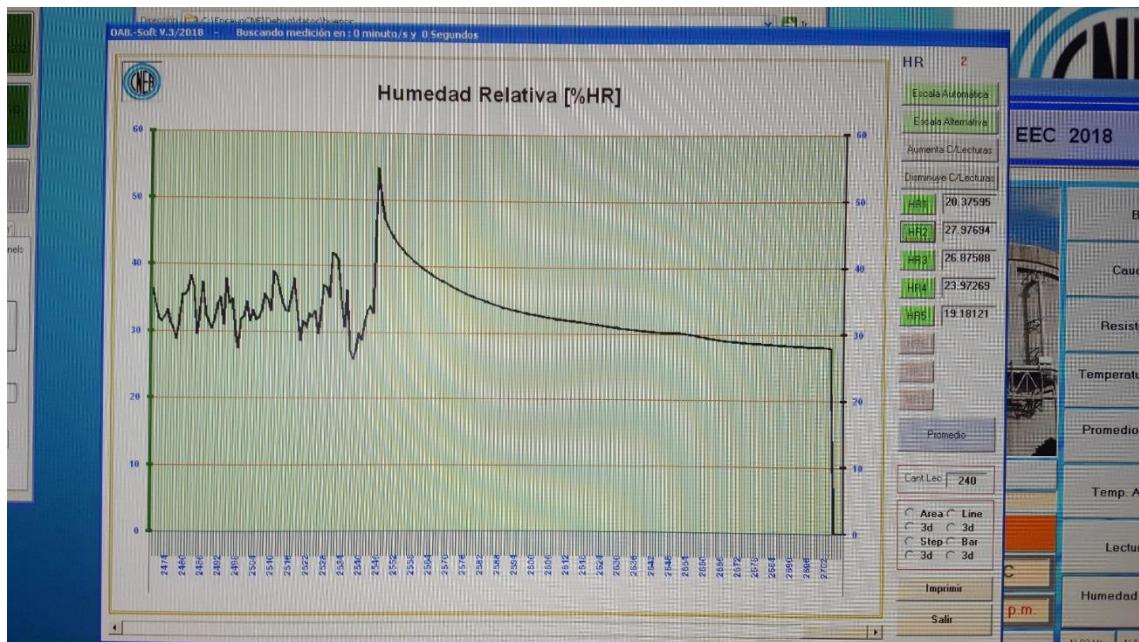


Variación de la presión dentro de la central y datos de interés para el ensayo





Imágenes de la contención capturadas por la cámara termográfica



Variación de la humedad relativa

Conclusión

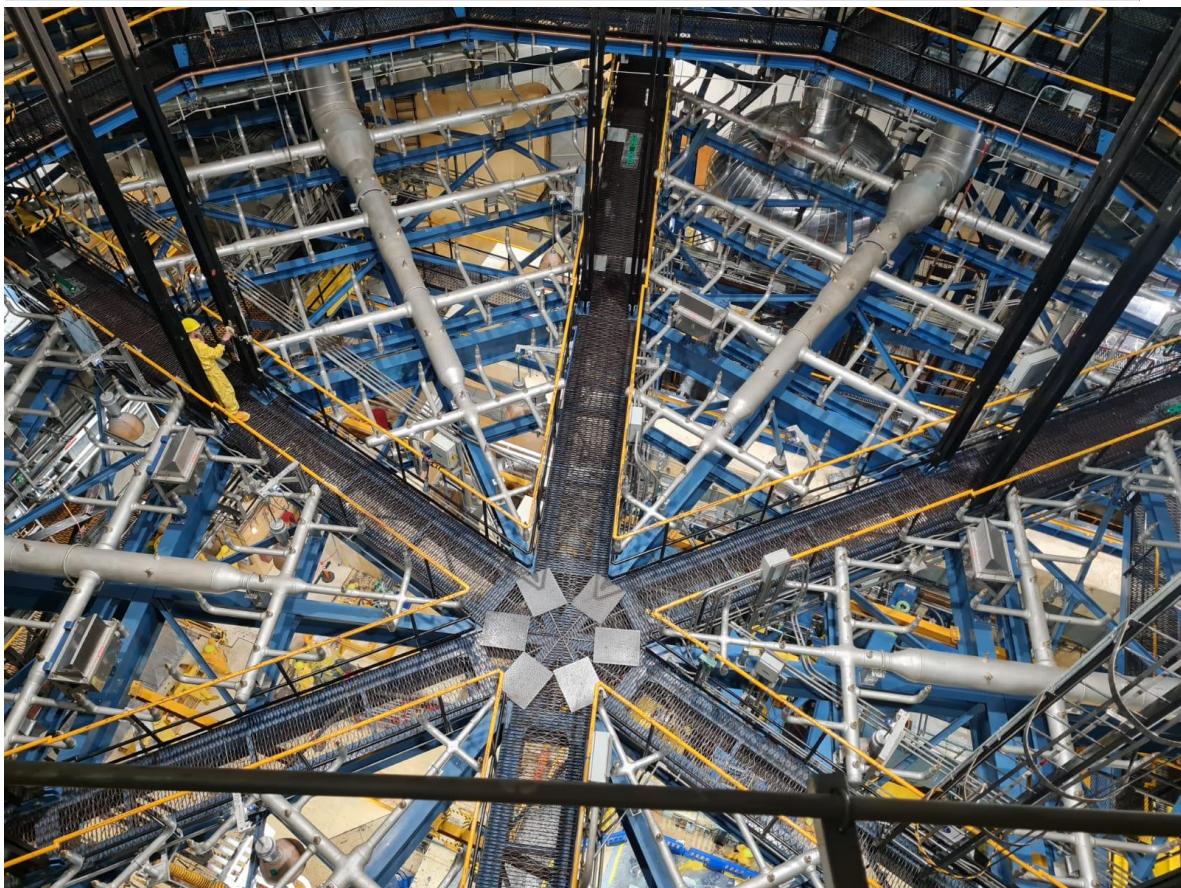
Resultados alcanzados

Los resultados alcanzados durante el ensayo de estanqueidad y desplazamiento en la contención de la Central Nuclear Embalse fueron satisfactorios, cumpliendo con los estándares establecidos por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). La evaluación de la tasa de fuga evidenció que la contención mantiene una hermeticidad adecuada, garantizando la seguridad operacional de la central. Asimismo, el análisis de los desplazamientos estructurales y las condiciones térmicas mostró un comportamiento dentro de los márgenes aceptables, lo que respalda la integridad estructural del sistema ante condiciones operativas extremas.

Más allá de los aspectos técnicos, la experiencia de conocer en detalle la infraestructura del Reactor Nuclear Embalse proporcionó una visión más profunda sobre los rigurosos controles y protocolos de mantenimiento que se implementan para preservar su funcionamiento seguro. La contención del reactor no solo es una barrera física para prevenir la liberación de material radiactivo, sino que también se encuentra sometida a un monitoreo constante para detectar cualquier anomalía en sus condiciones estructurales.

Otro aspecto clave es la protección frente a la contaminación externa. Durante el desarrollo del ensayo, quedó en evidencia la importancia de los procedimientos de descontaminación y las estrictas medidas de control de acceso a las áreas críticas. La implementación de filtros de aire, zonas de exclusión y monitoreo de radiación contribuyen a minimizar el riesgo de contaminación ambiental y a proteger tanto al personal como a la comunidad cercana.

En conclusión, este trabajo permitió no solo profundizar en los principios de estanqueidad y desplazamientos en estructuras sometidas a condiciones extremas, sino también comprender la magnitud de los protocolos de seguridad en la industria nuclear. La experiencia adquirida refuerza la importancia del mantenimiento preventivo y del monitoreo estructural como herramientas esenciales para garantizar la seguridad y confiabilidad de una instalación nuclear de esta magnitud.



Colocando sensores en la zona de los rociadores del reactor



Corroborando la toma de datos

Observaciones
