
ANÁLISIS DE VARIACIONES GEOMÉTRICAS Y POSICIONALES DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD DEL PRESIONADOR DE LA CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLÓS II

Rocío Cachero Crespo*^{1 2}, Cosme Muñoz Morejón², Pablo Pastur Ortiz de Urbina¹, Mario del Arco Gil¹, Ignacio Fernández Taladrid¹

¹ Dogram Ingeniería de Documentación Tridimensional S.L., Parque Tecnológico de Asturias, 53 CP 33428 Llanera, Asturias.

² Asociación Nuclear Ascó Vandellós II (ANAV), carretera N-340 km 1123, 43890 L'Hospitalet de l'Infant, (Tarragona).

* E-mail de contacto del autor principal: rocio@dogram.es

Resumen

Este estudio aborda la digitalización tridimensional del edificio de contención de la Central Nuclear de Vandellós II durante la recarga VR24, enfocándose en la inspección precisa de las válvulas de seguridad del presionador. Utilizando tecnologías avanzadas de escáner láser y software de inspección metrológica, se obtuvieron modelos 'as built' de las válvulas en dos estados operativos: planta parada por recarga (en frío) y planta en condiciones nominales (modo 3). La metodología sin contacto, basada en referencias geométricas preexistentes, permitió evaluar con precisión las variaciones geométricas y posicionales de las válvulas. Los resultados revelaron desplazamientos homogéneos de las válvulas con una desviación de alineación inferior a 0.5 milímetros y desplazamientos verticales uniformes de los soportes de las tuberías, dentro del rango teórico de diseño. Este enfoque innovador garantiza una inspección exhaustiva y fiable, minimizando riesgos en entornos complejos y proporcionando datos cruciales para la optimización y seguridad del sistema en la Central Nuclear de Vandellós II.

PALABRAS CLAVE: INSPECCIÓN, INNOVACIÓN, DIGITALIZACIÓN3D, METROLOGÍA, INGENIERÍA

1. INTRODUCCIÓN

En la Central Nuclear de Vandellós II, la precisión en la inspección de componentes críticos como las válvulas de seguridad del presionador, es esencial para mantener la seguridad y eficiencia operativa (**Figura 1**). Durante la recarga VR24, surgió la necesidad de evaluar con detalle estas válvulas, enfrentando desafíos debido a las limitaciones de acceso y la complejidad de los componentes. Para superar estos problemas, se empleó una metodología avanzada de digitalización tridimensional, utilizando escáneres láser y software especializado. Esta tecnología permitió obtener datos detallados y precisos sin comprometer la seguridad, lo que facilitó una evaluación exhaustiva de las variaciones geométricas y posicionales entre los estados operativos en frío y en caliente. Además, optimizó los procedimientos de inspección y mantenimiento. La implementación de esta metodología ha contribuido significativamente a la mejora continua en la seguridad y eficiencia del sistema en la Central Nuclear de Vandellós II, minimizando los riesgos asociados con la intervención en entornos industriales complejos.



Figura 1. Vista de la sala del presionador de la Central Nuclear de Vandellós II.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es realizar una evaluación integral de las válvulas de seguridad del presionador en la Central Nuclear de Vandellós II mediante digitalización tridimensional. Utilizando escáneres láser de alta resolución, se capturarán datos detallados de las válvulas en dos estados operativos: en frío durante la parada por recarga y en caliente durante condiciones nominales. Estos datos se emplearán para crear modelos tridimensionales precisos que permitirán un análisis comparativo de las variaciones geométricas y posicionales entre ambos estados, crucial para mantener la funcionalidad adecuada de las válvulas y asegurar su correcta alineación con el presionador y las líneas de conexión.

Además, se analizarán las desviaciones en la alineación y el desplazamiento de los soportes de tubería, comparando los resultados con los valores teóricos de diseño para garantizar la estabilidad estructural. El estudio tiene como objetivo optimizar los procedimientos de inspección y mantenimiento mediante el uso de tecnologías de digitalización 3D no invasivas, que permitan capturar datos detallados para desarrollar recomendaciones y mejorar la planificación y ejecución de estas actividades. Esto contribuirá a la seguridad y eficiencia operativa de la central, ajustando los procedimientos a las condiciones reales del sistema.

3. RECURSOS MATERIALES Y PERSONAL

El proyecto de digitalización empleó tecnología avanzada y personal especializado para garantizar una captura y análisis precisos de datos en la evaluación de las válvulas de seguridad en distintas fases operativas. Para la selección de los equipos de trabajo, se tuvieron en cuenta las limitaciones del entorno de trabajo, principalmente la accesibilidad, la seguridad, el tiempo de exposición limitado y la temperatura. Se seleccionó el escáner láser modelo Leica RTC 360 [1] por su versatilidad y velocidad para capturar datos detallados del entorno y de las válvulas, como se muestra en la **Figura 2**. Este escáner, ligero y de alta precisión, permite realizar un pre-registro in situ utilizando la tecnología VIS. Esta tecnología sigue el escáner en tiempo real mediante cinco cámaras y una unidad de medición inercial integrada, y permite el registro nube a nube sin necesidad de colocar dianas de referencia [2]. Este escáner ofrece una visión global del cubículo, capturando detalles estructurales esenciales para analizar las variaciones entre los distintos estados operativos.

También se utilizó el escáner 3D de alta precisión Artec Leo 3D [3]. Este escáner inalámbrico y totalmente portátil permite obtener detalles de hasta 0.1 mm e incluye una pantalla para previsualizar los resultados.

El Artec Leo facilitó la digitalización precisa de las válvulas y componentes específicos, permitiendo la obtención de modelos 3D de alta calidad para un análisis exhaustivo en diferentes condiciones operativas.

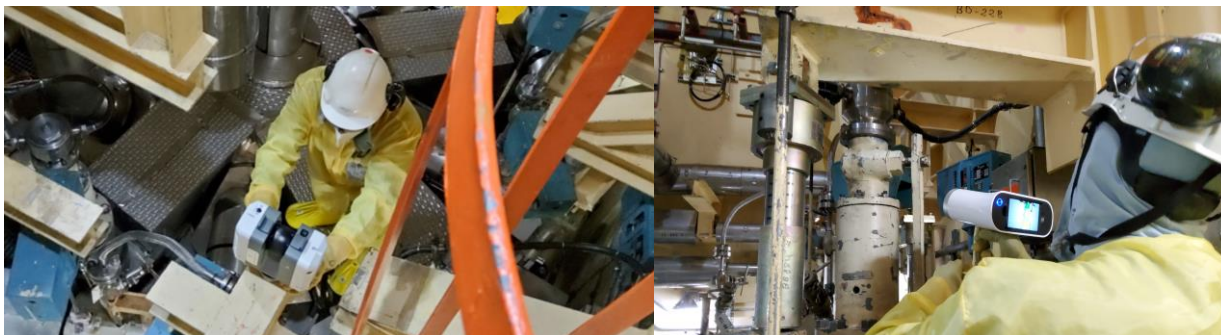


Figura 2. Vista del Escáner Láser Leica RTC360 y Artec Leo 3D durante la ejecución de los trabajos.

Para el tratamiento posterior de los datos, se emplearon los softwares específicos de cada escáner, realizando el registro, la alineación, la edición y la fusión de los datos capturados para obtener un modelo definitivo de cada fase. Se utilizó el software de inspección metrológica PolyWorks Inspector [4] para el análisis y comparación de las dos fases, debido a su capacidad para integrar datos de distintas fuentes y ofrecer herramientas de cálculo precisas para identificar variaciones geométricas y posicionales.

El equipo técnico estuvo compuesto por cuatro profesionales con amplia experiencia en escaneo láser 3D y control dimensional en entornos nucleares. Su conocimiento y experiencia previa fue crucial para seleccionar la tecnología adecuada y desarrollar la metodología empleada.

4. METODOLOGÍA

La metodología empleada se diseñó con el objetivo de proporcionar una evaluación exhaustiva y precisa de las variaciones geométricas y posicionales en dos estados operativos distintos: durante la parada por recarga (en frío) y en condiciones nominales (modo 3).

4.1. Preparación del Entorno de Trabajo

La primera fase del estudio, realizada durante la parada por recarga (en frío), comenzó con una cuidadosa preparación del entorno de trabajo. Se emplearon elementos estructurales estables, como vigas y orejetas como puntos de referencia para el escaneo. De esta forma se evitaba introducir a zona radiológica accesorios como dianas de referencia. Los elementos seleccionados por su estabilidad y visibilidad proporcionaron un sistema de coordenadas fiable, garantizando una alineación precisa y facilitando la comparación de las nubes de puntos entre fases operativas, asegurando que las variaciones fueran atribuibles a cambios en el estado operativo.

4.2. Captura de Datos

El proyecto se ejecutó durante la recarga VR24 en dos ventanas diferenciadas, en frío y en caliente, con el objetivo de registrar y comparar los resultados en ambos modos de operación. Los trabajos se realizaron en ventanas idóneas para minimizar los riesgos y asegurar una cobertura completa y precisa, coordinadas además con la programación de la recarga. Durante los trabajos en frío, se realizaron 34 posiciones de escaneo distribuidas por todo el cubículo que alberga el presionador, así como el escaneo detallado y de alta precisión de cada una de las válvulas de seguridad.

El trabajo en la segunda fase consistió en aplicar la misma metodología y equipamiento bajo condiciones normales de funcionamiento (modo 3), capturando las válvulas en su estado operativo real para facilitar la comparación con la fase en frío. Se optimizó el número de posiciones de escaneo a 20 y se escaneó cada válvula con el mismo grado de detalle que en la fase anterior. Se digitalizaron los mismos puntos de referencia para asegurar la coherencia y precisión en la comparación entre ambos estados operativos.

4.3. Procesamiento

El procesamiento de los datos recopilados fue esencial para transformar la información bruta del escaneo láser en una digitalización 3D detallada de cada fase, destinada al análisis comparativo. La calidad metrológica de los resultados se ajustó y comprobó mediante múltiples restricciones nube a nube, logradas gracias al solapamiento entre las distintas tomas de escaneo, alcanzando una precisión global del cubículo de 1 mm y una precisión de 0.1 mm en la digitalización de las válvulas.

La integración de los datos detallados de las válvulas en el conjunto global del cubículo se realizó mediante una alineación de mejor ajuste, seleccionando entidades comunes, como dos cilindros y un plano, para asegurar un posicionamiento preciso de cada válvula en su entorno real.

Para el análisis comparativo, los resultados de la fase en frío se usaron como referencia base, y la digitalización obtenida de la fase en caliente se alineó respecto a ella, utilizando vigas y orejetas como puntos fijos en los ejes X, Y y Z, tal como se muestra en la **Figura 3**.

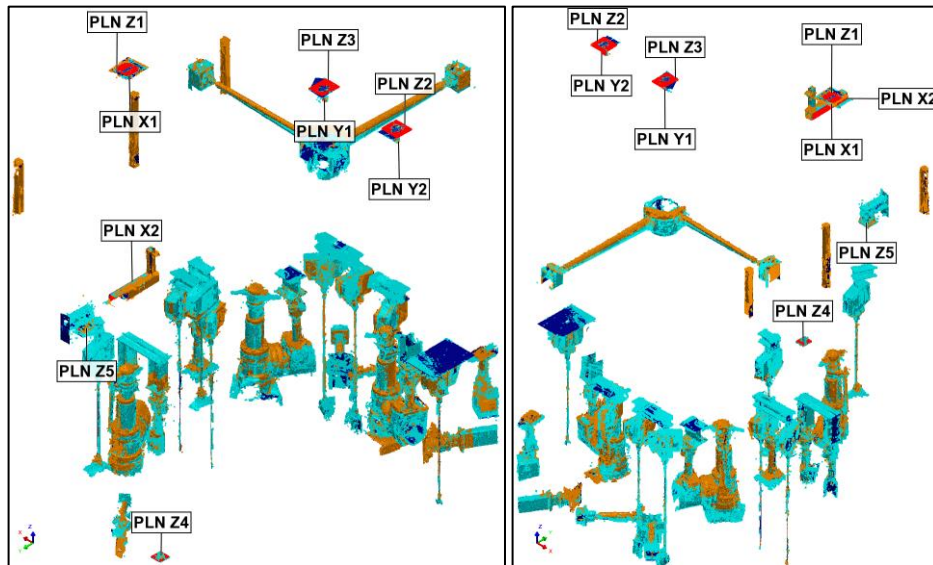


Figura 3. Elementos usados para realizar la alineación de la digitalización obtenida en las dos fases.

4.4. Análisis de Variaciones Geométricas y Posicionales

Una vez integrados los datos, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las variaciones geométricas y posicionales de las válvulas de seguridad BB-025, BB-026 y BB-027 (**Figura 4**). Este análisis se centró en tres entidades clave de cada válvula: bonnet, entrada y salida, extrayendo el cilindro de mejor ajuste de cada entidad en ambas fases operativas.

Se realizó un análisis de las diferencias en cota de los soportes de las válvulas (**Figura 4**), evaluando las variaciones en las alturas relativas de los soportes de tubería asociados a las válvulas. Este análisis ayudó a identificar desplazamientos verticales significativos en los soportes, lo que podría influir en la alineación de las válvulas.

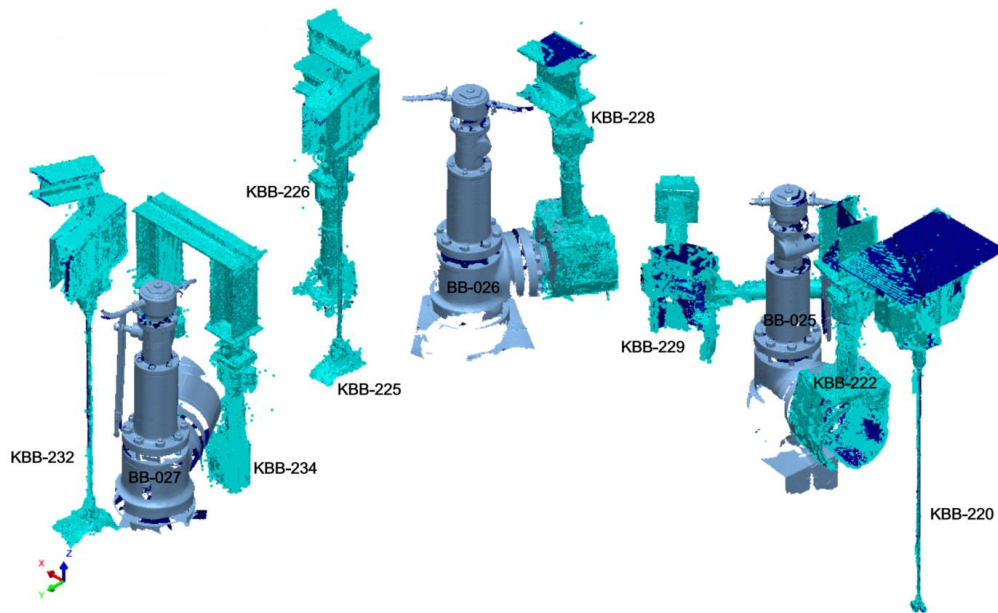


Figura 4. Representación sobre el escaneado en frío de la identificación de las válvulas y los soportes.

También se generaron mapas de desviaciones utilizando un esquema de colores para representar visualmente las diferencias entre las válvulas en frío y en caliente, tomando la etapa en frío como referencia. Para obtener estos mapas, la válvula en caliente se desplazó a lo largo del eje del cilindro de mejor ajuste hasta coincidir con la válvula en frío. Este método permitió observar las desviaciones entre las fases operativas.

5. RESULTADOS

La evaluación de las válvulas BB-025, BB-026 y BB-027 mostró variaciones geométricas y posicionales entre las fases en frío y en caliente. Estas diferencias fueron ajustadas con éxito gracias a la metodología no invasiva y sin contacto aplicada, como se detalla en la Tabla I. El ajuste, basado en elementos estructurales presentes en las paredes del cubículo, arrojó desviaciones medias de 0.12 mm.

Tabla I. Planos alineación Frío - Caliente.

Entidad	Control	Frío (mm)	Caliente (mm)	Desviación (mm)
Plano Z1	Centroide Z	126528.2	126528.6	0.4
Plano Z2	Centroide Z	126552.6	126552.6	0.0
Plano Z3	Centroide Z	126547.7	126547.6	-0.1
Plano Z4	Centroide Z	121055.4	121055.4	0.0
Plano Z5	Centroide Z	123662.6	123662.6	0.0
Plano Y1	Centroide Y	307229.7	307229.8	0.1
Plano Y2	Centroide Y	307227.5	307227.3	-0.2
Plano X1	Centroide X	701655.5	701655.6	0.1
Plano X2	Centroide X	700189.3	700189.1	-0.2

El análisis detallado de las válvulas BB-025, BB-026 y BB-027 se centró en las entidades clave: bonnet, entrada y salida. La Tabla II muestra la posición media de una fase a otra en las coordenadas X, Y y Z.

Tabla II. Entidades analizadas en las válvulas BB-025, BB-26 y BB-027.

	Coordenada X			Coordenada Y			Coordenada Z		
	Frío (mm)	Caliente (mm)	Desviación (mm)	Frío (mm)	Caliente (mm)	Desviación (mm)	Frío (mm)	Caliente (mm)	Desviación (mm)
BB-025									
Bonnet	700143.5	700136.8	-6.7	305864.0	305860.0	-4.0	121411.5	121459.5	48.0
Entrada	700150.4	700145.9	-4.5	305860.0	305855.9	-4.1	120975.2	121021.5	46.3
Salida	699880.0	699873.9	-6.1	305929.7	305926.4	-3.3	121202.8	121249.7	46.9
BB-026									
Bonnet	701800.3	701799.8	-0.5	306344.2	306340.1	-4.1	121394.3	121443.4	49.1
Entrada	701801.7	701801.0	-0.7	306346.6	306346.4	-0.2	120957.1	121004.0	46.9
Salida	701663.5	701661.4	-2.1	306108.4	306105.7	-2.7	121185.5	121232.4	46.9
BB-027									
Bonnet	701686.6	701692.6	6.0	308556.2	308558.2	2.0	121418.3	121462.5	44.2
Entrada	701687.4	701689.2	1.8	308563.1	308567.4	4.3	120982.0	121026.6	44.6
Salida	701831.5	701836.0	4.5	308327.7	308330.9	3.2	121210.5	121252.9	42.4

La Tabla III muestra los diámetros de las válvulas, así como el paralelismo resultante de la comparación de los ejes de las válvulas en frío y en caliente, confirmando que las válvulas permanecen dentro de los márgenes de tolerancia.

Tabla III. Diámetros de las válvulas y Paralelismos entre ejes en su posición en frío y caliente

Válvula	Diámetro (mm)			Paralelismo (mm)		
	Bonnet	Entrada	Salida	Bonnet	Entrada	Salida
BB-025	321.0	394.0	357.0	0.2	0.3	0.3
BB-026	323.0	394.0	357.0	0.3	0.4	0.4
BB-027	321	395	357	0.5	0.9	0.5

El análisis de las diferencias en la cota de los soportes de las válvulas entre las fases proporcionó información crítica sobre los desplazamientos verticales, Tabla IV, fundamentales para asegurar que los soportes cumplan con los valores teóricos de diseño.

Tabla IV. Diferencia de cota de los soportes de las válvulas.

Válvula	Entidad	Control	Frío (mm)	Caliente (mm)	Desplazamiento (mm)	Desplazamiento teórico (mm)
BB-025	KBB-220	Centroide Z	120666	120708	42	54
	KBB-222	Centroide Z	121678	121723	45	49
BB-026	KBB-225	Centroide Z	121387	121440	53	57
	KBB-226	Centroide Z	121598	121648	50	55
	KBB-228	Centroide Z	121665	121710	45	50
	KBB-229	Centroide Z	120913	120956	43	47
BB-027	KBB-232	Centroide Z	121398	121447	49	54
	KBB-234	Centroide Z	121097	121134	37	47

Los mapas de desviaciones (**Figura 5**) muestran claramente las diferencias geométricas entre las fases en frío y en caliente, utilizando la etapa en frío como referencia. Estos mapas, generados al alinear las válvulas en caliente con las de frío, facilitan la identificación de áreas con variaciones significativas y permiten una evaluación detallada de las desviaciones estructurales y posicionales.

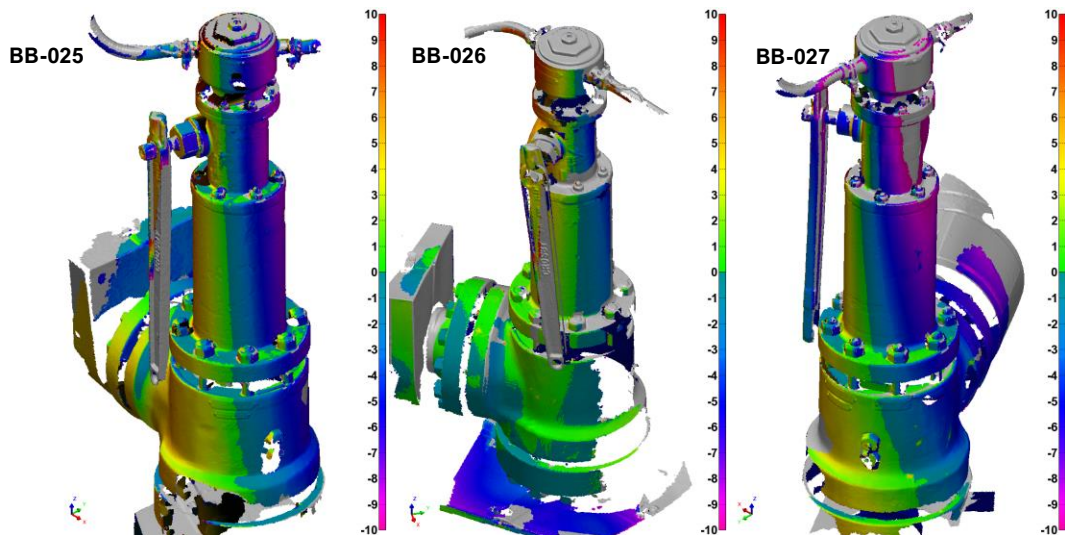


Figura 5. Mapas de desviaciones de las válvulas de seguridad BB-025, BB-026 y BB-027.

6. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio proporcionan una visión detallada de las variaciones geométricas y posicionales de las válvulas de seguridad BB-025, BB-026 y BB-027 en la Central Nuclear de Vandellós II, tanto en condiciones de frío como en condiciones nominales. La evaluación precisa de las nubes de puntos y la alineación basada en los planos de referencia confirman la efectividad de los procedimientos de escaneo y alineación, minimizando errores y garantizando la precisión de los datos. Los análisis muestran que el desplazamiento más significativo ocurre en la coordenada Z (altura), con una media de 45 mm, mientras

que los desplazamientos en las coordenadas X e Y son menores y dentro del rango de tolerancia. El paralelismo se mantuvo por debajo de 0.5 mm, con un valor ligeramente superior de 0.9 mm, aún dentro del umbral aceptable.

Los mapas de desviaciones refuerzan estos hallazgos, proporcionando una representación visual clara de las variaciones entre las fases en frío y en caliente, y confirmando que las desviaciones observadas son consistentes. Las diferencias en las cotas de los soportes de las válvulas se mantuvieron dentro de los valores teóricos permitidos, indicando que el sistema de soporte se comporta adecuadamente bajo diferentes condiciones operativas. En resumen, la evaluación integral demuestra que el presionador y sus componentes están alineados con los requisitos técnicos, manteniendo una funcionalidad óptima y un margen de seguridad adecuado, y subraya la importancia de una vigilancia continua en la gestión de sistemas críticos.

Este estudio ha evidenciado la necesidad de un seguimiento sistemático de los desplazamientos verticales de los soportes para asegurar un comportamiento uniforme del sistema y evitar tensiones significativas que podrían provocar fugas en las válvulas. Hasta la fecha, no se habían realizado comprobaciones similares en los soportes. La comparación de los resultados obtenidos con galgas extensiométricas y sensores de movimiento ha mostrado valores consistentes con los resultados del escaneo láser. Actualmente, estas comprobaciones se llevan a cabo regularmente durante cada parada por recarga. Los hallazgos subrayan el potencial de las tecnologías de escaneo láser para su aplicación en otras áreas de la planta, contribuyendo a la garantía de la fiabilidad de los sistemas.

7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante la técnica de escaneo láser en la central nuclear de Vandellós II durante VR24 permiten concluir que los desplazamientos de las válvulas son homogéneos. Adicionalmente, los desplazamientos verticales de los soportes asociados a las líneas de tubería aguas arriba y abajo de cada una de las válvulas son uniformes, encontrándose siempre dentro del desplazamiento teórico de diseño del soporte y por tanto sin restringir el movimiento en esta dirección por lo que se puede deducir que no se provocan tensiones debido a desplazamientos no uniformes.

8. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento sincero a los impulsores de los planes de digitalización de las Centrales Nucleares de Ascó y Vandellós, por incorporarnos dentro de la cadena de valor de nuevo haciendo uso de tecnologías que trabajan al servicio de la eficiencia, la rigurosidad y la productividad.

9. REFERENCIAS

- [1] Leica Geosystems, «Leica RTC360 3D Reality Capture Solution», 2018.
- [2] A. BIASION, T. MOERWALD, B. WALSER, y G. WALSH USA, «A new approach to the Terrestrial Laser Scanner workflow: the RTC360 solution», en *FIG Working Week 2019*, 2019.
- [3] Y. XIA y H. B. BLUM, «Geometric imperfection measurements of cold-formed steel members using a portable non-contact 3D laser scanner», en *Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council, SSRC 2020*, Structural Stability Research Council, 2020.
- [4] W. H. XIAO y M. LI, «Study on the fitting methods of the polyworks Software», en *Applied Mechanics and Materials*, 2014. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.587-589.2330.