



Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

INTI

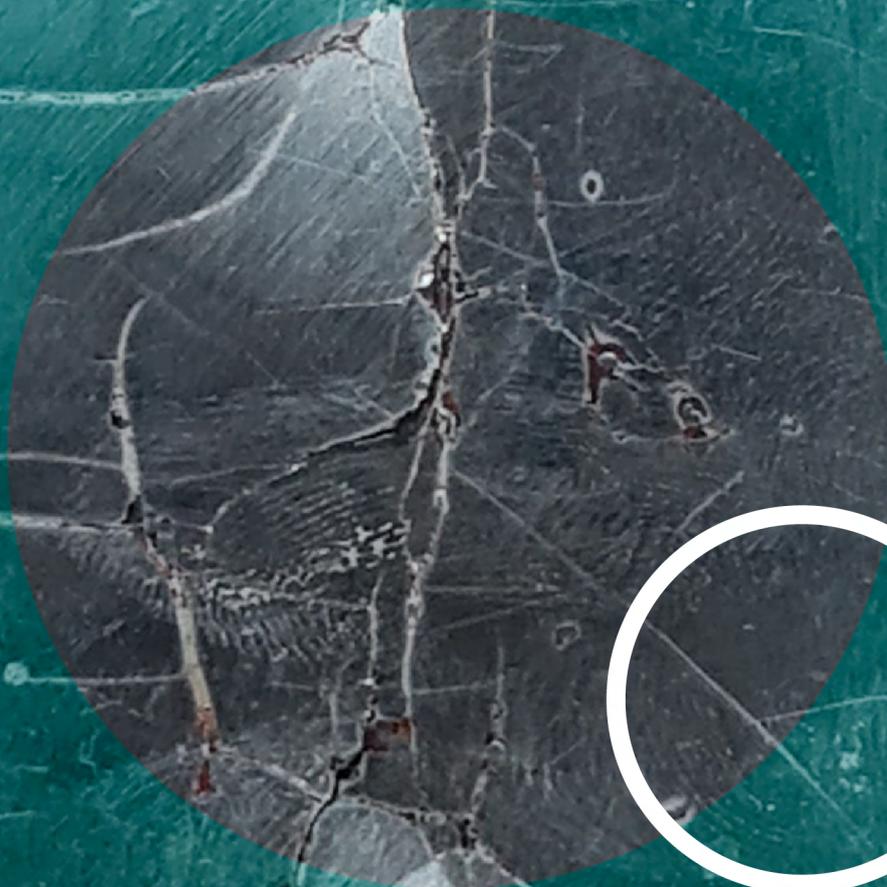


Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Industria
y Desarrollo Productivo

Corrosión en acumuladores de **energía solar térmica**

Guía de buenas prácticas para una protección adecuada



Corrosión en acumuladores de **energía solar térmica**

Guía de buenas prácticas para una protección adecuada



Autoría

Departamentos de Materiales, de Química Analítica y Residuos Urbanos,
y de Mecánica de la región Centro



Baldo, Jorge

Corrosión en acumuladores de energía solar térmica / Jorge Baldo ; Guillermo Garrido ; Aníbal Domínguez ; contribuciones de Julio Costa ; Sergio Farías ; Juan Carlos Gozalvez. - 1a ed. - San Martín : Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: online
ISBN 978-950-532-504-7

1. Energía Renovable. I. Garrido, Guillermo. II. Domínguez, Aníbal. III. Costa, Julio, colab. IV. Farías, Sergio, colab. V. Gozalvez, Juan Carlos, colab. VI. Título.
CDD 621.47



Contenido

—

1. Introducción	5
2. Sobre el alcance de esta guía	6
3. Sobre el fenómeno de corrosión por tensión	7
4. Protección del acumulador	8
5. Ubicación de la protección	9
6. Fundamentos sobre un sistema de protección	11
7. Mantenimiento preventivo	12
8. Sistema de protección catódica por corriente impresa (ICCP)	14
9. Preguntas frecuentes (FAQs)	15
10. Incrustaciones	16
11. ¿Cómo saber si estamos frente a un fenómeno de corrosión?	17
12. Fallas en la metalurgia por otros fenómenos	18
13. Capacidades de servicios del INTI	19

01. Introducción



Esta guía fue desarrollada con el propósito de difundir buenas prácticas que favorezcan la vida útil de los equipos de Energía Solar Térmica (EST). Su contenido atiende un área temática que complementa los ensayos indicados en las Normas que realiza el Laboratorio de Energía Solar Térmica de INTI.

Esta guía también rescata la experiencia de formación a terceros sobre sistemas de protección a equipos, que se consolida a partir del dictado de talleres organizados junto a la Cámara Argentina de Fabricantes de Equipos de Energía Solar Térmica y la Cámara de la Industria Energética de Córdoba.

El contenido fue desarrollado por un equipo de técnicos con competencias en diseño, construcción, inspección de equipos y estudio de mecanismos de deterioro de materiales de la sede del INTI en Córdoba.

A su vez, este material se **apoya en el análisis de casuística de equipos fallados**, instalados y en operación, que con el paso del tiempo presentan fallas antes de lo previsto, y se complementa con la puesta en marcha de una plataforma con equipos EST para realización de ensayos y mediciones.

Agradecemos aportes y revisiones del Laboratorio de Energía Solar Térmica del INTI de Buenos Aires, de la empresa de instalación y mantenimiento de colectores solares Service Hogar Solar y a los fabricantes FAME S.A. y FIASA.



Esperamos que este material resulte de utilidad para importadores, fabricantes y particularmente a instaladores.

Para solicitar asistencia técnica del INTI o dejar comentarios, invitamos a contactarse al correo: asistenciacba@inti.gov.ar

Sobre el alcance de esta guía

La guía abarca equipos de Energía Solar Térmica (EST) que producen y acumulan Agua Caliente Sanitaria (ACS) a escala doméstica. Los equipos tienen tecnologías diversas, a su vez los motivos de fallas prematuras tienen causas diversas; a continuación, se presenta el alcance que tiene la guía.

[Tipos de equipos]

- > Colectores de tubos al vacío 
- > Colectores de placa plana

[Tipos de fallas en los equipos]

- > Por el diseño de la instalación
- > Por el servicio
- > Por las características del agua
- > Por la metalurgia y otros materiales 

¿Sabías que existen distintos tipos de corrosión en la metalurgia?

En esta guía se aborda la SCC y en menor medida la CUI, que son los fenómenos identificados por el INTI en los análisis de fallas de equipos.

- > Picaduras (Pitting corrosion)
- > Microbiológicas (Microbiologically influenced corrosion - MIC)
- > Rendijas-Hendiduras (Crevice corrosion)
- > Bajo aislación (Corrosion Under Isolation - CUI) 
- > Bajo tensión (Stress Corrosion Cracking - SCC) 

TECNOLOGÍA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

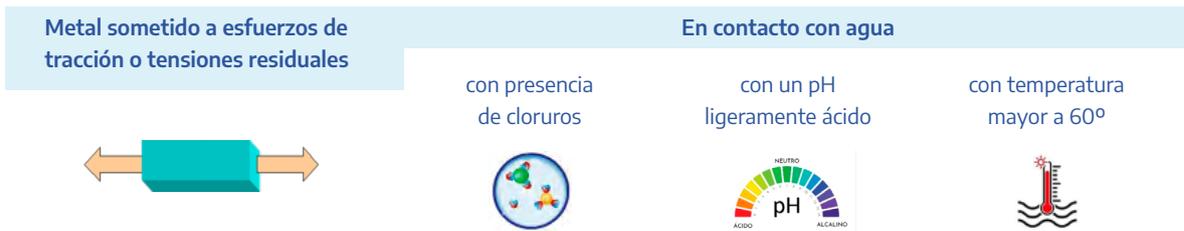
La Energía Solar Térmica (EST) fue durante varios años la de mayor capacidad instalada entre las energías renovables. Recién en 2015 fue superada por la eólica, y en 2018 por la fotovoltaica. El reporte Solar Heat Worldwide (SHC; 2021) muestra a nivel global un incremento sostenido, con un 3% de aumento interanual en el año 2021.

El último reporte del Censo Nacional Solar Térmico (INTI; 2020), da cuenta también del crecimiento sostenido en el país en la adopción de esta tecnología; con predominancia del uso doméstico para generación de agua caliente sanitaria. En cuanto a la distribución geográfica, más del 80 por ciento de las provincias registran actividades en el rubro.

03

Sobre el fenómeno de corrosión por tensión

Entre los materiales más utilizados en los acumuladores (tanque interior) de energía solar térmica (EST) se encuentran los Aceros Inoxidables Austeníticos; particularmente el AISI 304, que está compuesto por un 18% cromo y 8% níquel. Estos materiales son susceptibles al mecanismo de deterioro denominado “corrosión bajo tensiones por cloruros” -en inglés *Stress Corrosion Cracking (SCC)**- cuando se combinan tres factores.



***La corrosión SCC en los Aceros Inoxidables Austeníticos se manifiesta como fisuras intergranulares y ramificadas. Éstas hacen perder la estanqueidad del acumulador (se pinchan), lo cual provoca primero una disminución de la capacidad de aislación térmica y rendimiento (por humedecimiento del material aislante); y, finalmente, deja al equipo fuera de servicio de manera prematura.**



¿Sabías que el agua potable suministrada por red tiene siempre cloro residual (≤ 2 mg/l), agregado para efecto desinfectante, y cloruros naturales formando sales ($\text{Cl}^- \leq 250$ mg/l)?

Estas concentraciones son suficientes para desarrollar fisuras por corrosión de tipo SCC. A medida que aumenta la concentración de cloruros, aumenta la susceptibilidad de que ocurra este fenómeno.

04. Protección del acumulador



*imagen no propia,
tomada de la web

Si el tanque interior del acumulador es de acero inoxidable, para protegerlo se utiliza un ánodo de sacrificio.

Para que el ánodo de sacrificio funcione se debe instalar en contacto directo con la estructura metálica del tanque.



Con rosca metálica en el acumulador con contacto eléctrico al tanque.



Con copa plástica dentro de los tubos SIN contacto eléctrico al tanque no funciona como protección.



05

Ubicación de la protección



En caso de instalar un equipo nuevo, se aconseja elegir un modelo que tenga una entrada auxiliar para insertar el ánodo. Esta entrada, tipo hembra de $\frac{3}{4}$ " , debería ser del mismo acero inoxidable del tanque o de bronce.

Debería estar, preferentemente, ubicada sobre las tapas del cuerpo cilíndrico (en la parte baja para que haya contacto con el agua). La parte baja del mismo cuerpo cilíndrico, como lo muestra la imagen, también es una alternativa técnicamente factible.



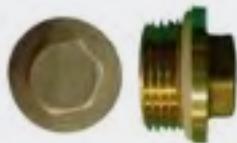
Un extremo roscado de plástico, como PP o PPC, no es conductor eléctrico.



Un extremo roscado de hierro o acero es susceptible a fenómenos de corrosión.



Una rosca metálica de bronce cubierta con un material aislante (teflón), puede dificultar la conducción eléctrica



El extremo roscado de $\frac{3}{4}$ " del ánodo debería ser de acero inoxidable o de bronce, ya que este es un material conductor y al mismo tiempo resistente a la corrosión.



Testear el contacto eléctrico/galvánico del ánodo entre la varilla magnesio y la rosca de bronce. Luego de colocado, el contacto eléctrico entre la rosca y el tanque metálico. Más adelante se indica cómo hacer la medición con un multímetro.



Otra alternativa de ubicación del ánodo puede ser en alguna entrada auxiliar, como lo muestra la imagen, de tipo hembra de 1 ¼". Será necesario mediar con un reductor macho 1 ¼" a hembra ¾".



No se recomienda usar la entrada donde se coloca el soporte de la resistencia eléctrica y la termocupla (sistema de apoyo térmico combinado con el ánodo). Aunque funcione como protección catódica, promoverá la acumulación de incrustaciones en la zona, y eventualmente el ánodo puede consumirse aceleradamente si la resistencia es de cobre descubierto.



06 Fundamentos sobre un sistema de protección



En una pila electroquímica, el ánodo realiza la protección del cátodo (metal a proteger). Esto se denomina sistema de protección catódica.

El ánodo protege al material susceptible al fenómeno de la corrosión; en este caso protege al acero inoxidable susceptible a la fisuración por SCC.

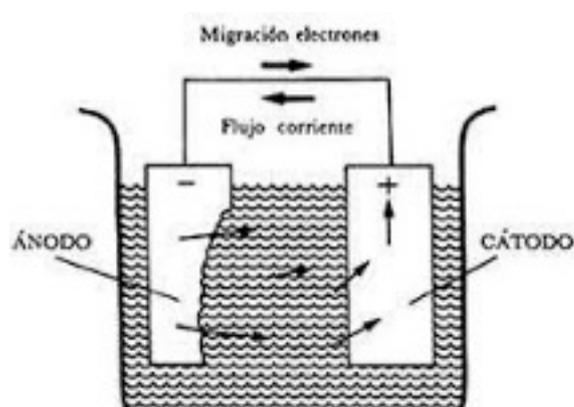
El ánodo está compuesto por una aleación con potencial eléctrico menor que el correspondiente al acero inoxidable.

Cuando se busca proteger aceros, se utilizan aleaciones de aluminio para contacto con agua de mar, de magnesio para contacto con agua dulce y de zinc para contacto con suelos.

El ánodo de sacrificio, vinculado directamente al tanque interno, posibilita “contacto galvánico o eléctrico” para que haya corriente de electrones.

Para que el ánodo cumpla su función, tiene que estar conectado con el metal que se quiere proteger; de esta forma está cerrado el circuito y por lo tanto hay paso de corriente (electrones generados por la oxidación del ánodo).

Las corrientes eléctricas que circulan, desde el ánodo hasta el metal que se protege, están en función del área a proteger y del medio corrosivo, en este



*imagen no propia, tomada de la web

07

Mantenimiento preventivo

La inspección de los ánodos de sacrificio es necesaria para evitar que el equipo quede sin protección al fenómeno de la corrosión. A continuación, se presenta frecuencias (cada cuanto) y métodos (el cómo) para realizar la inspección y eventual recambio del ánodo.

Frecuencia de inspección: se recomienda inspeccionar el ánodo con cierta frecuencia, que depende del uso del equipo y, fundamentalmente, de las características del agua (iones corrosivos, pH y dureza). Algunos instaladores sugieren hacer la inspección cada año, y la mayoría cada dos años. Con esta última indicación se busca evitar que el ánodo esté totalmente consumido para reemplazarlo.

Desde el INTI, se recomienda hacer un primer mantenimiento preventivo al año de la instalación del equipo y luego, si no hay dificultades, reiterarlo cada dos años.



Si no se controla por mucho tiempo el ánodo en funcionamiento, puede llevar a que se pegue y dificulte su extracción.

En la imagen se observa un ánodo con rosca hembra pegada que se cortó para analizar. Es un ánodo que tuvo dos años en servicio y que no se pudo desenroscar. Motivo de la adherencia puede ser la presencia de algún material sellador (por ejemplo, teflón); además las incrustaciones y la corrosión suman interferencia mecánica.





MÉTODOS DE INSPECCIÓN

Por observación: se presentan tres situaciones de referencias, respecto al posible estado del ánodo al momento de inspeccionar.



SITUACIÓN

RECOMENDACIÓN

Sin consumir

Se quita el sarro y vuelve a colocar



SITUACIÓN

RECOMENDACIÓN

Picaduras en todo el cilindro

Se le puede quitar el sarro y volver a colocar



SITUACIÓN

RECOMENDACIÓN

Completamente consumido

Se lo reemplaza por uno nuevo



Por medición: mediante un multímetro en modo resistencia Ohmios, colocando un borne sobre el extremo del ánodo y el otro borne sobre el tanque metálico, se puede determinar si ambos están en contacto eléctrico/galvánico, para garantizar la protección.



¿Sabías que, si los ánodos no se consumen a lo largo de mucho tiempo y mantienen la geometría original cilíndrica, se presume que no están bien conectados?

Solo están cumpliendo un efecto placebo, por lo tanto, no están protegiendo a los equipos.

08 Sistema de protección catódica por corriente impresa (ICCP)

Este sistema, aunque aún no difundido en el país, ni ensayado por el INTI, es ampliamente conocido cuando se busca proteger grandes estructuras metálicas. Actualmente, en algunos países, ya se está comercializando para proteger pequeños equipos, como los de agua caliente de uso domiciliario.



*imagen no propia, tomada de la web

¿Como funciona un ICCP? La diferencia de potencial (eléctrico) se crea mediante una fuente (externa) de corriente continua. La fuente externa es una placa electrónica que regula el suministro de corriente y voltaje en muy bajas cantidades. El sistema monitorea constantemente el potencial eléctrico de protección, suministrando la corriente a través del ánodo dispersor; esto provoca que la superficie húmeda del metal actúe como cátodo, eliminando o reduciendo la posibilidad de desarrollar corrosión.

Este sistema de protección es recomendable en medios corrosivos (con alto porcentaje de cloruros, soluciones ligeramente ácidas y temperaturas superiores a 50 ° C). A pesar de ser más caro que el de ánodos de sacrificio, no necesita el recambio del ánodo. Tiene la desventaja que requiere de una fuente de corriente externa.



Preguntas frecuentes (FAQs)

Si sabemos que el agua está dentro de parámetros fisicoquímicos aceptables, a los fines de conocer la susceptibilidad a la corrosión **¿es necesario controlar/ medir con regularidad la dureza del agua en cada una de las instalaciones?**



Una vez que conocemos los parámetros fisicoquímicos del agua, podemos asumir que serán estables en el tiempo.

Ante la duda si el agua que alimenta al equipo es ácida o ligeramente ácida ($\text{pH} < 7$) **¿se puede usar una tira colorimétrica para determinar pH fácilmente?**



Es un método efectivo y económico para determinar de manera rápida el pH del agua.

Si luego de un tiempo en servicio del equipo, el ánodo se ve alterado, pero fue colocado sin contacto directo con el metal a proteger **¿significa que ha funcionado como protector catódico?**



El magnesio puede diluirse en el agua, pero esto no significa que haya funcionado como protección catódica.

¿El ánodo de Mg sirve para ablandar el agua, como desincrustante y/o dispersante?



El ánodo solo sirve de protección para prevenir el fenómeno de la corrosión (SCC).

¿El agua potable suministrada por red, si es ligeramente ácida, es suficiente para desarrollar fisuras por el fenómeno de la SCC en un equipo?



La combinación del agua, ligeramente ácida, con presencia de cloruros y temperatura, habilita el fenómeno de corrosión (SCC).

¿A medida que aumenta la concentración de cloruros y la acidez en el agua, aumenta la posibilidad de que ocurra el fenómeno SCC en el equipo?



Cuando estas condiciones se agudizan, es aún más necesario un sistema de protección adecuadamente instalado y mantenido.

¿En equipos que tengan sobrecalentamiento de agua en verano, el vapor de agua es causal de fisuras por SCC?



El vapor de agua, solo, no es condición suficiente para desarrollar el fenómeno de la corrosión.

¿Hay alguna estadística de los motivos de fallas de los equipos EST instalados en el país? ¿Se conoce cuáles son las causas fundamentales de fallas en el acumulador y cuántas son debido al fenómeno SCC?



No hay información al respecto. Si tenés información de casuística que reportar, escribinos a asistenciacba@inti.gov.ar



10. Incrustaciones



La presencia de sarro/ **incrustaciones** depende fundamentalmente de la dureza del agua. Se trata de un **fenómeno antagónico** al de un proceso de **corrosión**. El índice de saturación de Langelier (ISL) es una forma de medir si el agua es corrosiva (ISL negativo) o si es propensa a formar sarro (ISL positivo). El índice de Ryznar (RSI) es otro índice que permite saber si el agua es incrustante o corrosiva.

Usando un equipo que mide la conductividad eléctrica en el agua, el instalador puede saber si el agua es propensa a generar incrustaciones. Si la medición es mayor a $850 \mu\text{S}/\text{cm}$ significa que es un agua con un total de sólidos disueltos mayor a 600 mg/l -partes por millón (ppm)- y tenderá a generar incrustaciones.

Recurriendo a un laboratorio, el instalador también puede saber si un agua tenderá a generar incrustaciones. Para esto se mide la dureza del agua a través de técnicas analíticas, fundamentalmente determinando calcio (Ca) y magnesio (Mg). Un agua tiende a generar incrustaciones si tiene una dureza total $> 200 \text{ mg/l}$ (ppm.).



Cuando los equipos EST requieran de una limpieza interior por acumulación de sarro y/o incrustaciones, se recomienda utilizar un método de limpieza mecánico, por ejemplo, agua a presión con una hidrolavadora. Otra alternativa es el empleo de un método químico, mediante la aplicación de vinagre blanco diluido con agua al 10-20%, siempre que se realice un enjuague final. Es necesario prestar especial atención a la resistencia eléctrica que es el lugar de mayor deposición de sarro (incrustación).



¿Sabías que la acumulación de incrustaciones baja el rendimiento térmico del equipo, por tratarse de compuestos aislantes, pero no generan fisuras por SCC en el metal?

¿Cómo saber si estamos frente a un fenómeno de corrosión?

Por observación visual se puede saber si dentro de los acumuladores hay microfisuras por corrosión bajo tensión (SCC).



Las fisuras típicas se aprecian en la superficie interna del tanque, fundamentalmente en las zonas deformadas y próximas a las uniones soldadas del equipo.

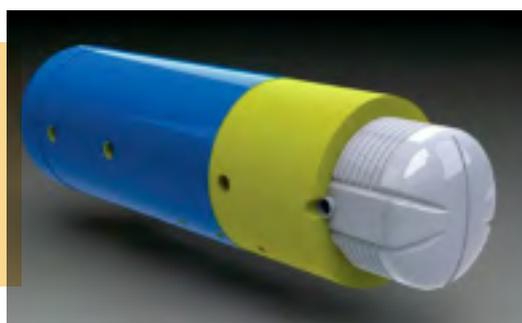
¿Sabías que no es posible la reparación de equipos contruidos con aceros inoxidables que presentan este tipo de patología “fisuras pasantes” por SCC?

Es muy difícil la reparación de equipos que desarrollaron esta patología, ya que se generan fisuras secundarias que se propagan cuando se intenta reparar. Ante estas situaciones, no queda alternativa que reemplazar el acumulador por uno nuevo.

Para reducir las condiciones que favorecen el fenómeno SCC, se recomienda tener especial cuidado cuando el agua que se utiliza tiene los siguientes valores:

- > Conductividad eléctrica > 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- > Cloruros > 250 mg/l (p.p.m.)
- > pH < 6.5

Donde el agua tiene condiciones que favorecen la corrosión SCC, puede ser recomendable utilizar otro tipo de material para los acumuladores. Se conocen materiales alternativos, tanto metálicos como polímeros, que tienen el potencial de cumplir las condiciones que requiere un acumulador.



*imagen no propia, tomada de la web

12 Fallas en la metalurgia por otros fenómenos

En los acumuladores pueden darse fallas metalúrgicas ajenas al fenómeno de la SCC. A continuación, se presentan tres motivos que se identifican con frecuencia.

Esfuerzo mecánico: por un sobreesfuerzo superando la resistencia mecánica del material o por tensiones cíclicas.



Muchas de las fisuras por corrosión son causadas por el movimiento permanente de las salidas de los tubos de venteos que no tienen un tutor correctamente instalado. El movimiento, debido por ejemplo al viento, termina fisurando la unión soldada entre el tubo y el tanque externo. En una instancia inicial, las pérdidas que se produzcan humedecerán la aislación térmica, promoviendo la corrosión bajo aislación (CUI) desde afuera del acumulador

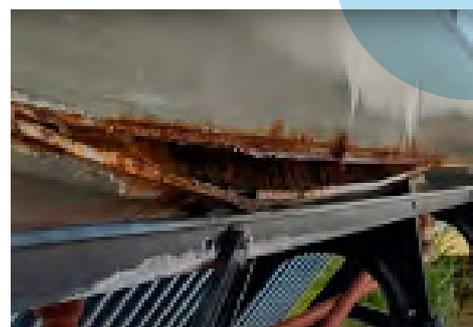


Deformaciones plásticas: pueden darse debido al proceso de fabricación del equipo durante el conformado o por las soldaduras; o por tensiones de servicio provenientes de la instalación o montaje del equipo que generan dilataciones térmicas, vibraciones o presiones.

Al momento de hacer mantenimiento se pueden encontrar acumuladores deformados (internamente). Las tensiones residuales en estas zonas deformadas son suficientes para promover la aparición de SCC.

Juntas/ o-rings dañados o mal colocados: filtran agua al material aislante de poliuretano, mojándolo y acumulando agua entre el tanque interno y la cobertura metálica, promoviendo CUI con aparición de deterioro desde afuera del acumulador y en la cubierta exterior.

La filtración del agua puede terminar agrietando y abriendo la cobertura (tanque externo). También eventualmente, el vínculo con la estructura metálica puede verse comprometida.



13. Capacidades de servicios del INTI

El INTI dispone de capacidades que puede servir al análisis de fallas de equipos que permitan evitarlas o reducirlas en las posteriores instalaciones; también eventualmente para disponer de parámetros para el diseño de equipos. Estos son algunos de los análisis y ensayos con los que podemos asistir:

Estudios del agua

- > Análisis fisicoquímicos básicos.
- > Identificación de elementos y compuestos específicos

Estudios de los metales

- > Análisis químicos (composición), ensayos mecánicos (propiedades) y análisis metalográficos (microestructura).
- > Análisis de depósitos, incrustaciones y productos de corrosión.
- > Análisis de fallas.
- > Ensayos no destructivos (ultrasonidos, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografiado, etc.).



INFORMACIÓN ADICIONAL

Censo del sector Solar Térmica

<https://www.inti.gob.ar/areas/desarrollo-tecnologico-e-innovacion/energia-y-movilidad/generacion-de-la-energia/publicaciones>

Certificación de Instaladores de Sistemas Solares Térmicos, Nivel II

<https://www.inti.gob.ar/areas/servicios-regulados/certificaciones/organi-mo-de-certificacion/tramites/instaladores-de-sistemas-solares-termicos-nivel-ii>



www.inti.gob.ar

consultas@inti.gob.ar

0800 444 4004

ISBN 978-950-532-504-7



9 789505 325047



Instituto Nacional
de Tecnología Industrial



Ministerio de Economía
Argentina

Secretaría de Industria
y Desarrollo Productivo