

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL



FACULTAD REGIONAL SANTA FE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Informe de acreditación de proyecto final de carrera

“Aseguramiento y control de la calidad en sistemas de tratamiento de agua en Hidrobiot SRL”

Equipo docente:

Ing. Fernando Imaz
Dra. Érica Fernández
Ing. Renzo Piccoli

Alumna: Natalia Mayor, LU 23766

Año 2025

Índice

1. Introducción	3
2. Presentación de la empresa	5
3. Marco teórico sobre tecnologías de tratamiento de agua	6
3.1 Intercambio iónico para ablandamiento	6
3.2 Ósmosis inversa de primer y segundo paso	7
3.3 Electrodeionización (EDI)	9
4. Gestión de la calidad en los proyectos	12
4.1 Plan de inspección y ensayos	17
4.2 Documentación y calificación de soldadura	22
4.3 Ensayos no destructivos	26
4.3.1 Inspección visual	27
4.3.2 Líquidos penetrantes	28
4.3.3 Radiografía industrial	33
4.3.4 Pruebas hidráulicas	38
4.4 Recubrimiento de tanques	41
4.5 Revisión de documentación	45
4.6 Liberación a obra	48
5. Conclusión	50
6. Anexos	52

1. Introducción

El rol de responsable de calidad en la empresa Hidrobiot SRL comprende un conjunto amplio de funciones orientadas a garantizar que los productos y servicios suministrados cumplan con los estándares técnicos y normativos establecidos. Entre las principales actividades se encuentran:

- La organización y gestión de la documentación técnica requerida para asegurar la calidad de los productos, manteniendo registros e informes conforme a los requerimientos internos y del cliente.
- La planificación, coordinación y seguimiento de los ensayos e inspecciones, incluyendo el registro fotográfico y documental.
- La articulación de actividades de control de calidad con los clientes, verificando el cumplimiento de sus requisitos específicos.
- La realización de visitas técnicas a plantas de proveedores y clientes, supervisando procesos, equipos y materiales involucrados.
- La supervisión de la liberación de equipos y materiales previo a su envío a obra, asegurando su conformidad con las especificaciones de ingeniería y los criterios de aceptación.
- La participación en la gestión de compras, actuando como nexo técnico entre diferentes áreas de la empresa con el fin de garantizar la idoneidad de los materiales y servicios adquiridos.
- La utilización del sistema de gestión Odoos para asegurar la trazabilidad asociada a la fabricación de productos químicos.
- La conducción del sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001:2015.

Al inicio de los proyectos abordados en este informe, si bien la empresa contaba con experiencia previa en la provisión de equipos para tratamiento de agua, no existía un sistema de aseguramiento de la calidad formalizado con el nivel de exigencia requerido por proyectos destinados a centrales térmicas.

Los controles se encontraban principalmente orientados a pruebas funcionales previas a la puesta en marcha, es decir, centrados en el control del producto final y no en un enfoque integral de aseguramiento de la calidad durante todo el proceso de fabricación.

Estos controles no tenían una estructura sistemática de inspecciones, trazabilidad documental ni seguimiento continuo de procesos críticos. En este contexto, la incorporación

y actuación de la responsable de calidad implicó la adaptación, organización y fortalecimiento de las prácticas existentes, incluyendo la reformulación del Plan de Inspección y Ensayos, la implementación de herramientas de trazabilidad de soldaduras y ensayos no destructivos, y la estandarización de criterios de liberación de equipos, así como la construcción de un nexo técnico permanente con el área de calidad del cliente.

En el presente Informe de Acreditación de Proyecto Final de Carrera se desarrollan en profundidad algunas de las actividades de la responsable de calidad, tomando como referencia dos proyectos recientes de la empresa en los cuales se implementaron por primera vez mecanismos de aseguramiento de la calidad con el nivel de exigencia requerido por el cliente, los cuales resultan representativos tanto por su alcance como por los desafíos técnicos involucrados. Si bien ambos corresponden a tecnologías de tratamiento de agua, presentan características diferenciadas: el primero consiste en un sistema de ósmosis inversa de doble paso combinado con electrodeionización, mientras que el segundo corresponde a un sistema de ablandamiento mediante resinas de intercambio iónico.

En conjunto, estos proyectos permitieron abordar la gestión de calidad aplicada a tecnologías destinadas a obtener distintos niveles de pureza del agua, desmineralizada/ultrapura en el primer caso y ablandada en el segundo, en función de los requerimientos del usuario final. A través de su análisis se busca describir y fundamentar las acciones de control, inspección, verificación documental y aseguramiento de calidad desarrolladas, poniendo énfasis en las mejoras introducidas respecto de la situación inicial y en el proceso de sistematización de prácticas de calidad en la empresa, así como en el proceso de consolidación profesional asociado al rol desempeñado.

2. Presentación de la empresa

Hidrobiot SRL, con sede principal en Santo Tomé (Santa Fe, Argentina), es una empresa dedicada al diseño, fabricación y comercialización de soluciones industriales para procesos de separación y tratamiento de agua. Su planta industrial y centro operativo le otorgan capacidad plena para desarrollar ingeniería de proceso, fabricación, ensayos, montaje y puesta en marcha de equipos destinados a centrales térmicas, industrias alimenticias, textiles, automotrices, entre otros sectores.

La propuesta de valor de la empresa se sustenta en la combinación de experiencia técnica, personal altamente calificado y soluciones a medida. Entre las tecnologías que desarrolla se destacan los sistemas de filtración por membranas (ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración, microfiltración), ablandamiento por intercambio iónico y electrodeionización (EDI), permitiendo conformar trenes de tratamiento completos bajo un mismo estándar de calidad.

Hidrobiot es representante autorizado exclusivo en Argentina de Kovalus Separation Solutions™ (KSS), corporación líder a nivel mundial en el diseño y fabricación de membranas y sistemas de separación. KSS ofrece membranas en diversas configuraciones, materiales y rangos de porosidad, desarrolladas para atender una amplia variedad de procesos industriales y requerimientos de calidad de agua.

Además, la empresa ofrece servicios especializados y una línea propia de productos químicos para la limpieza y mantenimiento de sistemas de membranas, que incluyen antiincrustantes, biocidas, limpiadores ácidos, alcalinos y enzimáticos, así como productos para el tratamiento de circuitos cerrados y abiertos, tales como calderas y torres de enfriamiento.

Todos los productos químicos fabricados por Hidrobiot, así como el asesoramiento técnico especializado para optimizar el uso de sus productos, se encuentran respaldados por un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001:2015. Esta certificación aplica al desarrollo, fabricación y comercialización de productos químicos destinados al tratamiento, limpieza y manutención de circuitos de enfriamiento, de calderas y de equipos de membranas, garantizando la trazabilidad, eficacia y cumplimiento de los estándares internacionales.

3. Marco teórico sobre tecnologías de tratamiento de agua

El tratamiento de agua para aplicaciones industriales, en especial para aquellas de alta criticidad como las centrales térmicas, requiere la integración de diferentes tecnologías que, actuando en forma complementaria, permiten alcanzar la calidad necesaria para proteger equipos y garantizar la eficiencia de los procesos. Dentro de las más utilizadas y que forman parte de los sistemas abordados en este informe, se encuentran el intercambio iónico para ablandamiento, la ósmosis inversa (en uno o dos pasos) y la electrodeionización (EDI).

Cada una de estas tecnologías cumple un rol específico dentro de la línea de tratamiento: el intercambio iónico elimina los iones calcio y magnesio responsables de la dureza del agua, evitando incrustaciones en equipos y cañerías; la ósmosis inversa remueve la mayor parte de los sólidos disueltos, materia orgánica y microorganismos, obteniendo un agua de elevada pureza; finalmente, la electrodeionización permite el pulido final, alcanzando calidades de agua ultrapura sin necesidad de regenerantes químicos. La combinación de estos procesos asegura la confiabilidad del suministro de agua tratada, adaptándose a los requerimientos que demandan los distintos usos industriales.

3.1 Intercambio iónico para ablandamiento

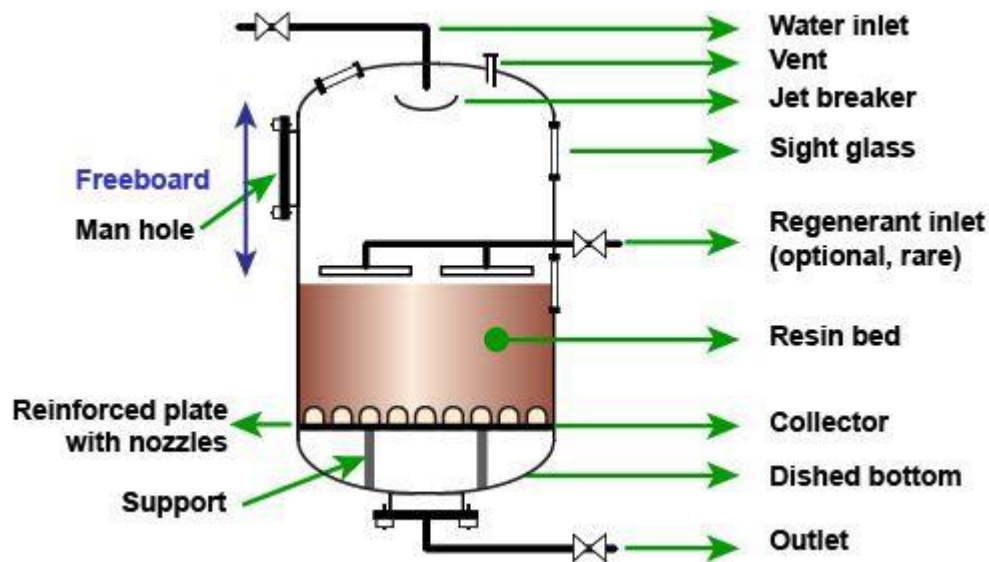
El intercambio iónico es una técnica ampliamente utilizada para el ablandamiento de agua, cuyo objetivo principal es eliminar la dureza ocasionada por los iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). En este proceso, dichos iones son reemplazados por iones sodio (Na^+) mediante resina catiónica fuerte. Estas resinas poseen sitios activos cargados negativamente, capaces de retener los iones de dureza y liberar sodio al agua. Como resultado, se obtiene un agua ablandada que previene la formación de incrustaciones en equipos sensibles como calderas, torres de enfriamiento o sistemas de membranas. En conclusión, el agua ya no forma incrustaciones (sarro), pero aún contiene sales disueltas, como sodio (Na^+), cloruros, sulfatos, bicarbonatos, etc.

Una vez que la resina alcanza su capacidad máxima de intercambio, debe regenerarse utilizando una solución concentrada de cloruro de sodio (salmuera). Este proceso restaura la funcionalidad de la resina al desprender los iones de calcio y magnesio retenidos. Entre las principales variables de diseño y operación, se destacan la capacidad de intercambio expresada en miligramos de carbonato de calcio (CaCO_3) eliminados por litro de resina, el caudal de servicio, la calidad del agua de alimentación (pretratada para remover sólidos suspendidos, hierro o materia orgánica), el consumo de sal, la frecuencia de regeneración y la vida útil de la resina.

El método presenta varias ventajas: es de instalación relativamente sencilla, requiere una inversión inicial moderada, y las resinas son regenerables, lo que asegura un funcionamiento continuo y eficiente. No obstante, también presenta limitaciones importantes: no elimina sales disueltas ni contaminantes orgánicos o microbiológicos, el manejo de salmuera implica consideraciones ambientales y de seguridad, y los costos de operación pueden resultar significativos debido al consumo de regenerante y agua de enjuague.

Figura 1

Columna de resina de intercambio iónico (típica)



Nota. Fuente: AES Arabia Ltd. (s.f.). Deionization Systems [Imagen genérica de industria]. Recuperado de <https://www.aesarabia.com/deionization-systems/>

3.2 Ósmosis inversa de primer y segundo paso

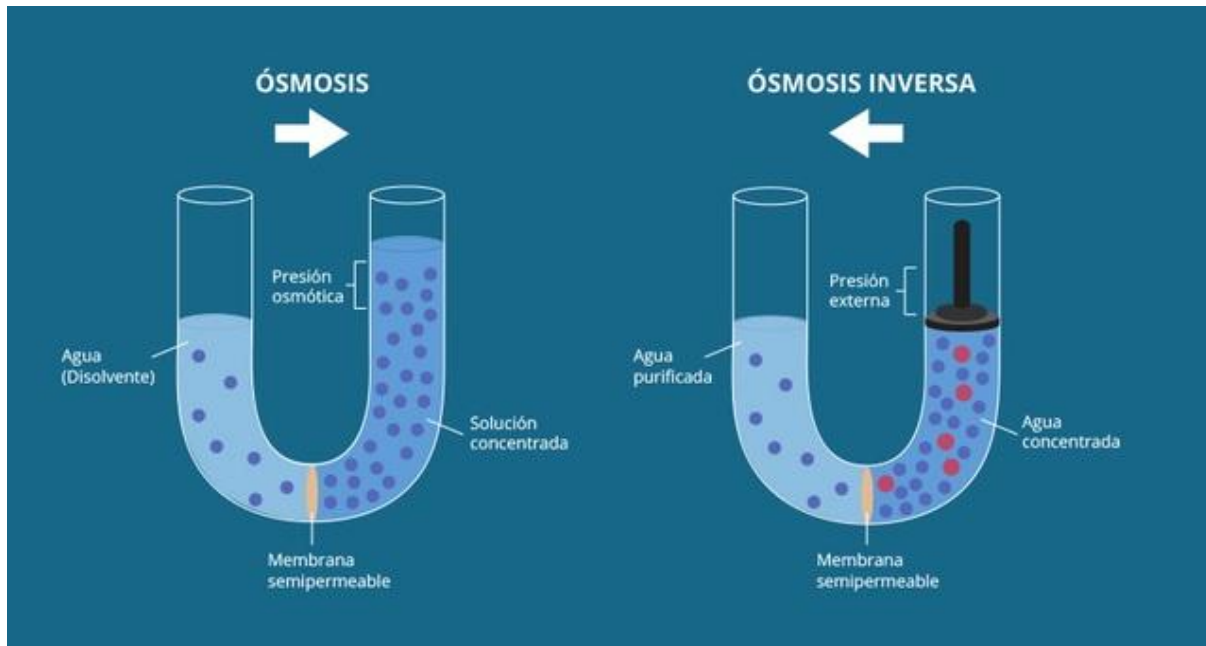
La ósmosis inversa (OI) es un proceso de separación basado en membranas semipermeables, en el cual se aplica una presión hidráulica superior a la presión osmótica natural, forzando el paso del agua a través de la membrana y reteniendo la mayor parte de las sales disueltas, coloides y contaminantes orgánicos.

En la Figura 2 se ilustra el principio de la ósmosis, donde el movimiento natural del agua a través de una membrana semipermeable ocurre desde una solución de menor concentración hacia otra de mayor concentración, impulsado por la diferencia de presión osmótica. Cuando se aplica una presión externa superior a dicha presión osmótica sobre el lado de mayor concentración, se invierte el flujo natural del solvente: las moléculas de agua son forzadas a atravesar la membrana en sentido contrario, es decir, desde la solución más concentrada

hacia la menos concentrada. Este mecanismo, que permite separar el agua de la mayoría de los solutos disueltos, es lo que se conoce como ósmosis inversa.

Figura 2

Esquema de ósmosis y ósmosis inversa



Nota. Imagen tomada de una presentación interna de Hidrobiot SRL. Documento no publicado.

En una primera etapa de ósmosis inversa es posible obtener una reducción de entre el 95% y el 99% de los sólidos totales disueltos (TDS). Sin embargo, cuando se trata de aplicaciones críticas, como la generación de vapor en centrales térmicas, se suele implementar una segunda etapa de ósmosis inversa. Este doble paso permite obtener un agua de mayor pureza, con conductividad muy baja y mínima presencia de sílice, condiciones esenciales para la operación segura de equipos de alta presión. Además, la configuración en dos pasos contribuye a optimizar la operación del sistema global, reduciendo el consumo de productos químicos en los procesos de pulido posteriores y extendiendo la vida útil de módulos complementarios, como los de electrodeionización.

Entre las principales ventajas de la ósmosis inversa se encuentra su elevada eficacia para remover contaminantes de naturaleza diversa, tales como iones, compuestos orgánicos, partículas, coloides, bacterias y virus, así como su capacidad para entregar una calidad de agua estable con bajos requerimientos de operación y mantenimiento. El proceso no necesita reactivos agresivos de forma rutinaria, y sus costos operativos son relativamente bajos en comparación con otros tratamientos de alta eficiencia. Sin embargo, las membranas presentan limitaciones relacionadas con el ensuciamiento y la formación de incrustaciones, especialmente si el agua de alimentación no cuenta con un pretratamiento adecuado. Para

evitar este problema, resulta fundamental la selección y diseño apropiado de barreras previas, tales como filtros multimedia, carbón activado y sistemas de microfiltración o filtración por bolsa, que aseguran la protección de las membranas y la estabilidad a largo plazo del sistema. En un sistema de ósmosis inversa, el flujo de agua que atraviesa la membrana se denomina permeado. Se trata del agua purificada, con baja concentración de sales y contaminantes, que continúa hacia las etapas posteriores del tratamiento. En contraste, la fracción que no atraviesa la membrana, donde se concentran las sales y demás impurezas retenidas, se conoce como concentrado o rechazo. Dependiendo del diseño del sistema, esta corriente puede recircularse, retornar a etapas previas o descartarse.

La relación entre el caudal de permeado y el caudal de alimentación define la recuperación del sistema, parámetro clave para equilibrar la eficiencia del proceso, el consumo de agua y la protección de las membranas. En aplicaciones industriales, y especialmente en configuraciones de doble paso como las utilizadas en plantas de generación de energía, la gestión adecuada del concentrado y la optimización de la recuperación resultan esenciales para garantizar un desempeño estable del sistema y preservar la vida útil de los equipos posteriores.

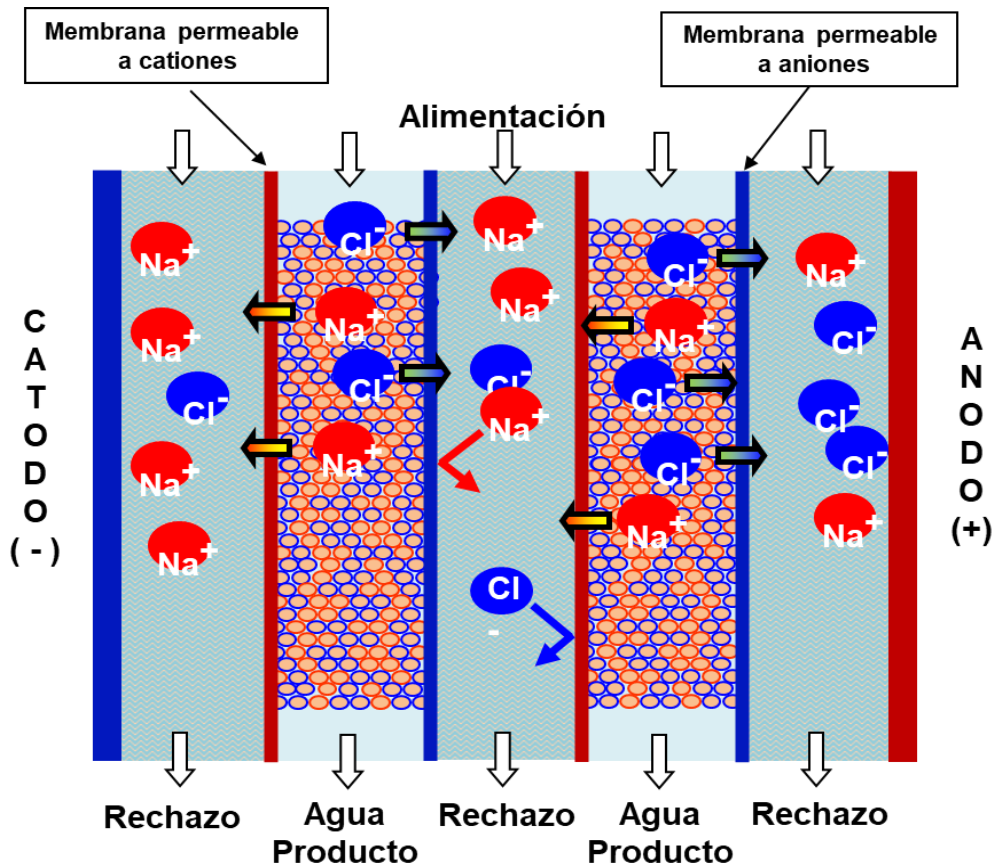
3.3 Electrodeionización (EDI)

La electrodeionización (EDI) es una tecnología avanzada de tratamiento de agua que combina el principio del intercambio iónico con la aplicación de un campo eléctrico continuo. El agua previamente desmineralizada mediante ósmosis inversa ingresa en módulos de EDI que contienen resinas de intercambio iónico y membranas selectivas para cationes y aniones. Bajo la acción del campo eléctrico, los iones presentes en el agua migran hacia electrodos específicos, atravesando las membranas y concentrándose en compartimentos separados, lo que permite obtener en la corriente de producto un agua de altísima pureza, con conductividades inferiores a $0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Una característica fundamental de esta tecnología es que las resinas se regeneran continuamente gracias al propio campo eléctrico, eliminando la necesidad de utilizar regenerantes químicos y reduciendo tanto los costos de operación como el impacto ambiental asociado al proceso. Esto convierte a la EDI en una alternativa eficiente y sustentable frente a los sistemas de lecho mixto tradicionales, especialmente en aplicaciones críticas que demandan agua ultrapura, como la industria farmacéutica, microelectrónica o generación de vapor en centrales térmicas.

Figura 3

Esquema del proceso EDI



Nota. Imagen tomada de una presentación interna de Hidrobiot SRL. Documento no publicado.

Entre sus principales beneficios se destacan la alta recuperación de agua, el bajo costo de operación, la ausencia de químicos regenerantes y el mantenimiento reducido, además de garantizar un agua libre de partículas y contaminación orgánica. Sin embargo, el desempeño óptimo de la EDI depende de que el agua de alimentación tenga una calidad adecuada, normalmente provista por una o dos etapas de ósmosis inversa.

El proceso de electrodeionización genera tres corrientes principales: el agua de producto, que corresponde al flujo purificado con baja conductividad; el agua de rechazo o concentrado, que arrastra los iones removidos y puede recircularse hacia etapas anteriores del proceso o purgarse parcialmente; y el electrolito, que circula en las cámaras adyacentes a los electrodos. Esta última corriente, el electrolito, tiene la función de mantener la conductividad eléctrica necesaria para el paso de corriente entre los electrodos y facilitar las reacciones electroquímicas de disociación del agua, generando iones de hidrógeno (H^+) e iones de hidróxidos (OH^-) que contribuyen a la regeneración continua de las resinas. Generalmente, el electrolito está compuesto por una solución de agua con trazas de sales o por la misma agua tratada del sistema, dependiendo del tipo de módulo y la configuración adoptada. Su

adecuada circulación es esencial para evitar la acumulación de gases y garantizar la estabilidad eléctrica y química del proceso.

En conjunto, el intercambio iónico, la ósmosis inversa y la electrodeionización representan una cadena tecnológica robusta y complementaria, en la que cada etapa cumple una función crítica y se apoya en la anterior para optimizar su desempeño. La selección y secuencia de estas tecnologías no solo responde a criterios técnicos, sino también a consideraciones económicas, ambientales y de seguridad operativa.

Mientras que el intercambio iónico aporta simplicidad y efectividad para el control de dureza, la ósmosis inversa asegura una reducción sustancial de sales y contaminantes, y la EDI permite alcanzar la máxima pureza con una operación continua y sustentable. Esta sinergia convierte a estos procesos en el estándar actual para la producción de agua de alta calidad, imprescindible en industrias de gran exigencia técnica.

4. Gestión de la calidad en los proyectos

La gestión de la calidad se abordó desde un enfoque de aseguramiento a lo largo de todo el ciclo de ingeniería, fabricación, montaje y puesta en marcha, y no únicamente mediante la verificación del producto final. En este marco, se definieron criterios de aceptación, puntos de inspección y mecanismos de trazabilidad para los procesos críticos, integrando actividades de control documental, inspecciones técnicas, ensayos y coordinación con el cliente.

Las acciones desarrolladas se estructuraron mediante un Plan de Inspección y Ensayos (PIE), que permitió sistematizar las actividades de control en las distintas etapas del proyecto y asegurar la conformidad técnica de equipos, materiales y documentación.

Previo a la descripción de las actividades desarrolladas, resulta necesario enmarcar el contexto en el que se llevaron a cabo, ya que estas se centraron en dos plantas de tratamiento de agua destinadas a la reposición de agua para la generación de energía en centrales térmicas.

El primer proyecto consistió en el diseño de una Planta de Tratamiento de Agua (PTA) basada en los principios de ósmosis inversa de doble paso y electrodeionización (EDI). La instalación, que ocupa un área aproximada de 300 m², se compone de diversas etapas de tratamiento destinadas a obtener calidades de agua específicas según las necesidades del proceso. En términos generales, la PTA incorpora un primer paso de ósmosis inversa con dos trenes de membranas (uno en servicio y otro en reserva), a partir del cual se obtiene agua blanda destinada tanto a la reposición del nivel de batea de las torres de enfriamiento como a la alimentación del segundo paso de ósmosis inversa. Este segundo paso, en combinación con una tercera etapa de electrodeionización, produce la calidad de agua requerida para la reposición de la caldera de alta presión.

Para el desarrollo de este proyecto, se analizó la calidad del agua de alimentación a la PTA, proveniente de pozos, cuya caracterización fue suministrada por el cliente. Posteriormente, se simuló el desempeño del sistema mediante un software especializado en membranas de ósmosis inversa, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requerimientos establecidos: obtener un caudal de 325 m³/h de agua blanda para reposición de torres y un caudal de 28,5 m³/h con una conductividad inferior a 1 µS/cm para la reposición de agua en la caldera.

A continuación, en la tabla 1, se presentan los caudales de alimentación, permeado y concentrado de cada una de las etapas, junto con la conductividad aproximada del permeado correspondiente.

Tabla 1

Caudales y conductividades aproximadas de las diferentes etapas

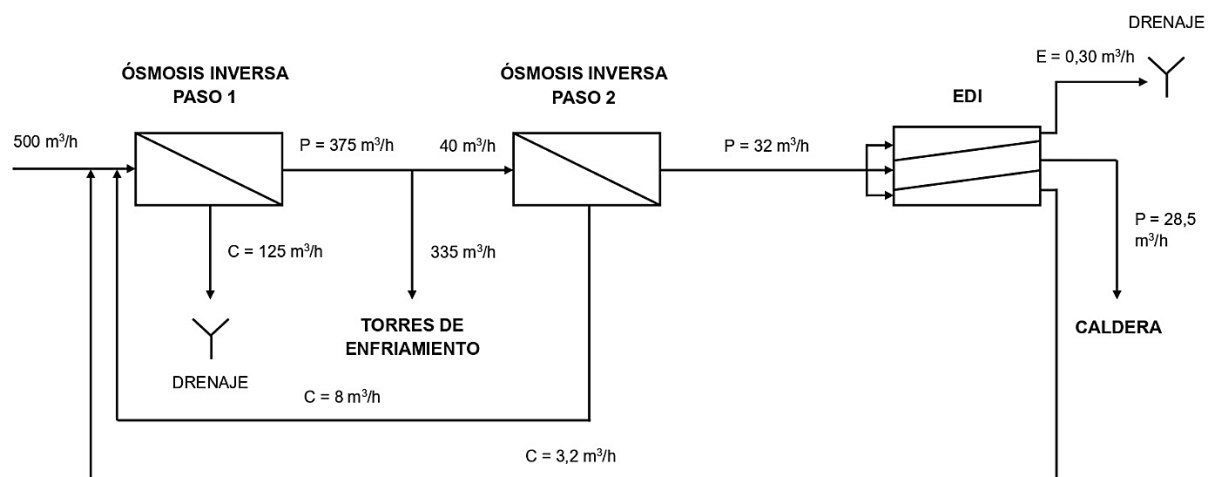
	Alimentación [m ³ /h]	Permeado [m ³ /h]	Concentrado [m ³ /h]	Conductividad aproximada en el permeado [μS/cm]
Ósmosis inversa, paso 1	500	375	125	40
Ósmosis inversa, paso 2	40	32	8	6
EDI	32	28,5	3,2	<1

Nota. Elaboración propia.

Es importante destacar que el rechazo generado en el primer paso del sistema de ósmosis inversa corresponde al volumen de agua que se deriva a drenaje, es decir, 125 m³/h. Sin embargo, para optimizar el uso del recurso, el diseño contempla un esquema de recirculación: tanto el concentrado del segundo paso como el concentrado de la etapa EDI se reintegran a la alimentación del primer paso. Esta configuración (Figura 4) permite reducir las pérdidas de agua, mejorar la eficiencia del sistema y garantizar una mayor recuperación del caudal tratado.

Figura 4

Esquema representativo del funcionamiento



Nota. Elaboración propia.

Además de las etapas principales mencionadas anteriormente, el sistema incorpora una serie de equipos y subsistemas auxiliares que resultan esenciales para garantizar su correcto funcionamiento y la protección de los componentes críticos, especialmente las membranas de ósmosis inversa.

En primer lugar, el equipo cuenta con cuatro filtros tipo bolsa, cada uno de ellos equipado con ocho bolsas filtrantes, cuya función es retener partículas y sólidos suspendidos que podrían ingresar al sistema y depositarse en las membranas, comprometiendo su desempeño. De forma complementaria, existe un quinto filtro de características similares instalado a la salida de la bomba destinada al proceso de limpieza CIP (Cleaning in Place – Limpieza in Situ). Este sistema CIP, integrado al equipo, permite la limpieza y desinfección periódica del tren de membranas mediante la recirculación de soluciones químicas y agua de enjuague, evitando la necesidad de desmontar los módulos y asegurando una recuperación eficiente de su rendimiento. Para ello, se dispone de un tanque exclusivo para la preparación de las soluciones de limpieza, junto con una isla de dosificación automática que no solo gestiona los químicos utilizados en el CIP, sino también la dosificación continua de antiincrustante requerida durante la operación normal del sistema. Asimismo, el diseño contempla la posibilidad de incorporar otros productos en caso de que el proceso lo requiera, manteniendo la flexibilidad operativa del sistema.

Figura 5

Vista frontal del equipo de OI doble paso con EDI en planta



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

Figura 6

Vista posterior del equipo de OI doble paso con EDI en planta



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

Por otra parte, la planta cuenta con diversos tanques cuya función es almacenar el agua proveniente de las distintas etapas del tratamiento. Entre ellos se encuentra el tanque que recibe el permeado del segundo paso de ósmosis inversa, el cual actúa como alimentación para la etapa de EDI. También se incluye el tanque destinado al almacenamiento del agua desmineralizada obtenida en la EDI, que posteriormente es enviada a la caldera de alta presión. Finalmente, existe un tanque adicional que recibe el concentrado del segundo paso de ósmosis inversa y el concentrado proveniente de la EDI; desde allí, este caudal es redirigido hacia la alimentación del primer paso, permitiendo su aprovechamiento y contribuyendo a incrementar la recuperación global del sistema.

Por otro lado, el segundo proyecto se centró en el diseño de una planta de ablandamiento de agua destinada a reducir la dureza mediante un proceso de intercambio iónico. La instalación está conformada por cuatro ablandadores que operan en paralelo, de los cuales tres permanecen en servicio mientras el cuarto se mantiene en reserva, garantizando una operación continua las 24 horas con un caudal total de 285 m³/h.

El ciclo de regeneración del sistema comprende cinco etapas: contralavado, asentamiento, regeneración, lavado lento y lavado rápido, cuya duración total es de aproximadamente 160 minutos (2 h 40 min). La regeneración se activa cuando se cumple alguna de las condiciones que la habilitan. La primera corresponde a que el ablandador haya alcanzado el límite de su capacidad de intercambio iónico, es decir, cuando la resina deja de capturar iones de dureza (principalmente calcio y magnesio). La segunda condición se presenta cuando la dureza del

agua supera un valor establecido previamente, lo que indica que la resina no está eliminando los iones de manera eficiente.

A diferencia del primer proyecto, esta planta está destinada exclusivamente a la producción de agua para las torres de enfriamiento. En este caso, la variable crítica es la dureza y no la conductividad, por lo que la verificación del desempeño del sistema se realiza mediante la comparación directa entre los valores de dureza en la entrada y en la salida del proceso.

Figura 7

Sistema de ablandamiento de agua en planta



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

En síntesis, ambos proyectos responden a la necesidad de asegurar el suministro de agua con las características adecuadas para los procesos de generación de energía en centrales térmicas. Mientras que el primer diseño se orientó a la obtención de agua de alta pureza para la reposición de calderas de alta presión, mediante tecnologías avanzadas como ósmosis inversa de doble paso y electrodeionización, el segundo se focalizó en la reducción de la dureza para la alimentación de las torres de enfriamiento mediante un sistema de intercambio iónico con operación continua.

De este modo, cada planta atiende requerimientos específicos del proceso industrial, complementándose en el objetivo común de garantizar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, condición indispensable para la eficiencia y confiabilidad en la operación de centrales térmicas.

A lo largo de ambos proyectos se desarrollaron actividades de aseguramiento y control de la calidad orientadas a garantizar la conformidad técnica de los equipos, materiales y documentación asociados. Estas actividades incluyeron la coordinación de ensayos, la verificación documental y la supervisión de procesos críticos, articuladas con las distintas áreas de la empresa y con la participación del cliente en los puntos de inspección definidos. En este marco, el Plan de Inspección y Ensayos constituyó la herramienta central para organizar, definir y documentar las actividades de control aplicadas tanto en planta como en obra. A continuación, se describen sus principales lineamientos y la forma en que se implementaron durante el desarrollo de los proyectos.

4.1 Plan de inspección y ensayos

Dentro de las funciones de la responsable de calidad, la elaboración y el seguimiento del Plan de Inspección y Ensayos (PIE) constituyeron una actividad central, partiendo de un esquema preliminar existente en la empresa, el cual fue reformulado y adaptado a los requerimientos específicos de cada cliente y proyecto, permitiendo organizar de manera sistemática las etapas del proceso a controlar, los parámetros a verificar y los métodos de ensayo aplicables en cada caso.

El PIE funcionó como una herramienta de gestión clave para coordinar las actividades de inspección entre las diferentes áreas de la empresa, los contratistas y el cliente. En él se establecieron los puntos de control y los criterios de aceptación, garantizando la conformidad de los productos y servicios con los requisitos contractuales.

Asimismo, se supervisaron y, cuando fue necesario, se ejecutaron las actividades requeridas para garantizar el cumplimiento del plan, tanto en la planta propia como en las instalaciones de los contratistas. Entre sus responsabilidades se incluyeron la coordinación de los ensayos e inspecciones, la verificación de la correcta utilización de los equipos de medición, el control del cumplimiento de los criterios de aceptación y la generación de la documentación necesaria (informes, registros y actas) para dejar evidencia de cada actividad.

La coordinación se sostuvo mediante una comunicación permanente con el área de calidad del cliente. Algunas verificaciones se realizaron de manera presencial y otras mediante videollamada, práctica que permitió supervisar tareas en tiempo real y evitar demoras en actividades críticas, especialmente considerando que los inspectores se encontraban distribuidos en distintas provincias y abocados a otros proyectos.

De este modo, el Plan de Inspección y Ensayos se consolidó como un marco de control integral que permitió reducir riesgos, optimizar tiempos y garantizar la calidad final de los proyectos.

En síntesis, el PIE contempló la definición de los siguientes elementos:

- Variables o actividades a controlar
- Documentos de referencia
- Criterios de aceptación o requerimientos del cliente
- Equipos de inspección o ensayo
- Puntos de control (recepción, proceso y/o producto terminado)
- Tipos y métodos de inspección y ensayo
- Verificación, registros y documentación
- Frecuencia de inspección o ensayo
- Responsables

En las Figuras 8 y 9, se presenta como ejemplo el Plan de Inspección y Ensayos correspondiente al sistema de ablandamiento de agua. Este documento fue adaptado para resguardar información confidencial entre Hidrobiot y el cliente, manteniendo su estructura original. En él se pueden observar todos los elementos previamente descritos, organizados según las etapas que componen el proyecto: ingeniería, fabricación, ensayos no destructivos, pintura, despacho, montaje, controles, testeos y puesta en marcha.

Este ejemplo permite visualizar de manera práctica cómo se estructuraron los controles, los métodos de verificación y la documentación generada en cada fase del proceso, reflejando la aplicación sistemática de los principios de aseguramiento y control de la calidad definidos en el plan y alineados con los principios de gestión de la calidad establecidos en normas internacionales.

En el PIE expuesto se evidencia también la interacción permanente con el cliente. Gran parte de las tareas vinculadas a la documentación técnica, tanto del proyecto como de la calificación de soldadura y los ensayos no destructivos, se desarrollaron de manera conjunta, dado que toda la documentación debía ser revisada y aprobada antes de avanzar en cada etapa de fabricación. Este mecanismo garantizó que todas las actividades se ejecutaran bajo criterios consensuados y plenamente trazables.

Si bien la ejecución de los ensayos no destructivos era responsabilidad de Hidrobiot, el responsable de calidad del cliente se mantuvo informado en todo momento respecto de los métodos aplicados, los resultados obtenidos y, cuando fue posible, participó de manera presencial o virtual en las evaluaciones. Por ejemplo, previo a la realización de los ensayos en los tanques se remitieron los procedimientos para su aprobación formal; del mismo modo, la empresa contratista encargada de ejecutar los ensayos de líquidos penetrantes y radiografía industrial debió presentar sus propios procedimientos para su validación. Asimismo, se acordó en conjunto la cantidad de ensayos a realizar en cada etapa. En el caso


de los tanques ablandadores, se efectuó el control dimensional correspondiente y se generaron los registros que evidenciaban el cumplimiento de los requisitos establecidos. Un ejemplo de dicha documentación se presenta en la sección de anexos.

La gestión y verificación de los certificados de calidad resultó especialmente relevante, ya que constituyen la evidencia primaria de conformidad de los componentes adquiridos. Muchos elementos fueron aprobados mediante inspección visual complementada con certificación de origen, entre ellos bombas, membranas, filtros, válvulas, instrumentación, elementos eléctricos y materiales metálicos tanto en acero al carbono como en acero inoxidable.

Finalmente, el despacho de los equipos representó una etapa crítica dentro del PIE, ya que todas las piezas debían llegar a obra en condiciones óptimas para garantizar un montaje adecuado. La preparación, protección y verificación del embalaje resultaron esenciales para asegurar que cada componente pudiera instalarse conforme a la documentación técnica y sin comprometer el funcionamiento del sistema.

Figura 8

PIE del sistema de ablandamiento de agua (adaptado)


	PLAN DE INSPECCION Y ENSAYOS	DOCUMENTO N°: AAA-000-BB-CC-1111-023	Pág. 2 de 3
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SKID QUÍMICOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO		

ITEMS	DESCRIPCION Variable a Controlar/ Actividad a Controlar	DOCUMENTOS ASOCIADOS			INSPECCIÓN								
		Documentos de referencia	Criterio de aceptación (Requerimiento)	Equipo de inspección	Punto de control			Tipo de inspección	Verificación	Inspección	Responsable	Observaciones	Firma
					R	P	PT						
1 INGENIERÍA													
1.1	Documentación técnica	AAA-000-BB-CC-1111-001	Cumplir requisitos del cliente	Comparativa con documentos y especificaciones involucradas		X	X	Revisión de documentos	Aprobación del cliente	Cada vez que se confecciona un nuevo documento	Hidrobiot / Cliente		
1.2	Aprobación de diseño	AAA-000-BB-CC-1111-007 AAA-000-BB-CC-1111-008 AAA-000-BB-CC-1111-009 AAA-000-BB-CC-1111-010	Cumplir requisitos del cliente	N/A		X	X	Revisión de documentos	Aprobación del cliente	Cada vez que se confecciona/modifica un documento de referencia	Cliente		
1.3	Especificación de procedimiento de soldadura	WPS	Cumplir requisitos	Actividad tercerizada		X	X	Revisión de documentos	PQR	Requerimientos cliente	Hidrobiot / Cliente		
2 FABRICACIÓN													
2.1 CONTROL DE MATERIALES													
2.1.1	Recepción e inspección de materiales genéricos	Ordenes de compra / remito proveedor	Coincidencia entre lo requerido con la OC	Remito proveedor, orden de compra, lista de materiales requeridos	X			Inspección visual y revisión de documentos	Corroborar que coincidan cantidades y especificaciones de la OC con remito, luego realizar inspección visual del pedido	Recepción de materiales	Hidrobiot		
2.1.2	Certificado de aceros	Especificación técnica del proveedor	Especificaciones del cliente	Certificado de inspección/calidad del proveedor	X			Revisión de documentos	El certificado de inspección/calidad debe respaldar las especificaciones requeridas	Documentos de calidad	Empresa contratista / Hidrobiot		
2.1.3	Bombas	AAA-000-BB-CC-1111-012	Especificaciones del cliente	Ficha técnica del proveedor, OC y remito	X			Revisión de documentos	Certificado de curvas de funcionamiento	Documentos de calidad	Hidrobiot		
2.1.4	Válvulas	AAA-000-BB-CC-1111-013	Coincidencia entre lo requerido y la OC	Certificado de inspección/calidad del fabricante, inspección visual	X			Inspección visual y revisión de documentos	Certificado de inspección/calidad del producto	Documentos de calidad	Hidrobiot		
2.2 FABRICACIÓN MECÁNICA													
2.2.1	Preparación de materiales	OC, listados de materiales varios	Cumplir con los requisitos	Acopio de materiales en el lugar establecido para el proyecto	X			Control in situ	Control de stock utilizando OC como lista de verificación	Recepción de materiales	Hidrobiot		
2.2.2	Construcción de tanques ablandadores	AAA-000-BB-CC-1111-029	Cumplir el diseño aprobado mediante el documento de referencia	Elementos de medición		X	X	Control in situ	Control dimensional	Requerimientos cliente	Hidrobiot		
2.2.3	Armado de cañerías	AAA-000-BB-CC-1111-020	Cumplir lo aprobado mediante el documento de referencia	Revisión de nivelación y control de armado		X	X	Control in situ	Respetar el diseño del documento de referencia	Requerimientos cliente	Hidrobiot		
2.2.4	Documentación de soldaduras	WPS, PQR, WPQ	Cumplir con los requisitos de calidad mínimos impuestos por el código ASME	WPQ		X	X	Revisión de documentos	WPQ	Documentos de calidad	Hidrobiot / Cliente		
2.2.5	Soldaduras	AAA-000-BB-CC-1111-026	Cumplir con la calidad de soldadura requerida	END		X	X	Revisión de documentos	Aprobación de los ensayos no destructivos, WPS, WPQ	Documentos de calidad e informes de END	Hidrobiot / Cliente		

Nota. Elaboración propia con información interna de Hidrobiot SRL.

Figura 9

PIE del sistema de ablandamiento de agua (adaptado) – continuación

	PLAN DE INSPECCION Y ENSAYOS	DOCUMENTO N°:	AAA-000-BB-CC-1111-023	Pág.
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA SKID QUÍMICOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO	Rev.:		0

ITEMS	DESCRIPCION	DOCUMENTOS ASOCIADOS			INSPECCIÓN								
	Variable a Controlar/ Actividad a Controlar	Documentos de referencia	Criterio de aceptación (Requerimiento)	Equipo de inspección	Punto de control			Tipo de inspección	Verificación	Inspección	Responsable	Observaciones	Firma
					R	P	PT						
2.3	FABRICACIÓN ELÉCTRICA												
2.3.1	Tablero eléctrico	AAA-000-BB-CC-1111-015 AAA-000-BB-CC-1111-016 AAA-000-BB-CC-1111-017 AAA-000-BB-CC-1111-018 AAA-000-BB-CC-1111-019	Cumplir con los documentos de referencia	Elementos de medición		X	X	Control in situ	Realizar un control con los documentos de referencia	Requerimientos cliente	Hidrobiot		
3	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / PH												
3.1	END	API / ASME	Según norma y código	Radiografía, inspección visual y líquidos penetrantes		X		Inspección visual y revisión de documentos	Informes de END	Requerimientos cliente	Hidrobiot	Tk ablandadores: 100% LP Cañerías acero: 10% END (LP y RI), para liberar lotes según corresponda	
3.2	Prueba hidráulica tanques ablandadores	ASME VIII-1	Según código	Bomba hidráulica y accesorios		X		Hidráulica	Control de pérdidas	Requerimientos cliente	Hidrobiot		
4	PINTURA												
4.1	Esquema de pintura	AAA-000-BB-CC-0003	Cumplir con el documento de referencia	Elementos de medición		X	X	Control in situ	Respetar condiciones establecidas en el documento de referencia	Requerimientos cliente	Hidrobiot		
5	DESPACHO												
5.1	Embalaje	N/A	Deberá contar con el correcto embalaje de manera tal que garantice la recepción del material en perfectas condiciones	Registro fotográfico		X		Embalaje	Correcto embalaje	Embalaje transporte	Hidrobiot		
5.2	Carga/transporte	N/A	Equipos e insumos correspondientes	N/A		X		Inspección visual	Lista de verificación	Inspección de la carga/transporte	Hidrobiot		
6	MONTAJE DE EQUIPOS												
6.1	Montaje e instalación	AAA-000-BB-CC-1111-006 AAA-000-BB-CC-1111-008 AAA-000-BB-CC-1111-010	Especificaciones del cliente	N/A		X	X	Requerimientos diarios	Aprobación del cliente	Según avance	Hidrobiot		
7	CONTROLES Y TESTEOS												
7.1	Válvulas	AAA-000-BB-CC-1111-013 AAA-000-BB-CC-1111-017	Especificaciones del cliente	Prueba SAT		X		Pruebas de funcionamiento	Inexistencias de fugas, correcta apertura	Puesta en marcha	Hidrobiot		
7.2	Bombas	Ficha técnica de la bomba	Valores dentro del rango establecido como "funcionamiento normal"	Prueba SAT		X		Pruebas de funcionamiento	Correcto funcionamiento	Puesta en marcha	Hidrobiot		
8	PUESTA EN MARCHA												
8.1	Inspección final	AAA-000-BB-CC-1111-032	Especificaciones del cliente	Elementos de medición			X	Pruebas de funcionamiento	Aprobación del cliente	Puesta en marcha	Hidrobiot / Cliente		

REFERENCIAS

Punto de control	R	Recepción
	P	Proceso
	PT	Producto Final

Nota. Elaboración propia con información interna de Hidrobiot SRL.

En síntesis, la implementación del Plan de Inspección y Ensayos permitió establecer un esquema de control estructurado, trazable y alineado con los requisitos técnicos del proyecto. Su aplicación sistemática permitió coordinar eficientemente a todas las partes involucradas, reducir la variabilidad en la ejecución, prevenir desviaciones tempranas y asegurar que cada equipo fabricado cumpliera con los estándares exigidos.

El PIE actuó como el eje central del aseguramiento de la calidad desde la ingeniería hasta la puesta en marcha.

Finalizada su descripción, se presenta a continuación la sección correspondiente a la documentación y calificación de soldaduras, aspecto fundamental para garantizar la integridad mecánica, la seguridad operativa y la trazabilidad de las uniones realizadas durante la fabricación.

4.2 Documentación y calificación de soldadura

Dentro de las tareas de la responsable de calidad se incluyó la gestión y el control de toda la documentación vinculada a los procesos de soldadura, asegurando la trazabilidad y el cumplimiento de los requisitos contractuales. Una de las tareas centrales fue la calificación de los soldadores, inicialmente realizada por un inspector de soldadura Nivel II. Esta calificación no fue definitiva, sino que requería revalidación periódica cada seis meses, la cual se efectuó bajo la supervisión de la responsable de calidad mediante inspecciones visuales de los trabajos ejecutados y, cuando correspondía, a través de ensayos no destructivos (END).

Para respaldar la competencia del personal, se gestionaron tres documentos principales:

WPS (Welding Procedure Specification): especificación del procedimiento de soldadura, donde se establecen los parámetros técnicos que deben seguir los soldadores (materiales, posiciones, tipo de junta, parámetros de máquina, consumibles, entre otros).

PQR (Procedure Qualification Record): registro de calificación del procedimiento, que documenta los resultados de las pruebas realizadas para demostrar que el procedimiento propuesto es apto para producir soldaduras de calidad aceptable.

WPQ (Welder Performance Qualification): calificación de desempeño del soldador, que certifica que un soldador específico puede ejecutar soldaduras conformes a los parámetros del WPS.

En total, fueron calificados seis soldadores pertenecientes a Hidrobiot, asignando a cada uno un cuño o marca de identificación personal en el WPQ correspondiente. En estos proyectos el cuño no se estampó físicamente en las cañerías o componentes, sino que se utilizó como referencia documental, principalmente para la confección del mapa de soldaduras de cada equipo.

Asimismo, la documentación de soldadura fue objeto de revisión y control continuo. Un caso particular se presentó con un soldador de una empresa contratista, encargado de realizar soldaduras en acero al carbono. En dicha situación se verificó previamente su calificación, asegurando que cumpliera con los requisitos técnicos y normativos del proyecto antes de autorizar su intervención.

Antes de detallar el mapa de soldaduras, es importante aclarar que, en el contexto de fabricación y montaje, un spool es un conjunto prefabricado de cañerías, accesorios y, en algunos casos, soportes, armado en taller siguiendo los planos de fabricación para su posterior instalación en obra. Esta metodología permite realizar controles dimensionales, inspecciones y ensayos de soldadura en un ambiente controlado, reduciendo riesgos de defectos y reprocesos. Cada spool contiene varias juntas soldadas y se trata como una unidad identificable, lo que facilita el transporte, el control de calidad y la trazabilidad del montaje.

En estos proyectos, el mapa de soldaduras se elaboró a partir de los planos de fabricación, donde cada junta fue identificada mediante un código único asociado al spool correspondiente. A cada uno de esos códigos se vinculó el cuño del soldador responsable, permitiendo trazar con precisión qué operario ejecutó cada unión, qué procedimiento utilizó y en qué ubicación exacta del equipo se encuentra.

El registro incluyó, además:

- Tipo de costura (filete o tope)
- Detalle y material de la cañería o accesorio soldado
- Material de aporte utilizado
- Ensayos aplicados (inspección visual, líquidos penetrantes y/o radiografía industrial)
- Fechas de ejecución
- Resultados de inspecciones, reparaciones o liberaciones finales, cuando correspondió.

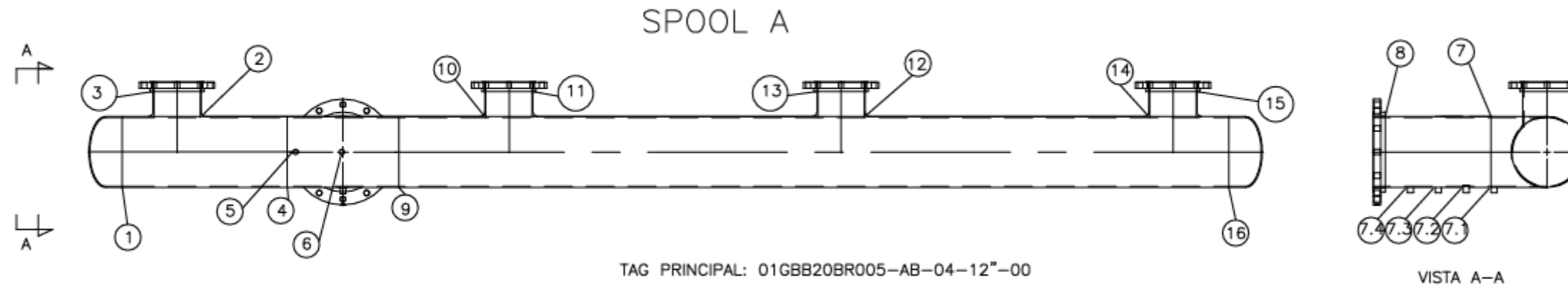
La correcta gestión de esta información no solo permitió cumplir con las especificaciones del cliente, sino que resultó clave para garantizar la integridad de las uniones soldadas, prevenir fallas en servicio y reducir riesgos operativos. El registro documental facilitó el seguimiento de cada soldadura hasta el personal que la ejecutó y el procedimiento aplicado, permitiendo

dar respuesta durante auditorías, observaciones o eventuales no conformidades. Asimismo, la actualización periódica de las calificaciones aseguró mantener un nivel de competencia adecuado en los recursos humanos asignados, evitando reprocesos, pérdidas de tiempo y sobrecostos.

Cabe destacar que la elaboración del mapa de soldaduras y la sistematización de la trazabilidad documental no formaban parte de las prácticas previas de la empresa y fueron implementadas por la responsable de calidad en el marco de estos proyectos, constituyendo una mejora en los mecanismos de control y aseguramiento de la calidad.

Seguidamente, en la Figura 10 se presenta el spool **A** correspondiente a la hoja 1 del mapa de soldaduras del equipo de ósmosis inversa, donde se visualizan todas las juntas soldadas debidamente referenciadas. A continuación, en la Figura 11, se detalla la información asociada a cada una de ellas, permitiendo verificar la trazabilidad completa de las uniones soldadas.

Figura 10
Spool A – Hoja 1 del mapa de soldaduras



Nota. Extracto de plano técnico proporcionado por Hidrobiot SRL, no publicado.

Figura 11
Detalle de la información técnica correspondiente a las juntas soldadas del spool A – Hoja 1

SOLDADURAS DE CAÑERÍAS																														
					Planta de tratamiento de agua Proyecto: cierre de los ciclos combinados Documento: AAA-000-BB-CC-1111-034																									
					DATOS DE SOLDADURA															ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS				SOLDADURA						
Costura	Sistema	Línea	Spool	Hoja del documento	Diámetro costura (")	Tipo	Proceso	Schedule	(SW/FW)	Rep. (0, 1, 2, N)	PARTE 1		PARTE 2		END	MATERIAL	WPS	Material de aporte		Soldadores		Fecha	LOTE	Inspección visual	Líquidos penetrantes (LP)		Radiografía industrial (RI)		Fecha informe	Firma inspector
											Descripción	Material base	Descripción	Material base				Raíz	Relleno/terminación	Raíz	Relleno				N° informe	AP/P?	N° informe	AP/P?		
1	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	0	BW	GTAW	10S	SW	1	Casquete	ASTM A403	Caño	ASTM A312	RX	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	6/1/2023	L-2RI	OK			CR-12364-0	RZ	27/4/2023	
1	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	12	BW	GTAW	10S	SW	1	Casquete	ASTM A403	Caño	ASTM A312	RX	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	6/1/2023	L-2RI	OK			RI-6367-0	AP	22/5/2023	
2	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Caño	ASTM A312	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	2/1/2023	L-6LP	OK						
3	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Brida	ASTM A182	Caño	ASTM A312	LP	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	27/4/2023	L-13LP	OK	LP-4918	AP			28/5/2023	
4	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	12	BW	GTAW	10S	SW	0	Caño	ASTM A312	Tee	ASTM A403	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	5/1/2023	L-2RI	OK						
5	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	1/2	Filete	GTAW	10S	SW	0	Cupla	DIN 2986	Tee	ASTM A403	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	26/4/2023	L-14LP	OK						
6	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	1/2	Filete	GTAW	10S	SW	0	Cupla	DIN 2986	Tee	ASTM A403	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	26/4/2023	L-14LP	OK						
7	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	12	BW	GTAW	10S	FW	0	Caño	ASTM A312	Tee	ASTM A403	LP	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-05	C-05	27/6/2023	L-14RI/LP	OK	LP2183	AP			24/8/2023	
7.1	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	3/4	Filete	GTAW	10S	FW	0	Caño	ASTM A312	Cupla	DIN 2986	LP	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-05	C-05	30/6/2023	L-33LP	OK	LP2184	AP			24/8/2023	
7.2	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	3/4	Filete	GTAW	10S	FW	0	Caño	ASTM A312	Cupla	DIN 2986	LP	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-05	C-05	30/6/2023	L-33LP	OK	LP2184	AP			24/8/2023	
7.3	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	1/2	Filete	GTAW	10S	FW	0	Caño	ASTM A312	Cupla	DIN 2986	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-05	C-05	7/7/2023	L-33LP	OK						
7.4	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	1	Filete	GTAW	10S	FW	0	Caño	ASTM A312	Cupla	DIN 2986	LP	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-05	C-05	7/7/2023	L-33LP	OK	LP2184	AP			24/8/2023	
8	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	12	Filete	GTAW	10S	FW	0	Brida	ASTM A182	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-05	C-05	28/6/2023	L-33LP	OK						
9	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	12	BW	GTAW	10S	SW	0	Tee	ASTM A403	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	4/1/2023	L-2RI	OK						
10	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Caño	ASTM A312	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	3/1/2023	L-7LP	OK						
11	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Brida	ASTM A182	Caño	ASTM A312	LP	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	27/4/2023	L-14LP	OK	LP-4918	AP			28/5/2023	
12	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Caño	ASTM A312	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	3/1/2023	L-7LP	OK						
13	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Brida	ASTM A182	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	27/4/2023	L-14LP	OK						
14	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Caño	ASTM A312	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	4/1/2023	L-7LP	OK						
15	01GBB20BR005	01GBB20BR005-AB-04-12"-00	A	1	8	Filete	GTAW	10S	SW	0	Brida	ASTM A182	Caño	ASTM A312	-	Acero inox.	EPS-HID-01/16	ER308L	ER308L	C-06	C-06	27/4/2023	L-15LP	OK						

Nota. Elaboración propia con información interna de Hidrobiot SRL.

Para interpretar el contenido de la tabla correspondiente al spool A, se analiza a modo de ejemplo el cordón de soldadura N° 1. Allí se identifica el código del sistema (01GBB20BR05) y la línea donde se encuentra la cañería (01GBB20BR05-AB-04-12"-00), información tomada del P&ID (Diagrama de Tuberías e Instrumentación), que forma parte de la documentación técnica del proyecto. También se indica que pertenece al spool A, hoja 1 del mapa de soldaduras.

En cuanto a los parámetros técnicos, se observa que la junta corresponde a una cañería de 12" de diámetro, soldada a tope mediante proceso TIG con espesor asociado a Schedule 10S (4,57 mm). La soldadura fue realizada en planta (sigla SW – Shop Weld), de haber sido ejecutada en obra, la sigla sería FW – Field Weld. Esta costura tuvo una reparación y corresponde a la unión de un casquete ASTM A403 con un caño ASTM A312. Para su inspección se aplicó radiografía industrial.

El material de aporte utilizado fue ER308L, tanto para la raíz como para la terminación, siguiendo la especificación EPS-HID-01/16. La soldadura fue ejecutada por el soldador identificado con cuño C-06, con fecha de ejecución 06/01/2023, y fue asignada al lote L-2RI tras superar la inspección visual.

Respecto del END aplicado, la primera radiografía industrial (informe CR-12364-0, fecha 27/04/2023) fue rechazada por la empresa contratista. La segunda radiografía (informe RI-6367-0, fecha 22/05/2023) resultó aprobada. Por este motivo, en la Figura 10 se observa la repetición de la línea correspondiente al cordón de soldadura N° 1, con una de ellas identificada en color rojo para reflejar la reparación. Conforme a los requisitos del proyecto, en la fila asociada al ensayo rechazado el diámetro de la soldadura debe registrarse como "0".

La gestión integral de la documentación de soldadura, junto con la elaboración del mapa de soldaduras y el control de las calificaciones del personal, permitió asegurar la trazabilidad completa de cada unión y constituyó una base fundamental para la planificación y ejecución de los ensayos no destructivos aplicados durante el proyecto.

En la siguiente sección se describen en detalle los distintos ensayos no destructivos utilizados para evaluar la calidad de las soldaduras.

4.3 Ensayos no destructivos

En el marco de estos proyectos, debido a que no se realizaban estas prácticas previamente, la responsable de calidad definió los criterios de muestreo y coordinó la contratación de los servicios de ensayos no destructivos. Asimismo, estableció los mecanismos de registro y trazabilidad de los resultados, en concordancia con los requisitos contractuales del cliente.

Con el objetivo de garantizar la integridad, confiabilidad y trazabilidad de todas las uniones soldadas, se aplicaron distintos métodos de END. La inspección visual se realizó de manera sistemática sobre el 100% de las soldaduras, constituyendo el primer control de calidad. Además, según el tipo de junta (filete o tope) y los requerimientos del cliente, se aplicaron métodos complementarios: líquidos penetrantes para la detección de discontinuidades superficiales y radiografía industrial para la identificación de defectos internos.

Estos métodos adicionales se aplicaron sobre un muestreo equivalente al 10% de las soldaduras de cada lote, conformado por fecha y soldador. Cuando los resultados fueron satisfactorios, el lote era liberado; en caso contrario, se incrementaba el muestreo hasta evaluar la totalidad del lote si era necesario. Este esquema de control permitió asegurar la calidad de las juntas, prevenir fallas en servicio y mantener la trazabilidad documental exigida por el proyecto.

Por otra parte, también se realizaron pruebas hidráulicas para verificar la resistencia, hermeticidad e integridad estructural de los tanques sometidos a presión. Estas pruebas resultaron esenciales para detectar posibles fugas o deformaciones antes de aplicar el recubrimiento interno y externo, asegurando así la confiabilidad del equipo durante su operación.

A continuación, se detallan los procedimientos aplicados para cada uno de los métodos de END utilizados: inspección visual (VT), líquidos penetrantes (LP), radiografía industrial (RI) y prueba hidráulica (PH).

4.3.1 Inspección visual

Dentro de las actividades de la responsable de calidad, la inspección visual constituyó una herramienta fundamental para asegurar la conformidad de los procesos y materiales en cada etapa del proyecto.

Este método, aplicado al 100% de las uniones soldadas, permitió identificar de manera temprana discontinuidades superficiales. Cabe señalar que, previo a estos proyectos, la evaluación de las soldaduras se realizaba principalmente con un criterio estético y de apariencia superficial, sin un enfoque orientado a la detección de discontinuidades que pudieran comprometer la integridad de las uniones. En el marco de estos proyectos, la inspección visual fue formalizada como una etapa sistemática del aseguramiento de la calidad.

Las inspecciones incluyeron la evaluación de aspectos tales como:

- Uniformidad del cordón, perfil y geometría de la soldadura,
- Presencia de indicaciones superficiales (poros, mordeduras, socavados, inclusiones, falta de fusión superficial),
- Alineación entre componentes,
- Limpieza previa y posterior a la soldadura.

Estas verificaciones se realizaron tanto en la planta propia como en las instalaciones de los contratistas, siguiendo criterios de aceptación acordados con el cliente y basados en los procedimientos aprobados para cada tipo de junta. En aquellos casos en que era posible acceder al interior de la cañería, se emplearon recursos complementarios, como endoscopios y espejos de distintos tamaños, que permitieron observar la cara interna de las soldaduras y confirmar su adecuada ejecución desde ambas superficies.

La inspección visual cumplió así un doble propósito: actuar como primera barrera de control para detectar no conformidades antes de avanzar a otros métodos de ensayo y, a su vez, validar la correcta ejecución de las reparaciones cuando fueron necesarias. Su aplicación sistemática permitió garantizar que el conjunto de soldaduras evaluadas presentara condiciones adecuadas para su liberación o para la realización de ensayos no destructivos complementarios.

Si bien la inspección visual permitió detectar discontinuidades superficiales evidentes y verificar la conformidad geométrica de las soldaduras, su alcance es limitado frente a defectos de menor tamaño o difícil apreciación. Por este motivo, se incorporaron métodos de ensayos no destructivos complementarios, comenzando con el método de líquidos penetrantes, que permitió profundizar el control de calidad en las uniones soldadas.

4.3.2 Líquidos penetrantes

El método de líquidos penetrantes (LP) se utilizó para la detección de discontinuidades superficiales en las soldaduras de cañerías, especialmente en aquellas configuraciones donde la radiografía industrial no era aplicable, como las uniones a filete. El procedimiento se ejecutó siguiendo las etapas establecidas para este método: limpieza y preparación de la superficie, aplicación del penetrante, remoción del excedente, aplicación del revelador y posterior evaluación bajo condiciones de iluminación controladas.

Estas inspecciones fueron realizadas por una empresa contratista especializada, responsable de llevar a cabo las tareas y emitir los informes correspondientes, los cuales sirvieron como respaldo documental de los resultados obtenidos.

La selección de las juntas a inspeccionar en cañerías se realizó en base al mapa de soldaduras, el cual identificaba el tipo de unión, su ubicación y el soldador responsable. En ambos proyectos, se estableció un plan de muestreo equivalente al 10% de las soldaduras ejecutadas. Los lotes fueron conformados por soldador, considerando la fecha de ejecución. Cada lote comprendía diez juntas soldadas, de las cuales se seleccionaba una para ser inspeccionada mediante el método de líquidos penetrantes.

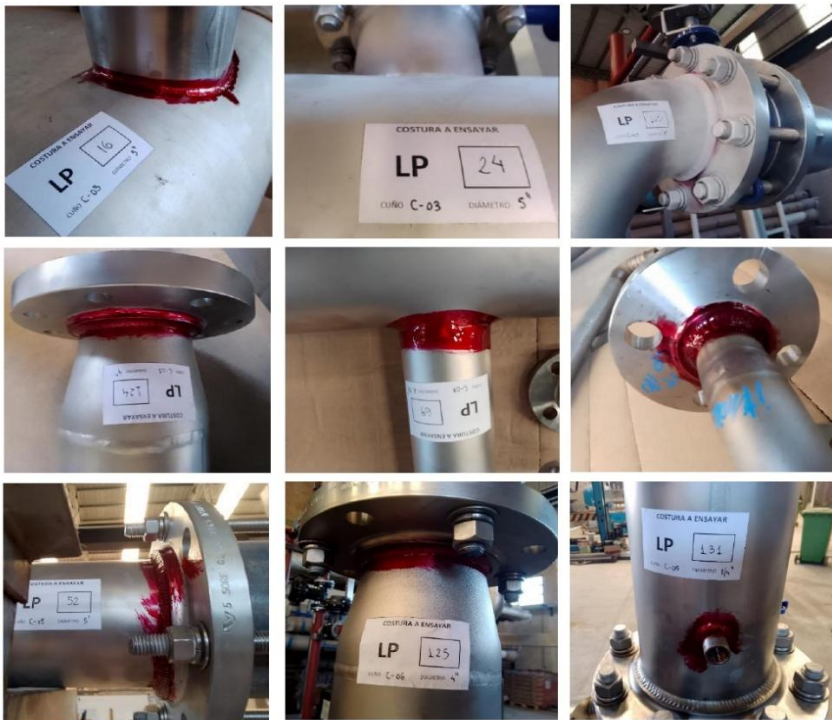
Si el resultado de esta inspección era conforme, el lote completo se consideraba aprobado. En caso de detectarse discontinuidades, la soldadura afectada debía ser reparada y sometida nuevamente a ensayo. Además, se ampliaba el alcance de la inspección, incorporando dos soldaduras adicionales del mismo lote. Si alguna de ellas presentaba nuevas no conformidades, el lote completo debía ser sometido a inspección. Bajo esta condición, el cliente se reservaba el derecho de suspender al soldador involucrado hasta determinar la causa y aplicar las medidas correctivas necesarias.

Cabe destacar que, en estos proyectos, las inspecciones mediante LP no registraron resultados negativos, por lo que no fue necesario ampliar los muestreos ni aplicar restricciones adicionales al personal calificado.

En el primer proyecto, el porcentaje de muestreo del 10% fue establecido por el cliente como requisito. En el segundo proyecto, dicho criterio fue propuesto por la responsable de calidad, quien evaluó su aplicabilidad técnica y operativa y gestionó su aprobación con el cliente en función de la criticidad de las uniones y del volumen de fabricación. Asimismo, la responsable de calidad realizó la selección y evaluación de los proveedores de ensayos no destructivos, coordinó la ejecución de las inspecciones y efectuó el seguimiento de la emisión de informes y registros fotográficos. La presencia durante la ejecución de los ensayos permitió resolver consultas técnicas en tiempo real y asegurar la correcta aplicación de los procedimientos aprobados.

Figura 12

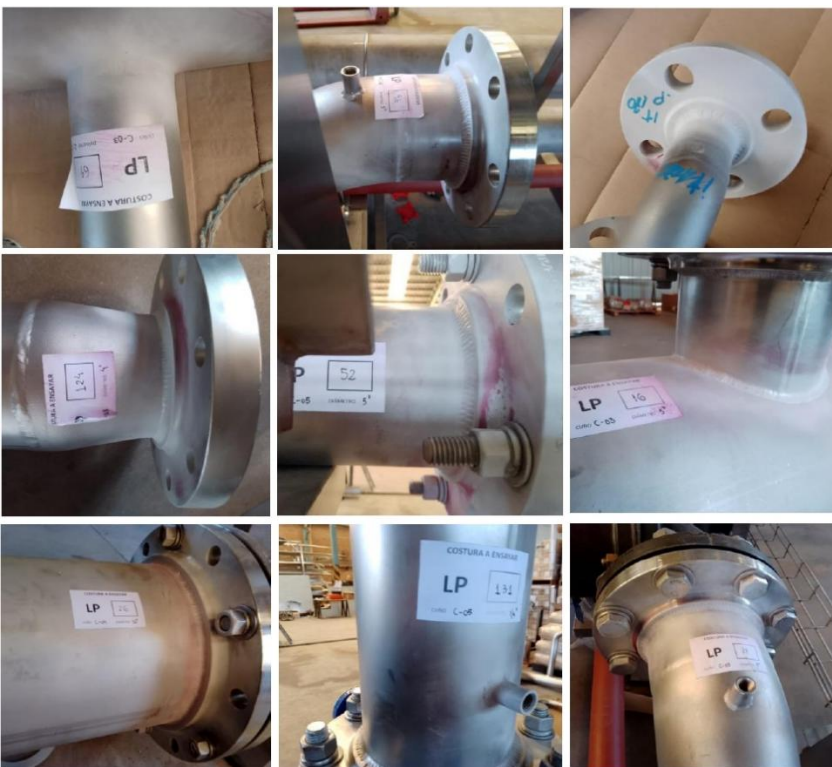
Registro fotográfico de informe de LP en cañerías con líquido penetrante aplicado



Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

Figura 13

Registro fotográfico de informe de LP en cañerías con revelador aplicado

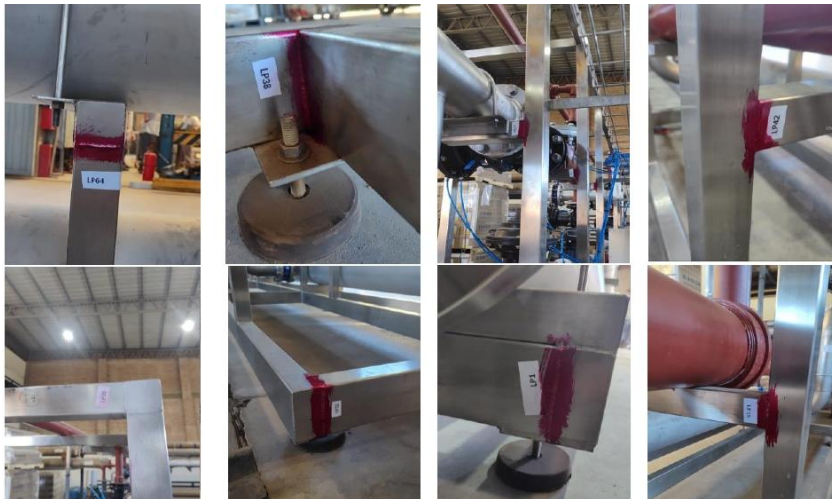


Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

En el caso de las estructuras metálicas, las inspecciones se realizaron exclusivamente mediante el método de líquidos penetrantes. La selección de las juntas a evaluar se definió en función de la criticidad de cada unión, variando el criterio según el proyecto. En algunos casos, la determinación estuvo a cargo del responsable de calidad designado por el cliente; en otros, la selección fue realizada por el equipo técnico de Hidrobiot, priorizando aquellas uniones sometidas a mayores solicitaciones o ubicadas en puntos estructuralmente relevantes.

Figura 14

Registro fotográfico de informe de LP en estructura con líquido penetrante aplicado



Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

Figura 15

Registro fotográfico de informe de LP en estructura con revelador aplicado



Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

Finalmente, para los tanques ablandadores fabricados en acero al carbono, la totalidad de las soldaduras fue inspeccionada mediante LP antes de realizar las pruebas hidrostáticas. Este procedimiento tuvo como objetivo garantizar la estanqueidad y confirmar la ausencia de defectos superficiales, aspectos que se desarrollarán con mayor detalle en la sección correspondiente a pruebas hidráulicas.

Figura 16

Registro fotográfico de informe de LP en tanque ablandador



Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

Ventajas:

- Permite detectar discontinuidades superficiales como grietas, porosidad abierta, falta de fusión o fisuras.
- Método relativamente económico, rápido y de fácil implementación.
- Aplicable en geometrías complejas o superficies de difícil acceso.
- No requiere equipos voluminosos ni radiación ionizante.

Limitaciones:

- Solo permite detectar defectos superficiales, no internos.
- Requiere una preparación adecuada de la superficie, limpia y seca, para evitar falsos indicios.
- Sensible a las condiciones de iluminación y a la correcta aplicación del revelador.
- No siempre permite cuantificar la profundidad o severidad de la discontinuidad.

Al mismo tiempo que se realizaban las inspecciones mediante líquidos penetrantes en las cañerías, se llevaron a cabo controles adicionales mediante radiografía industrial en aquellas uniones donde era necesario evaluar la presencia de defectos internos. Este método complementó el alcance del LP, ofreciendo una evaluación integral de la calidad de las soldaduras. A continuación, se presentan los detalles correspondientes a este END.

4.3.3 Radiografía industrial

La radiografía industrial se empleó para la detección de discontinuidades internas en las soldaduras a tope, constituyendo uno de los principales métodos para identificar defectos volumétricos y lineales (porosidades, inclusiones de escoria, falta de penetración o falta de fusión) mediante el uso de radiación ionizante, sin alterar la integridad del componente inspeccionado.

Al igual que en las inspecciones realizadas mediante líquidos penetrantes, las tareas fueron ejecutadas por una empresa contratista especializada, siguiendo los procedimientos y normas aplicables, y elaborando los informes técnicos correspondientes que respaldaron los resultados obtenidos. La responsable de calidad de la organización aseguró la recepción, archivo y trazabilidad de dichos informes, así como la custodia de las placas radiográficas físicas como evidencia documental del proceso de inspección.

La selección de las juntas a inspeccionar se determinó a partir de los lotes definidos en el mapa de soldaduras, considerando el tipo de unión y el soldador correspondiente. Se priorizaron las juntas a tope y se aplicó el mismo criterio de muestreo de LP del 10% por soldador y por fecha de ejecución. La definición de las juntas críticas a ensayar, así como el alcance del muestreo, fue realizada en conjunto entre Hidrobiot y el cliente, asumiendo la responsable de calidad de Hidrobiot la coordinación operativa, el seguimiento de resultados y la gestión de reparaciones.

En este caso, no se alcanzó un 100% de resultados conformes, ya que algunas juntas debieron ser reparadas. Sin embargo, la cantidad de no conformidades fue mínima y los lotes pudieron ser liberados en la primera o segunda revisión, sin necesidad de extender los ensayos al total de las soldaduras que conformaban cada lote. Este desempeño evidenció un

adecuado control del proceso de soldadura y la efectividad de las actividades de aseguramiento de calidad implementadas.

En los proyectos ejecutados, la radiografía industrial incluyó el uso tanto de rayos X como de rayos gamma provenientes de fuentes selladas de Iridio-192. La selección de una u otra fuente dependió de la accesibilidad y de las características geométricas de los componentes. Dado que las soldaduras correspondían a cañerías de acero inoxidable Schedule 10, con diámetros entre 1/2" y 12" y espesores reducidos (2,11 a 4,57 mm), ambas técnicas resultaron técnicamente adecuadas para garantizar la sensibilidad requerida.

Los rayos X ofrecieron imágenes de alta nitidez, especialmente útiles para diámetros pequeños y para la detección de discontinuidades finas. No obstante, la configuración de montaje de las cañerías prearmadas dificultó, en algunos casos, la correcta ubicación del equipo de RX. En estos casos, la gammagrafía con Ir-192 presentó claras ventajas logísticas, debido a la portabilidad de la fuente y a su capacidad para adaptarse a espacios reducidos, manteniendo una calidad de imagen suficiente para este rango de espesores.

El empleo combinado de ambas fuentes permitió optimizar los recursos disponibles y asegurar la detección confiable de discontinuidades internas en las uniones a tope inspeccionadas, contribuyendo al aseguramiento global de la calidad.

Un ejemplo representativo es el cordón de soldadura 1 del spool A (hoja 1 del mapa de soldaduras), presentada previamente en la sección de Documentación y calificación de soldadura. En este caso fue posible emplear radiografía con rayos X, obteniéndose una imagen digital que evidenció los defectos por los cuales la junta fue rechazada. Cabe aclarar que, a diferencia de los rayos X que generaron radiografías digitales, las inspecciones realizadas con rayos gamma produjeron radiografías físicas en película radiográfica.

Además, independientemente del método utilizado (rayos X o gamma), la cantidad de placas necesarias para evaluar una misma junta dependía de varios factores técnicos, principalmente del diámetro de la cañería, el espesor del material, la longitud y geometría de la junta, la accesibilidad para posicionar la fuente y el detector y la necesidad de cubrir el 100% del volumen soldado sin zonas de sombra. En función de estos parámetros, una junta podía requerir desde una única exposición hasta varias placas superpuestas o consecutivas para lograr la cobertura completa. En el caso particular de la costura mencionada, fue necesario realizar tres placas para obtener una visualización integral y permitir su correcta evaluación radiográfica.

Seguidamente, en las Figuras 17 a 20, se presenta un extracto del informe que documenta el rechazo de la junta mencionada, junto con las imágenes radiográficas digitales obtenidas para las distintas posiciones evaluadas, donde se identifican los defectos internos detectados.

Figura 17

Extracto del informe CR-12364-0 de radiografía realizada mediante rayos X

Soldadura (Weld)				Placa(Plate)		DEFECTOS (Defects)	Ubicación de Defectos (Defects location)	EVALUACIÓN (Evaluation)	Identificación de Archivo (file identification)	Observaciones (Observations)
N° de Costura (Weld N°)	Díametro (Diameter)	Espeor (thickness)	Soldador (Welder)	Posición (Position)	Alambre Esencial (Essential wire)					
C91	10"	4,19mm	C-06	0 - 20	6	-		Ap	SP D - H1	
				20 - 40	6	-		Ap		
				40 - 60	6	-		Ap		
				60 - 0	6	U		Ap		
C56	8"	3,7mm	C-03	0 - 22	6	U		Ap	SP C - H1	
				22 - 44	6	-		Ap		
				44 - 0	6	-		Ap		
C68	8"	3,7mm	C-03	0 - 22	6	LF - IP	0-8 y 15-18cm	Rz	SP C - H1	
				22 - 44	6	LF	35 - 40cm	Rz		
				44 - 0	6	P - U		Ap		
C64	8"	3,7mm	C-03	0 - 22	6	-		Ap	SP C - H1	
				22 - 44	6	U - B	40 - 44cm	Rz		
				44 - 0	6	B	60 - 0	Rz		
C40	12"	3,9mm	C-06	0 - 35	6	B		Ap	SP B - H1	
				35 - 70	6	-		Ap		
				70 - 0	6	-		Ap		
C16	12"	3,9mm	C-06	0 - 35	6	B-U		Ap	SP A - H1	
				35 - 70	6	-		Ap		
				70 - 0	6	-		Ap		
C1	12"	3,9mm	C-06	0 - 35	6	U		Ap	SP A - H1	
				35 - 70	6	LF	50 - 60cm	Rz		
				70 - 0	6	LF	85 - 87cm	Rz		
C17	12"	3,9mm	C-06	0 - 35	6	-		Ap	SP B - H1	
				35 - 70	6	U		Ap		
				70 - 0	6	-		Ap		

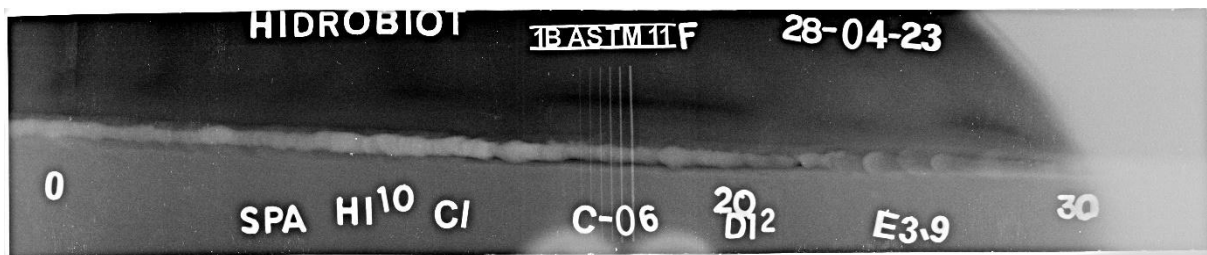
Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

Referencias

- B: Concavidad (Concavity)
- IP: Falta de Penetración (Incomplete Penetration)
- LF: Falta de Fusión (Lack of Fusion)
- P: Porosidad (Porosity)
- U: Socavado (Undercut)

Figura 18

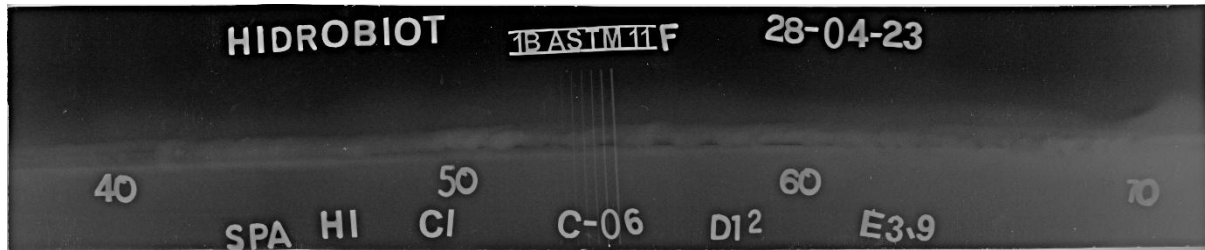
Posición 0 – 35 cordón de soldadura 1 (spool A hoja 1)



Nota. Fuente: radiografía industrial efectuada por empresa externa, proporcionada por Hidrobiot SRL.

Figura 19

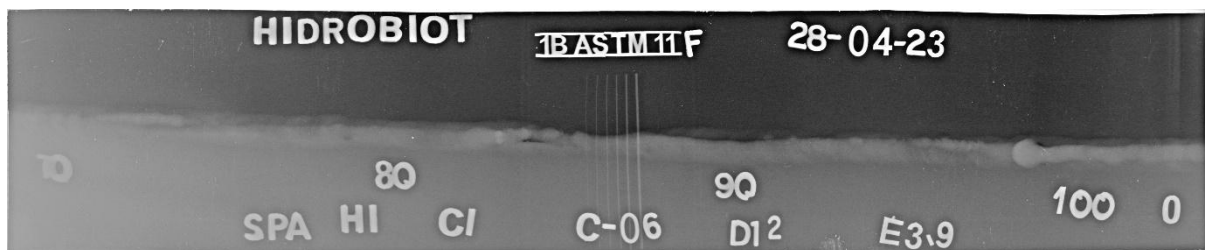
Posición 35 – 70 cordón de soldadura 1 (spool A hoja 1)



Nota. Fuente: radiografía industrial efectuada por empresa externa, proporcionada por Hidrobiot SRL.

Figura 20

Posición 70 – 0 cordón de soldadura 1 (spool A hoja 1)



Nota. Fuente: radiografía industrial efectuada por empresa externa, proporcionada por Hidrobiot SRL.

En relación con la liberación del lote L-2RI, correspondiente al soldador C-06, es importante aclarar que la selección de las soldaduras radiografiadas ese día no respondió al resultado de la costura rechazada, sino a un requerimiento previo del cliente: inspeccionar cuatro juntas soldadas críticas del equipo, todas de gran diámetro y accesibles para ser evaluadas mediante rayos X. Estas cuatro juntas pertenecían al mismo lote y, por lo tanto, su evaluación permitió determinar inmediatamente la condición del conjunto.

Dado que tres de las cuatro soldaduras fueron aprobadas y solo la costura 1 fue rechazada, no fue necesario ampliar el alcance del ensayo al resto del lote, ya que las piezas críticas ya habían sido muestreadas y se contaba con la cantidad mínima de radiografías conformes requeridas. En consecuencia, únicamente se procedió a reparar la junta soldada 1 y realizar una nueva radiografía para verificar la efectividad de la reparación. Esta segunda radiografía fue aprobada y se identifica en el informe del contratista como C1R (Costura 1 Reparada), lo cual se expone en el informe RI-6367-0, el cual puede verse en la Figura 21.

A continuación, en la Tabla 2, se presentan las juntas que integraron el lote L-2RI, incluyendo las fechas de ejecución, informes asociados y resultados obtenidos.

Tabla 2

Juntas soldadas que comprenden el lote L-2RI del soldador C-06

Costura	Spool	Hoja del documento	Diámetro costura (")	Rep. (0, 1, 2, N)	Soldador	Fecha	Lote	Radiografía industrial (RI)		Fecha informe
								N° informe	AP/RZ	
1	A	1	0	1	C-06	6/1/23	L-2RI	CR-12364-0	RZ	27/4/23
1	A	1	12	1	C-06	6/1/23	L-2RI	RI-6367-0	AP	22/5/23
4	A	1	12	0	C-06	5/1/23	L-2RI			
9	A	1	12	0	C-06	4/1/23	L-2RI			
16	A	1	12	0	C-06	4/1/23	L-2RI	CR-12364-0	AP	27/4/23
17	B	1	12	0	C-06	10/1/23	L-2RI	CR-12364-0	AP	27/4/23
40	B	1	12	0	C-06	11/1/23	L-2RI	CR-12364-0	AP	27/4/23
102	D	1	10	0	C-06	28/12/22	L-2RI			
169	H	1	1/2	0	C-06	15/2/23	L-2RI			
194	K	1	5	0	C-06	2/3/23	L-2RI			
228	I	4	1/2	0	C-06	13/2/23	L-2RI			

Nota. Elaboración propia con información interna de Hidrobiot SRL.

Figura 21

Extracto del informe RI-6367-0 de radiografía realizada mediante rayos gamma

EVALUACION (evaluation)									
N° de costura (Weld)	Diametro (Diameter)	Espesor (thickness)	Soldador (welder)	Posicion (position)	Densidad (Density)	Defecto (Defects)	Ubicación (Defect Location)	Resul.	Observaciones
C115	10"	4,19mm	C-06	0 - 30	2,7	-		AP	HOJA 1 / SP E
				30 - 60	2,6	-		AP	
				60 - 0	2,9	-		AP	
C232	8"	3,7mm	C-03	0 - 22	2,9	-		AP	HOJA 4 / SP 1
				22 - 44	2,9	-		AP	
				44 - 0	3	-		AP	
C30	2,5"	3,05mm	C-06	0 - 1	2,7	-		AP	HOJA 3 / SP D
				1 - 2	2,7	-		AP	
				2 - 0	2,9	-		AP	
C88	3"	3,05mm	C-05	0 - 10	2,7	-		AP	HOJA 4 / SP C
				10 - 20	2,8	-		AP	
				20 - 0	2,7	-		AP	
C130	3"	3,05mm	C-05	0 - 10	2,9	-		AP	HOJA 3 / SP Q
				10 - 20	2,7	-		AP	
				20 - 0	2,6	-		AP	
C184	3"	3,05mm	C-05	0 - 10	2,7	-		AP	HOJA 4 / SP F
				10 - 20	2,9	-		AP	
				20 - 0	2,6	-		AP	
C1R	12"	4,75mm	C-06	0 - 35	2,2	-		AP	HOJA 1 / SP A
				35 - 70	2,1	-		AP	
				70 - 0	2,3	-		AP	
C175	8"	3,7mm	C-03	0 - 22	2,1	-		AP	HOJA 1 / SP H
				22 - 44	2,3	-		AP	
				44 - 0	2,2	-		AP	
C160	3"	3,05mm	C-05	0 - 10	2,5	-		AP	HOJA 4 / SP E
				10 - 20	2,7	-		AP	
				20 - 0	2,7	-		AP	

Nota. Fuente: informe técnico de END efectuado por empresa externa.

Ventajas:

- Permite detectar defectos internos y volumétricos, como porosidad, inclusiones de escoria, falta de penetración o falta de fusión.
- Proporciona un registro permanente (película o digital) para trazabilidad y auditorías.
- Es aplicable a un amplio rango de materiales y espesores.
- Complementa otros END, como LP y VT, ofreciendo una evaluación integral de la calidad de la soldadura.

Limitaciones:

- Requiere equipos especializados y personal calificado, con costos más altos que LP.
- Uso de radiación ionizante, lo que implica protocolos de seguridad estrictos.
- Menos flexible en espacios confinados o geometrías complejas.
- El tiempo de ejecución puede ser mayor y depende de factores como grosor del material, tipo de radiación y técnica utilizada.

A modo de cierre, la aplicación combinada de VT, LP y RI permitió asegurar la integridad y conformidad de las uniones soldadas en cañerías, estructuras metálicas y tanques, constituyendo un esquema integral de aseguramiento de la calidad de soldadura.

Si bien estos métodos se enfocaron específicamente en la inspección de soldaduras, el proceso de aseguramiento de calidad también contempló la verificación de la integridad de los equipos a presión mediante pruebas hidráulicas, aplicadas exclusivamente a los cuatro tanques ablandadores.

Es importante mencionar que, si bien la prueba hidráulica no se clasifica como un ensayo no destructivo aplicado específicamente a la soldadura, sí se considera un ensayo no destructivo a nivel de equipo, ya que permite evaluar la resistencia estructural y la hermeticidad del tanque sin comprometer su funcionalidad. Por este motivo, se presenta dentro del PIE como parte de los controles del proyecto.

A continuación, se describen las pruebas hidráulicas realizadas, los criterios de aceptación establecidos y los resultados obtenidos durante su ejecución.

4.3.4 Pruebas hidráulicas

Las pruebas hidráulicas (PH) fueron ejecutadas por personal de la empresa contratista, bajo la supervisión de la responsable de calidad de Hidrobiot y con seguimiento virtual por parte del responsable de calidad del cliente. El procedimiento de ensayo fue elaborado por un ingeniero electromecánico matriculado, conforme a los lineamientos del Código ASME

Sección VIII, División 1, que establece los requisitos para ensayos hidrostáticos en recipientes sometidos a presión.

La responsable de calidad supervisó la preparación del ensayo, verificó la calibración de los instrumentos, controló el cumplimiento del procedimiento aprobado y gestionó la elaboración de los registros e informes técnicos correspondientes. Si bien el procedimiento de ensayo fue elaborado por un profesional calificado, la empresa no contaba previamente con formatos estandarizados para la documentación de pruebas hidráulicas. En este contexto, la responsable de calidad diseñó los registros e informes técnicos utilizados, estableciendo un sistema de documentación y trazabilidad que no existía previamente en la organización.

La prueba consistió en la aplicación de presión interna a cada tanque ablandador con el fin de verificar su resistencia mecánica y hermeticidad, evaluando tanto las uniones soldadas como las conexiones embridadas y abulonadas. El fluido de ensayo utilizado fue agua a temperatura ambiente, en cumplimiento con la normativa, dado que se trata de un medio no corrosivo, no compresible y seguro en caso de fallas.

Previo al ensayo, se realizó una inspección visual completa y se aplicó el método de líquidos penetrantes en el 100% de las juntas soldadas, siguiendo lo previsto en el plan de inspección y ensayos. Esta etapa previa resulta indispensable, ya que las normas no permiten reparaciones de soldadura posteriores a la PH sin repetir la prueba en su totalidad.

Las pruebas se realizaron con los tanques en su posición de servicio, replicando las condiciones reales de instalación en la planta del cliente. Se colocaron bridas ciegas en las conexiones bridadas y venteos en los puntos altos para garantizar la expulsión total del aire durante el llenado, evitando lecturas erróneas y reduciendo esfuerzos estructurales no deseados. Además, se colocaron dos manómetros de rango 0–25 kg/cm²: uno ubicado en la parte superior del tanque y otro visible desde la posición del operador de la bomba, permitiendo un control continuo y seguro durante la presurización. Ambos manómetros contaban con certificado de calibración vigente, condición requerida por el cliente y verificada documentalmente antes del ensayo.

La secuencia de presurización se inició con el área perimetral despejada. La presión se incrementó de forma gradual hasta alcanzar la presión de prueba de 7,8 kg/cm², la cual se mantuvo durante 15 minutos. Posteriormente, la presión se redujo a 6,0 kg/cm² (presión de diseño), manteniéndose durante 60 minutos. Durante este periodo se verificó la ausencia de pérdidas, deformaciones, rupturas, filtraciones en conexiones, estiramiento de tornillos y cualquier otra anomalía. Como referencia, la presión normal de operación de los tanques estaba establecida en 3,8 kg/cm².

En total, se ensayaron cuatro tanques ablandadores. Todos mantuvieron la presión sin variaciones significativas y no se detectaron defectos durante la inspección visual posterior. De acuerdo con ASME VIII Div. 1, la prueba se considera satisfactoria cuando el equipo

mantiene la presión de ensayo sin caídas apreciables, no presenta fugas visibles y no evidencia deformaciones permanentes. Para cada prueba, se completó una lista de control en tiempo real y se elaboró un informe técnico individual, con registro fotográfico del proceso, asegurando la trazabilidad documental. Un ejemplo de estos documentos puede consultarse en los anexos. Asimismo, en la Figura 22 se presenta uno de los tanques ensayados, evidenciando el montaje y la instrumentación utilizada.

Figura 22

Tanque sometido a la prueba hidráulica



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

En conjunto, la aplicación sistemática de ensayos no destructivos sobre las uniones soldadas (inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía industrial), complementada con pruebas hidráulicas a nivel de equipo, permitió establecer un esquema integral de aseguramiento de la calidad. Este enfoque garantizó la integridad estructural, la hermeticidad y el registro documental de los componentes fabricados, contribuyendo a reducir el riesgo de fallas en servicio y a cumplir con los requisitos contractuales y normativos del proyecto.

Con la integridad estructural y funcional de los tanques debidamente verificada, se procedió a la siguiente etapa del proyecto: la aplicación de los recubrimientos internos y externos, necesarios para garantizar la protección anticorrosiva y la vida útil de los equipos.

4.4 Recubrimiento de tanques

Una vez aprobadas las pruebas hidráulicas, los tanques quedaron en condiciones de avanzar a la etapa de recubrimiento interno y externo, una fase fundamental para garantizar la protección anticorrosiva y el desempeño en servicio. Ambas tareas fueron ejecutadas por una empresa contratada y supervisadas mediante controles documentales y visitas de inspección en planta por la responsable de calidad de Hidrobiot.

Dado que el proceso de regeneración de la resina mediante salmuera constituye un ambiente altamente corrosivo para el acero al carbono, debido a la presencia simultánea de agua, oxígeno y cloruros, se optó por recubrir internamente los equipos con ebonita, garantizando una mayor durabilidad y resistencia química en comparación con las pinturas internas convencionales. Si bien existía la alternativa de aplicar un sistema de pintura interna, su vida útil es considerablemente menor y suele requerir mantenimiento periódico cada 4–5 años, pudiendo coincidir con el recambio de resina, mientras que la ebonita presenta un desempeño significativamente superior.

El proceso comenzó con un arenado interno destinado a asegurar la limpieza de la superficie y obtener el perfil de rugosidad adecuado para la correcta adherencia del revestimiento.

Posteriormente, se aplicó un revestimiento a base de caucho natural, que luego fue sometido a vulcanizado en autoclave. Este proceso, mediante vapor o aire caliente a alta presión, genera la reticulación del material, incrementando su dureza, elasticidad y resistencia química. Su principal ventaja es que permite tratar equipos de gran tamaño y geometría compleja, garantizando una distribución uniforme de temperatura y presión, lo que se traduce en un acabado homogéneo y de alta calidad. Finalmente, se realizó la terminación mediante pulido, obteniéndose una superficie interna continua y lisa, adecuada para las condiciones de servicio previstas.

Figura 23

Etapa de arenado interno



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

Figura 24

Colocación de revestimiento interno



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

Figura 25

Vulcanizado en autoclave



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

Los controles del proceso de ebonitado fueron verificados mediante la documentación presentada por la empresa contratista y complementados con visitas de seguimiento en planta. Cada tanque contó con un informe individual que incluyó control de dureza, inspección visual, prueba de alta tensión (holiday test) y medición del espesor del revestimiento.

A modo de ejemplo, para el tanque ablandador 02GBF12BB005 (informe disponible en anexos), se obtuvieron los siguientes resultados:

- Control de dureza

Se realizaron mediciones en 3 o 4 puntos por cada metro cuadrado.

Rango permitido: 75 ± 5

Valores obtenidos: mín.: 70 – máx.: 76 – promedio 73 → Conforme

- Inspección visual

Aprobada según ASTM D3486-85 parte D.

- Prueba de alta tensión

Tensión aplicada: 15 kV

Resultado: Conforme según ASTM D3486-85 parte C.

- Control de espesor (requerido: 4 mm)

Se realizaron 13 mediciones distribuidas según plano.

Valores obtenidos: mín.: 4,03 mm – máx.: 4,86 mm – promedio: 4,45 mm → Conforme

Para el recubrimiento externo, se utilizó un sistema compuesto por base epoxi y terminación poliuretánica, seleccionado por su elevada resistencia a la intemperie, abrasión y agentes químicos. La base epoxi proporciona adherencia y protección anticorrosiva, mientras que la pintura poliuretánica aporta estabilidad frente a rayos UV, impacto y variaciones ambientales. Las aplicaciones se realizaron en condiciones controladas, respetando los rangos de temperatura y humedad recomendados por el fabricante para garantizar una correcta polimerización.

Figura 26

Tanques con ambos revestimientos finalizados



Nota. Fotografía proporcionada por Hidrobiot SRL, no publicada.

Los controles incluyeron inspección visual y medición de espesores con equipo calibrado:

- Base epoxi

Requerido: 100 μm

Obtenido: mín.: 110 μm – máx.: 130 μm

- Pintura poliuretánica

Requerido: 160 μm (100 μm de base epoxi + 60 μm de pintura poliuretánica)

Obtenido: mín.: 170 – máx.: 220 μm

Las mediciones se realizaron en 13 puntos distribuidos según el plano provisto por Hidrobiot, obteniéndose valores conformes en todos los casos.

En síntesis, la combinación del ebonitado interno y del sistema de pintura exterior proporcionó una protección anticorrosiva integral, cumpliendo con las especificaciones técnicas del proyecto y contribuyendo a la confiabilidad operativa de los tanques en servicio. Los controles realizados arrojaron resultados conformes, tal como documenta el informe individual de cada unidad.

Concluida la descripción de los trabajos de recubrimiento y sus verificaciones, se presenta a continuación la revisión de documentación, una actividad desarrollada en paralelo a las etapas de fabricación y ensayos, que resultó clave para asegurar la trazabilidad y la conformidad de todos los elementos del proyecto.

4.5 Revisión de documentación

Además de las inspecciones y ensayos realizados en campo, el Plan de Inspección y Ensayos estableció la verificación documental como un componente esencial del aseguramiento de la calidad.

Este proceso se desarrolló de manera continua durante ambos proyectos y permitió consolidar la trazabilidad técnica de los materiales, los procedimientos aplicados, los equipos utilizados y el personal calificado que intervino en la construcción, montaje, ensayos y puesta en marcha de cada sistema.

La responsable de calidad de Hidrobiot ejecutó la recopilación, revisión crítica y consolidación de la documentación técnica, estableciendo un sistema formal de archivo y trazabilidad que no se encontraba previamente implementado en la organización.

A continuación, se detallan los principales aspectos verificados:

1. Certificados de materiales

Se revisaron los certificados de calidad correspondientes a los materiales empleados en la fabricación y montaje, incluyendo:

- Cañerías,
- Accesorios de acero inoxidable y acero al carbono,
- Elementos estructurales,
- Componentes eléctricos asociados al sistema.

La verificación abarcó la conformidad con las normas especificadas, la correspondencia entre los materiales instalados y la documentación recibida, y la trazabilidad de los elementos críticos.

Toda esta información fue consolidada en el documento “Certificados de Materiales y Equipos”, requerido por el cliente como entregable independiente y posteriormente incorporado al dossier final del proyecto.

2. Certificados de equipos y componentes críticos

Se corroboró la documentación técnica y de calidad correspondiente a los principales equipos del sistema:

- Bombas,
- Válvulas automáticas y manuales,
- Instrumentos de medición (caudalímetros, manómetros, transmisores, sensores, presostatos),
- Tubos de presión,
- Membranas de ósmosis inversa,
- Módulos EDI.

La revisión incluyó números de serie, certificados del fabricante, hojas técnicas, declaraciones de conformidad y manuales, asegurando su correspondencia con las especificaciones de los proyectos.

Los certificados de calidad fueron integrados al documento consolidado “Certificados de Materiales y Equipos”, mientras que los manuales y documentación técnica complementaria fueron entregados al cliente como parte del dossier final del proyecto, en su formato original provisto por los fabricantes.

3. Procedimientos aplicables a los ensayos realizados

Se verificaron los procedimientos utilizados para cada uno de los Ensayos No Destructivos aplicados:

- Líquidos penetrantes (LP),
- Radiografía industrial (RI),
- Pruebas hidráulicas (PH).

Se confirmó su vigencia, su alineación con las normas de referencia declaradas y la adecuación del método al tipo de junta, material y requerimientos del cliente.

4. Verificación de calificaciones del personal

Se revisaron las calificaciones del personal ejecutor de actividades críticas, incluyendo:

- Inspectores y técnicos de END de ambas empresas contratistas,
- Soldadores calificados según los procedimientos WPS/PQR.

Esto garantizó que todas las tareas fueran realizadas por personal competente y debidamente certificado.

5. Verificación de equipos de ensayo

Se revisó la documentación asociada a los equipos utilizados en los distintos ensayos:

- Generador de rayos X,
- Equipo de gammagrafía industrial,
- Fuente sellada de Ir-192,
- Manómetros utilizados en PH,
- Equipos de inspección de recubrimientos (medidor de espesores y durómetro).

Se verificó su estado de calibración, certificados de seguridad cuando correspondía, número de serie y condición operativa, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

La verificación documental, junto con los ensayos e inspecciones realizados en campo, conformó el cuerpo principal del sistema de aseguramiento de la calidad de ambos proyectos, garantizando la coherencia entre certificados, procedimientos, registros de ensayo y componentes instalados.

Una vez integrados, revisados y aprobados todos estos elementos, fue posible avanzar hacia la liberación progresiva de equipos y componentes a obra, etapa que marcó el cierre del proceso de fabricación y control en planta y el inicio del traslado formal de los equipos hacia el sitio de instalación.

4.6 Liberación a obra

Dada la magnitud y el alcance de ambos proyectos, la entrega de los equipos a obra se realizó de manera progresiva. Para cada despacho se elaboró un dossier de liberación, preparado en coordinación permanente con el cliente y sujeto a su aprobación previa. Este documento constituyó la evidencia formal de que los equipos enviados habían atravesado todas las etapas de inspección, verificación y revisión definidas en el Plan de Inspección y Ensayos.

El dossier incluía, como primer punto, el acta o reporte de liberación estandarizado por la responsable de calidad, donde se detallaba el alcance del envío, la documentación asociada y las actividades de inspección vinculadas a los equipos despachados. También se incorporó un registro fotográfico de la carga, dejando constancia del estado de los equipos y componentes al momento del despacho. Un ejemplo de este tipo de actas puede consultarse en la sección de anexos del presente informe.

La estructura del dossier variaba según el contenido de cada despacho. En algunos casos se adjuntaron planos constructivos, documentación de soldaduras, mapas de soldaduras, informes de ensayos no destructivos, procedimientos aplicados o registros de seguimiento, garantizando la trazabilidad técnica y documental de los elementos liberados. En ocasiones, la liberación contó con la presencia de un inspector de calidad del cliente, quien firmó el acta junto con la responsable de calidad de Hidrobiot. Cuando esto no fue posible, la liberación quedó documentada únicamente con la firma de la responsable de calidad de Hidrobiot y las evidencias fotográficas correspondientes. Finalmente, el dossier se completaba con el remito de despacho, dejando constancia formal del envío.

Este procedimiento permitió garantizar que cada entrega cumpliera estrictamente con los requisitos contractuales, brindando al cliente la seguridad de que los equipos liberados habían sido inspeccionados, verificados y aprobados antes de su traslado. De este modo, se aseguró la trazabilidad, la transparencia y la conformidad técnica en cada hito del proyecto.

En uno de los proyectos, además de las liberaciones parciales, se requirió la elaboración de un databook final tras la puesta en marcha de la PTA. Este documento integró toda la información técnica generada durante el proyecto, incluyendo certificados de materiales, equipos e instrumentos, documentación de fabricación y montaje en planta y en obra, estructuras, piping, planos eléctricos, documentación de instrumentos, procedimientos de soldadura, calificaciones de soldadores y todos los informes de ensayos no destructivos. También se incorporaron las actas de liberación correspondientes a cada envío y, posteriormente, las actas de liberación mecánica y eléctrica/instrumental que dieron cierre formal a las actividades de montaje y pruebas en obra.

El databook, compuesto por un total de 1.338 páginas, constituyó la compilación integral de la trazabilidad documental del proyecto, desde la recepción de materiales hasta la verificación final en servicio.

Completada la etapa de liberación a obra y contando con toda la documentación integrada en el databook final, el proyecto quedó oficialmente cerrado desde el punto de vista técnico y documental. Este punto de llegada permite mirar retrospectivamente el trabajo realizado, los desafíos superados y la evolución lograda a lo largo del proceso, elementos que se desarrollan en la conclusión siguiente.

5. Conclusión

La experiencia desarrollada a lo largo de los proyectos evaluados representó no solo la aplicación rigurosa de un sistema integral de aseguramiento y control de calidad, sino también un proceso de aprendizaje progresivo, análisis crítico y consolidación profesional.

El primer desafío estuvo marcado por la fabricación del equipo de ósmosis inversa más grande construido hasta el momento por Hidrobiot SRL, cuyo funcionamiento era inicialmente desconocido para la responsable de calidad. Esto exigió una rápida adquisición de conocimientos técnicos específicos para responder adecuadamente a las expectativas del cliente y a los estándares del sector. A ello se sumó el hecho de que, en aquel momento, la empresa no contaba aún con un área de calidad formalmente estructurada, lo que implicó asumir responsabilidades clave en paralelo con la definición, formalización y puesta en práctica de criterios y herramientas de gestión de la calidad que posteriormente adoptaría la organización.

Durante el primer proyecto se gestionaron inspecciones, ensayos, revisiones documentales y liberaciones a obra, actividades que requirieron criterio técnico, precisión y capacidad de toma de decisiones. Esta experiencia inicial resultó determinante para afrontar el segundo proyecto, el sistema de ablandamiento, con mayor autonomía, seguridad y madurez profesional. Si bien ambos proyectos presentaron alcances y niveles de complejidad diferentes, el segundo requirió el desarrollo de registros, formatos documentales y mecanismos de seguimiento adicionales, asociados principalmente a procesos de fabricación distintos y a mayores requerimientos de trazabilidad en tanques y componentes de acero al carbono.

La experiencia adquirida permitió que las actividades existentes se desarrollaran con mayor dinamismo y criterio técnico, brindando mayor libertad para interactuar con el cliente y con las empresas contratistas, definir y consensuar formatos de documentación, establecer criterios de aceptación y exigir los niveles de desempeño y documentación requeridos. Este proceso evidenció una evolución progresiva del rol profesional, desde una instancia inicial de implementación hacia una participación activa en la gestión técnica del sistema de calidad, con mayor capacidad para sostener decisiones fundamentadas y coordinar técnicamente a los distintos actores del proyecto.

En perspectiva, ambos proyectos permitieron incorporar conocimientos técnicos que trascienden la formación académica y consolidar una práctica profesional acorde a los estándares de alta exigencia propios del sector de generación de energía. La coordinación con diversos actores, la gestión de la trazabilidad documental y la verificación sistemática de la conformidad de los equipos fabricados no solo garantizaron el cumplimiento de los

requisitos contractuales, sino que también contribuyeron a fortalecer y ordenar la gestión interna de la calidad dentro de Hidrobiot SRL.

En definitiva, esta experiencia constituyó un hito tanto para la trayectoria de la responsable de calidad como para la evolución de la empresa, al contribuir a la consolidación de un sistema de gestión de la calidad más estructurado, documentado y coherente, alineado con las expectativas de los clientes más exigentes. Asimismo, permitió evidenciar el desarrollo de competencias técnicas, de gestión y de comunicación propias del ejercicio profesional de la ingeniería industrial, así como el impacto concreto de la intervención profesional en la organización, control y ejecución de proyectos industriales complejos.

6. Anexos

A continuación, se detallan los documentos que conforman los anexos, los cuales representan ejemplos de la documentación asociada al tanque ablandador 02GBF12BB005:

- Control dimensional
- Lista de control de la prueba hidráulica
- Informe de la prueba hidráulica
- Informe de ensayos no destructivos sobre revestimientos
- Acta de liberación a obra

Cabe aclarar que algunos documentos pueden haber sido modificados levemente para proteger información confidencial.

	REGISTRO DE CONTROL DIMENSIONAL	Fecha	19/12/2023
		Revisión	0
		Página	1 de 1

CLIENTE: Central Térmica	
PROYECTO: Planta de Tratamiento de Agua	
TAG: 02GBF12BB005	N° SERIE: 23-03009

Descripción	Valor según plano [mm]	Valor medido [mm]	Error	Conforme / No Conforme
Diámetro tanque	1900	1900	0,02%	Conforme
Altura envolvente	2700	2695	0,19%	Conforme
Altura de falso fondo con respecto al cabezal inferior	300	300	0,00%	Conforme
Altura de base soporte a conexión A	4200	4320	2,78%	Conforme
Altura de base soporte a conexión B	3488	3485	0,09%	Conforme
Altura de base soporte a conexión D	1775	1770	0,28%	Conforme
Altura de base soporte a conexión F	600	598	0,33%	Conforme

NOTAS:

LIBERACIÓN DE QA Verificación de documentación completa	19/12/2023
	FECHA Y FIRMA POR QA



Lista de control de PRUEBA HIDRÁULICA

CLIENTE: Central Térmica

PROYECTO: Planta de Tratamiento de Agua

TAG TANQUE: 02GBF12BB005

N° serie proyecto: 23-03009

N°	Descripción	Fecha	Ejecutó	Observaciones
1	Verificar que se hayan realizado los END requeridos	19/12/2023	HidroBiot	
2	Controlar sistema a ensayar con planos correspondientes (visual)	20/12/2023	HidroBiot	
3	Confirmación que no existen trabajos de soldadura u otros que requieran rehacer la prueba hidráulica	20/12/2023	HidroBiot	
4	Bloquear el sistema a ensayar	20/12/2023	Contratista	
5	Efectuar instalaciones temporarias donde sean necesarias	20/12/2023	Contratista	
6	Verificar estado de equipo de ensayo	20/12/2023	HidroBiot / Contratista	
7	Verificar la presión especificada durante la prueba Presión [bar]: 7,8	20/12/2023	HidroBiot	Luego de aplicar la presión de prueba, se disminuye a la presión de diseño durante la inspección visual (6 bar)
8	Verificar la presión especificada durante el tiempo establecido Tiempo: 15 minutos	20/12/2023	HidroBiot	La inspección visual se realizó durante 60 minutos
9	Inspeccionar ausencia de pérdidas	20/12/2023	HidroBiot	
10	Bajar presión de prueba y retirar equipo de prueba	20/12/2023	HidroBiot / Contratista	
11	Rearmar línea reemplazando las instalaciones temporarias por las definitivas (instrumentos, válvulas, juntas, etc.)	20/12/2023	Contratista	
12	Inspeccionar limpieza del área	-	-	

N° de manómetros: **1) TAG N° 6693/10**
Certificado N° 22983

2) TAG N° 6693/12
Certificado N° 22984

NOTAS:

LIBERACIÓN DE QA	20/12/2023
Verificación de documentación completa	FECHA Y FIRMA POR QA



CLIENTE: Central Térmica	TAG TANQUE: 02GBF12BB005	
PROYECTO: Planta de Tratamiento de Agua	FECHA PRUEBA: 20/12/2023	
N° SERIE: 23-03009	REVISIÓN: 0	Página 1 de 3

INFORME PRUEBA HIDRÁULICA

Datos:

- Fluido: agua a temperatura ambiente
- Presión de prueba: 7,8 kg/cm²
- Presión de diseño: 6 kg/cm²
- Presión de trabajo: 3,8 kg/cm²

Luego de realizar las instalaciones provisionarias necesarias, se procedió a llenar con agua el tanque. Se conectó una bomba manual y dos manómetros marca Nuova Fima modelo MGS 18/A/100, con rango 0 a 25 kg/cm² (TAG N° 6693/10 con certificado N° 22983 conectado directamente en el equipo y TAG N° 6693/12 con certificado N° 22984, en lugar visible para el operador de la bomba).





Con presencia de manera virtual del inspector de calidad del cliente, se inició la prueba en el equipo y se llevó a la presión de prueba a las 10:40 AM, la cual fue mantenida durante 15 minutos. Al transcurrir este tiempo, se disminuyó la presión hasta alcanzar la presión de diseño y se mantuvo durante 60 minutos, mientras se realizó la inspección visual.

No se observaron pérdidas ni deformaciones en el equipo, por lo cual la prueba hidráulica se dio por terminada y aprobada a las 11:55 AM.



CLIENTE: Central Térmica	TAG TANQUE: 02GBF12BB005	
PROYECTO: Planta de Tratamiento de Agua	FECHA PRUEBA: 20/12/2023	
N° SERIE: 23-03009	REVISIÓN: 0	Página 2 de 3

REGISTRO FOTOGRÁFICO

 <p>Sistema ensayado</p>	 <p>Manómetro sometido a la presión de prueba</p>
 <p>Manómetros sometidos a la presión de diseño</p>	 <p>Conexiones A, C y G durante la PH</p>

CLIENTE: Central Térmica	TAG TANQUE: 02GBF12BB005	
PROYECTO: Planta de Tratamiento de Agua	FECHA PRUEBA: 20/12/2023	
N° SERIE: 23-03009	REVISIÓN: 0	Página 3 de 3



Conexiones B y H



Conexión D



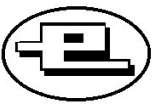
Conexiones E y F



Envolvente durante la inspección visual



Patas y soporte para placa identificatoria durante la inspección visual



**ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
SOBRE REVESTIMIENTOS**

N° 12102-2

Página: 1/1

Componente Ablandador N° 2			Identificación 02GBF12BB005
O.T. 12102	Ítem 2	Cliente Hidrobiot SRL	Orden de compra 23-0933
Tipo/Parte/Designación		Plano/Isometría	Números de partes
N/A		AAA-000-BB-CC-1111-029	N/A

REVESTIMIENTO INTERNO – CONTROL DE DUREZA

N° de mediciones: $\frac{3}{4}$ x m2 Valor promedio: **73** Shore: D
Instrumento utilizado: **SHORE DUROMETER** Valor requerido: 75 +/- 5 Shore: D
Valor máximo: **76** Shore: D Resultado: **CONFORME**
Valor mínimo: **70** Shore: D

REVESTIMIENTO INTERNO – INSPECCION VISUAL

Se realizó sobre la totalidad de la superficie del revestimiento siguiendo las indicaciones de ASTM 3486-85 parte D.
Resultado: **CONFORME**

REVESTIMIENTO INTERNO – PRUEBA DE ALTA TENSION

Se realizó sobre la totalidad de la superficie del revestimiento siguiendo las indicaciones de ASTM 3486-85 parte C.
Equipo utilizado: **SPARK TESTER**
Tensión aplicada: **15 KV**
Resultado: **CONFORME**

REVESTIMIENTO INTERNO – CONTROL DE ESPESOR

N° de mediciones: **13 (según plano)** Valor promedio: **4,45** mm
Instrumento utilizado: **POSITECTOR 6000** Valor requerido: **4** mm
Valor máximo: **4,86** mm Resultado: **CONFORME**
Valor mínimo: **4,03** mm

REVESTIMIENTO EXTERNO - CONTROL DE ESPESOR DE PINTURA

N° de mediciones: **13** (se efectúa de acuerdo plano enviado por Hidrobiot).

Instrumento utilizado: **MESS – SMCII**
Tanque: Código RAL 6032 (Verde)

Base Epoxi
Valor máximo: 130
Valor mínimo: 110
Resultado: **CONFORME (especificación 100 micrones)**

Valor máximo: 220
Valor mínimo: 170
Resultado: **CONFORME (especificación total 160 micrones; 100 base + 60 terminación)**

Firma Contratista

Lugar: Rosario, 08/03/2024


EBONIT S.A.
PRADO JAVIER M.
Supervisor de Planta

Firma CLIENTE

Lugar:


NATALIA MAJOR



REPORTE DE LIBERACION

Página
1 de 3

Revisión
1

Cliente:	Fecha: 12/03/2024
Proveedor: Hidrobiot SRL	
Obra: Planta de Tratamiento de agua	
Lugar: Av. del trabajo 3570 - Santo Tomé - Santa Fe	
Contacto cliente:	
Contacto proveedor: Natalia Mayor	
Referencia: primer envío a obra	

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:

AAA-171-ED-DP-0301-007 Memoria de cálculo tanques
AAA-171-EM-DP-0301-029 Plano de tanques ablandador
AAA-171-EQ-DP-0301-023 Plan de inspección y ensayos
AAA-171-EQ-DP-0301-024 Certificado de calificación de soldadores (WPQ)
AAA-171-EW-DP-0301-026 Mapa de soldaduras y END
AAA-171-EW-DP-0301-027 Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)
AAA-171-EW-DP-0301-028 Registro de calificación de procedimiento (PQR)
AAA-171-EW-DP-0301-031 Procedimientos END
AAA-171-EW-DP-0301-033 Procedimientos de pruebas

ACTIVIDADES DESARROLLADAS:

- Revisión de la documentación de soldadura: WPS, PQR y WPQ
- Control de informes de líquidos penetrantes
- Verificación de calificaciones del personal que realizó LP
- Revisión de registros de mediciones y otros ensayos no destructivos realizados
- Inspección visual de los tanques.

Luego de las actividades anteriormente mencionadas, el martes 12/03/2024 se realiza la liberación de 2 tanques ablandadores de acero al carbono, ambos con ebonitado interno y pintura exterior verde (RAL 6032), en las instalaciones de Hidrobiot SRL para ser entregada la carga el día 13/03/2024 en la Central Térmica.



REPORTE DE LIBERACION

Página
2 de 3

Revisión
1

Cliente:	Fecha: 12/03/2024
Proveedor: Hidrobiot SRL	
Obra: Planta de Tratamiento de agua	
Lugar: Av. del trabajo 3570 - Santo Tomé - Santa Fe	
Contacto cliente:	
Contacto proveedor: Natalia Mayor	
Referencia: primer envío a obra	

REGISTRO FOTOGRÁFICO

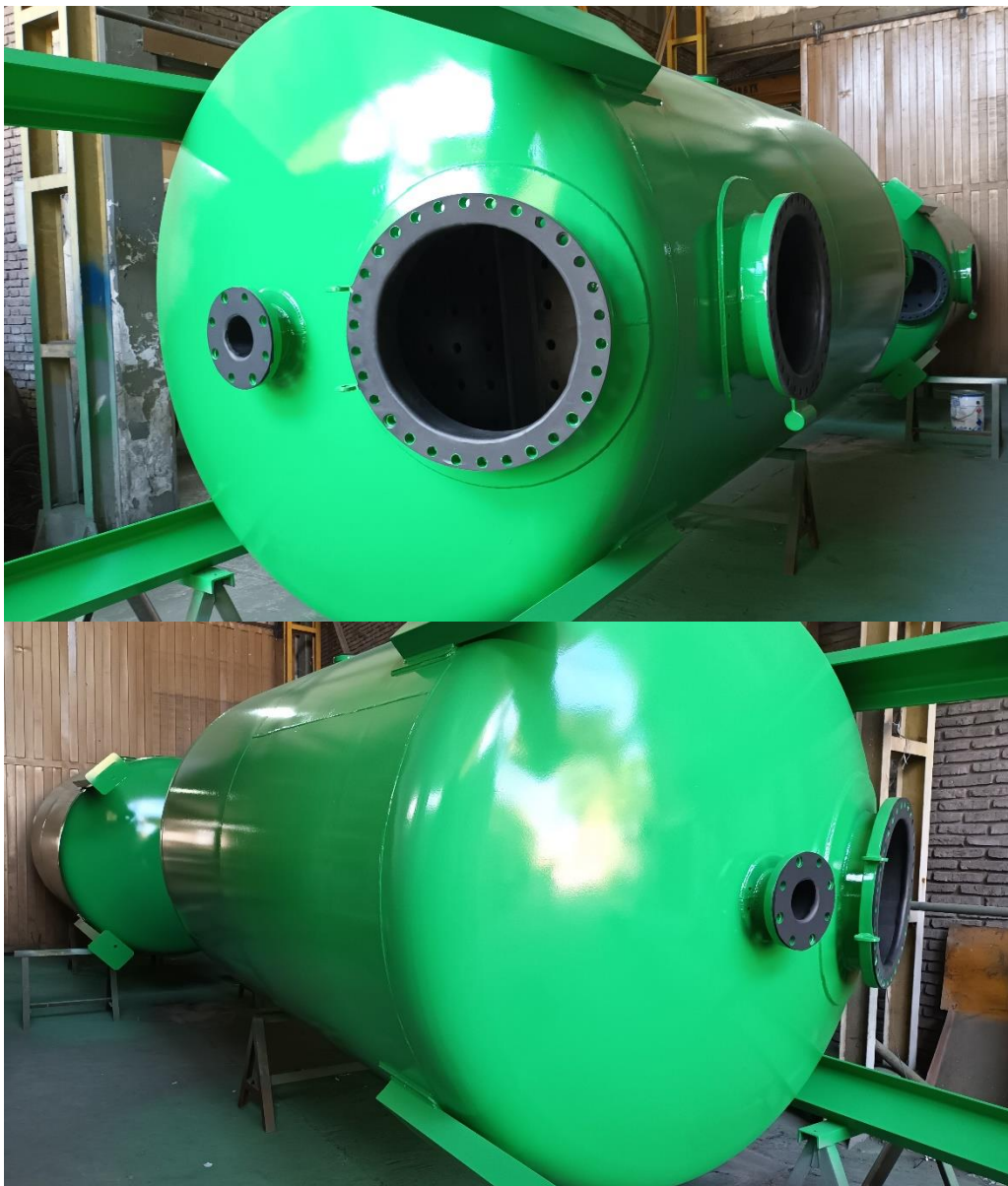


Imagen 1. Tanques ablandadores (02GBF11BB005 y 02GBF12BB005)



REPORTE DE LIBERACION

Página
3 de 3

Revisión
1

Cliente:	Fecha: 12/03/2024
Proveedor: Hidrobiot SRL	
Obra: Planta de Tratamiento de agua	
Lugar: Av. del trabajo 3570 - Santo Tomé - Santa Fe	
Contacto cliente:	
Contacto proveedor: Natalia Mayor	
Referencia: primer envío a obra	



Imagen 2. Tapas de 20" y 10"