

FUNDAMENTOS



ABC

aceros inoxidables

Y por qué la **nitruración por plasma**
es la indicada para endurecerlos
sin dañar su escudo anticorrosión.



FUNDAMENTOS



aceros inoxidables

Y por qué la **nitruración por plasma**
es la indicada para endurecerlos
sin dañar su escudo anticorrosión.

Andrés Bernal D. | José Domingo Guerra B. | María Fernanda Cadavid T.

© 2025 | TRATAR | Tratamientos Térmicos

Este material tiene fines educativos y no puede usarse con propósitos económicos o comerciales. **TRATAR | Tratamiento Térmicos** posee y retiene todos los derechos de autor y otros derechos de propiedad intelectual, por tanto no puede ser reproducido, modificado, copiado ni comunicado sin consentimiento por escrito de la Compañía.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos



Le presentamos una guía clara y técnica sobre cómo funcionan los aceros inoxidables y por qué la nitruración por plasma es **el tratamiento más eficaz para endurecerlos** superficialmente sin perder resistencia a la corrosión.

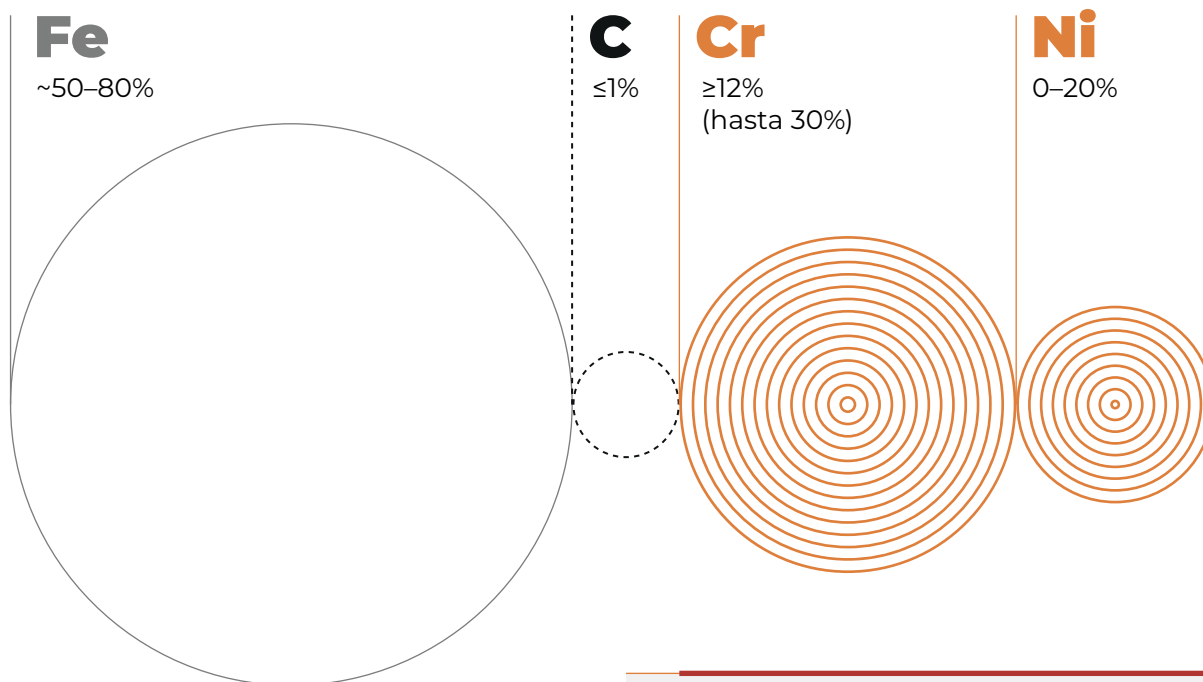
COMENCEMOS DESDE EL PRINCIPIO:



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

¿Qué es un acero **inoxidable?**

Es una aleación de hierro y carbono, como todos los aceros, que además contiene cromo y, en muchos casos, níquel.



Cromo, ante el contacto con el oxígeno del ambiente, forma una capa de óxido de cromo (Cr_2O_3) en la superficie del metal, que actúa como barrera protectora frente a agentes agresivos.

Níquel, por su parte, no participa directamente en esa capa, pero aporta estabilidad química y favorece la estructura del acero.

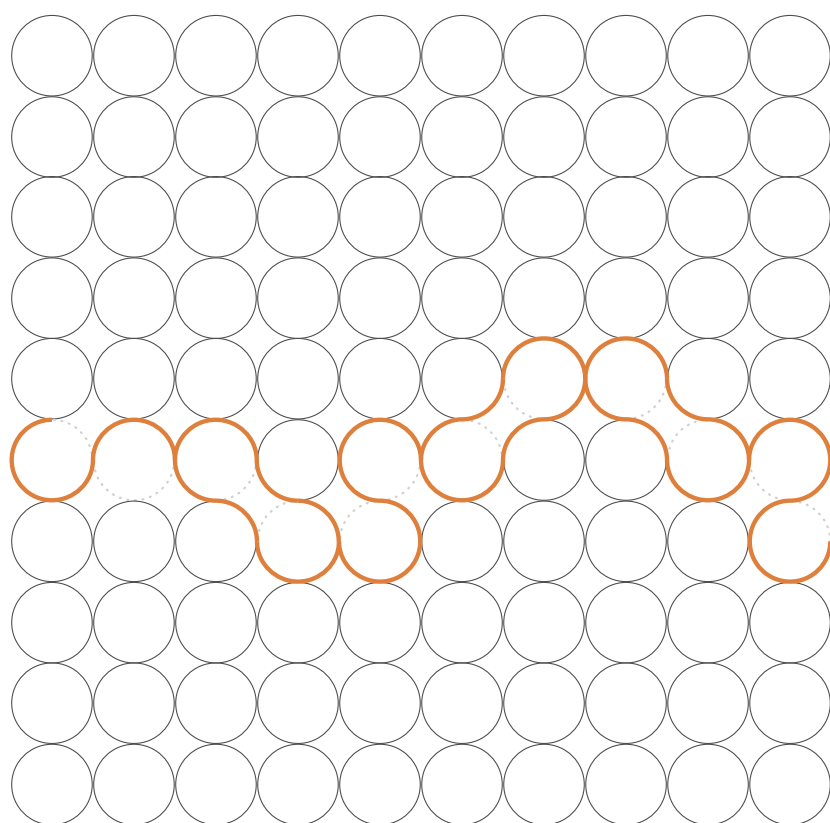
Estos dos últimos elementos les confieren una excelente resistencia a la corrosión, es decir, protección frente a la oxidación al entrar en contacto con aire, agua o sal.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Importante:

Para que se forme la película de óxido, el acero debe contener **al menos 12% en peso de cromo.**



La mayoría de los aceros inoxidables se basan en los sistemas Fe-Cr-C y Fe-Cr-Ni-C, aunque también pueden incluir otros elementos de aleación como molibdeno (Mo), manganeso (Mn), nitrógeno (N), silicio (Si), titanio (Ti) y niobio (Nb).



ABC Aceros Inoxidable
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Paradoja

El acero inoxidable no se oxida porque ya está 'oxidado'

La capa protectora en la superficie de los aceros inoxidables es **óxido de cromo** (Cr_2O_3), un tipo de óxido 'bueno' que 'sella' el material y evita que siga reaccionando con el aire, el agua o la sal.

Por eso se le llama 'película pasiva'.

00



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

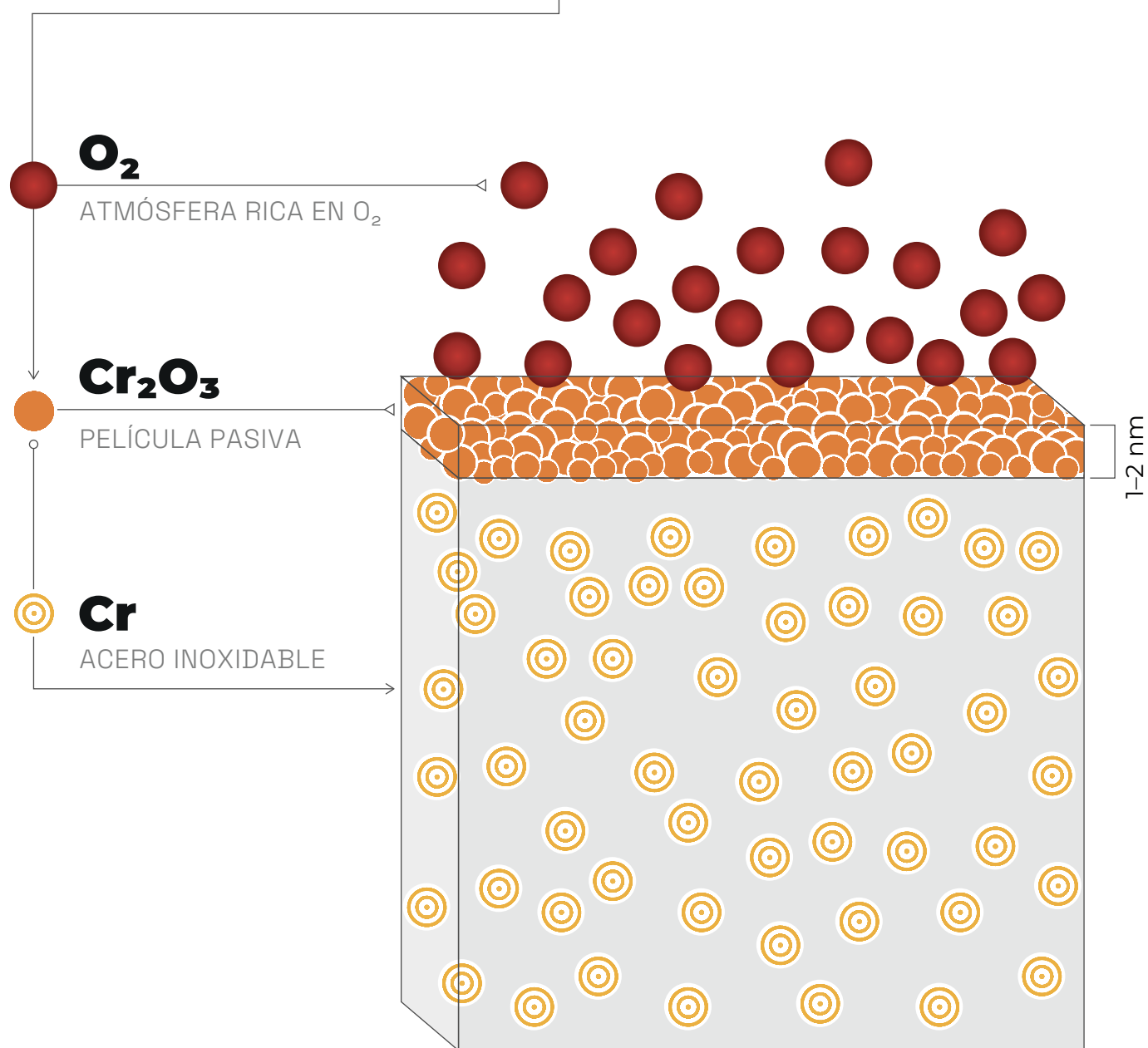


GRÁFICO | Reacción química del óxido de cromo



Una reacción rápida y autosuficiente: el cromo se oxida primero y forma una barrera que detiene la corrosión antes de que empiece.



El cromo presente en la superficie del acero reacciona con el oxígeno del aire y **forma espontáneamente una película ultrafina de óxido de cromo** (Cr_2O_3).

Esta película, de solo 1 a 2 nanómetros, recubre completamente la superficie y actúa como una barrera que **impide que el oxígeno penetre y corra el metal**.



Por eso el acero inoxidable **mantiene su resistencia** a la corrosión con el tiempo.

Si la capa se daña (por mecanizado, golpe, o rayado), **se reforma automáticamente**, siempre que haya oxígeno disponible.

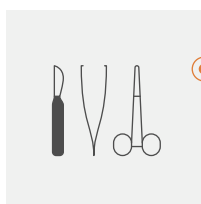


ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Algunas aplicaciones

Los aceros inoxidables están por todas partes (y no por casualidad). Estos se eligen cuando hay que combinar durabilidad, limpieza y una buena apariencia, sin que el material falle con el paso del tiempo.

ALIMENTOS | Se usan en componentes de equipos que procesan alimentos porque no contaminan, no se oxidan y son fáciles de limpiar. Tanques, válvulas, superficies de contacto: todo debe ser inoxidable, literalmente.



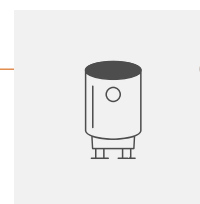
MEDICINA Y FARMACÉUTICA

En quirófanos y laboratorios, los instrumentos no pueden oxidarse ni guardar residuos. Por eso, el acero inoxidable es sinónimo de higiene y esterilidad.



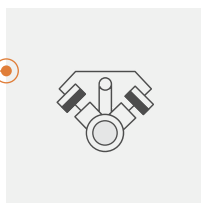
INDUSTRIA QUÍMICA Y PETROLERA

En estos contextos mandan los ácidos, la presión y el calor. Por eso, se necesita un material que no se corroa en ambientes hostiles: tuberías, reactores y válvulas.



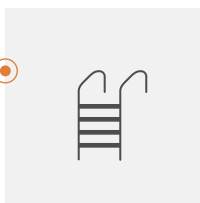
GENERACIÓN DE ENERGÍA

En plantas de energía, turbinas y calderas, se necesita un acero que aguante calor, vapor y años de trabajo sin agrietarse ni oxidarse.



AUTOMOCIÓN Y TRANSPORTE

Desde molduras, escapes, estructuras, hasta componentes de motores de autos y aviones: se usa cuando se busca belleza con resistencia, sin tener que reemplazar piezas por corrosión.



CONSTRUCCIÓN Y MOBILIARIO URBANO

Barandas, fachadas, tornillos a la vista. Es un material que soporta la intemperie sin perder su forma ni su brillo.



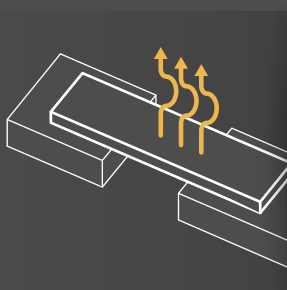
BIENES DE CONSUMO

Desde una cuchara hasta una cafetera, el acero inoxidable está ahí porque luce bien, dura mucho y no guarda olores ni sabores.



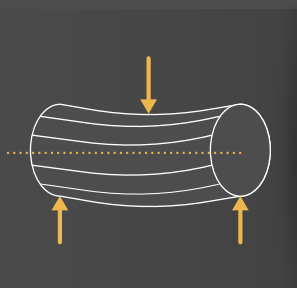
ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Desventajas



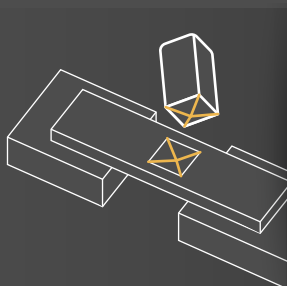
Baja capacidad para soportar carga:

En general, su resistencia estructural es menor que la de otros aceros aleados.



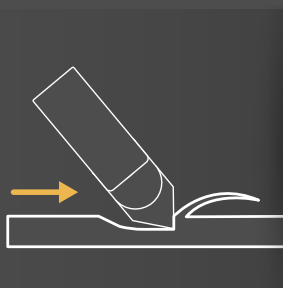
Límite elástico relativamente bajo:

Se deforman más fácilmente bajo esfuerzos constantes.



Baja dureza:

Especialmente en los austeníticos, que no pueden endurecerse por tratamiento térmico.



Baja resistencia al desgaste:

No son ideales para aplicaciones con fricción o abrasión constante, a menos que se modifiquen superficialmente (por ejemplo, con nitruración).



Tipos de acero inoxidable

AISI/UNS
MÁS USADOS

COMPOSICIÓN
TÍPICA

PROPIEDAD
MECÁNICA DOMINANTE

APLICACIONES
TÍPICAS

TRATAMIENTO
TÉRMICO

Martensíticos

- AISI 410 —
- AISI 420 —
- AISI 431 —
- AISI 440 —

Cr CROMO
Típicamente entre
10,5 y 18%

C CARBONO
0,1 - 0,4%

- Alta resistencia mecánica y dureza.
- Baja tenacidad y ductilidad.

Instrumentos de corte.

Válvulas.

Turbinas.

Ejes.

Se endurecen por tratamiento térmico (temple y revenido).

Son los únicos inoxidables templables por martensita.

Ferríticos

- AISI 409 —
- AISI 430 —
- AISI 439 —
- AISI 446 —

Cr CROMO
10,5 - 30 %
Bajo carbono.
Sin níquel.

- Resistencia media
- Buen comportamiento en ambientes moderadamente corrosivos

Sistemas de escape.

Línea blanca.

Intercambiadores de calor.

No son templables.

Se utilizan en estado recocido o trabajado en frío.

Austeníticos

- AISI 304 —
- AISI 316 —
- AISI 321 —
- AISI 310 —

Cr CROMO
16 - 26 %

Ni NÍQUEL
8 - 22 %

C CARBONO
Bajo carbono, especialmente en grados L

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Alta ductilidad y tenacidad.

Industria alimentaria.

Equipos médicos.

Ambientes marinos.

No se endurecen por temple.

Su resistencia puede incrementarse por trabajo en frío, en especial en grados no estabilizados.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

AISI/UNS MÁS USADOS 	COMPOSICIÓN 	PROPIEDAD MECÁNICA DOMINANTE 	APLICACIONES TÍPICAS 	TRATAMIENTO TÉRMICO 
UNS S32205 S31803 S32750	Cr CROMO 18 - 26 % Ni NÍQUEL 4,5 - 6,5 % Mo N Presentes	Dúplex - Alta resistencia mecánica. - Alta resistencia a picaduras y grietas.	Industria química. Tuberías submarinas. Plantas de desalinización (especialmente con grados súper dúplex).	No son templables. Se suministran en estado de recocido por solución, lo que permite equilibrar sus fases.
AISI 630 También conocido como 17-4 PH UNS S17400	Cr CROMO ~15 - 17 % Ni NÍQUEL ~3 - 5 % Cu Al Nb Cobre, aluminio o niobio como elementos endurecedores.	Endurecibles por precipitación (PH) - Alta resistencia mecánica. - Buena tenacidad y resistencia a la corrosión. - Estabilidad dimensional.	Aeroespacial. Moldes de inyección. Ejes, engranajes y componentes estructurales de precisión	Se endurecen por envejecimiento térmico (precipitación). Se suministran en estado recocido (condición A) y se envejecen según la propiedad deseada.
Metales sinterizados / Acero inoxidable por pulvimetalurgia				
No tienen una designación AISI convencional. Se producen según especificaciones propias, a menudo basados en 316L u otras composiciones estándar, adaptadas al proceso de sinterizado.	Equivalentes a grados comerciales (como 316L), pero con posibles ajustes de carbono, níquel o aditivos según la aplicación y la densidad buscada.	- Buena resistencia a la corrosión - Menor resistencia mecánica y densidad estructural comparado con aceros forjados. - Sensibles a la porosidad.	Filtros metálicos. Implantes médicos. Herramientas quirúrgicas de precisión. Componentes de bajo impacto estructural. Piezas con formas complejas, difíciles de mecanizar.	Pueden recocerse o aplicarse tratamientos térmicos suaves para mejorar cohesión y microestructura. La nitruración por plasma es especialmente útil para endurecer la superficie sin fragilizar el material poroso.



Lo que muestra esta tabla

Al analizar los distintos tipos de acero inoxidable, se evidencian patrones que nos permiten obtener información clave:

Elementos de aleación

determinan el desempeño del acero inoxidable frente a esfuerzos mecánicos, tratamientos térmicos y ambientes corrosivos.

C

CARBONO

Presente en todos los aceros, determina su dureza y capacidad de respuesta al tratamiento térmico.

En los martensíticos, un contenido moderado a alto permite formar martensita, estructura dura y frágil.

En los austeníticos, debe mantenerse bajo para evitar la precipitación de carburos de cromo, que reducen la resistencia a la corrosión.

Cr

CROMO

Es el elemento clave que convierte un acero común en inoxidable. A partir de un 12% en peso, el cromo permite la formación espontánea de una delgada película de óxido de cromo (Cr_2O_3) en la superficie.

Esta capa pasiva actúa como barrera protectora frente a la corrosión.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Ni**NÍQUEL**

Estabiliza la estructura austenítica (FCC), lo que mejora la ductilidad, la tenacidad y la resistencia a la fractura, incluso a bajas temperaturas.

También aporta estabilidad química en entornos agresivos. Es fundamental en los aceros austeníticos.

Mo**MOLIBDENO**

Refuerza la resistencia a la corrosión localizada, especialmente frente a cloruros. Reduce la susceptibilidad a picaduras y grietas.

Es común en aceros para ambientes marinos, químicos o farmacéuticos (como el AISI 316).

N**NITRÓGENO**

Mejora la resistencia mecánica al actuar como endurecedor por solución sólida y aumenta la resistencia a la corrosión localizada.

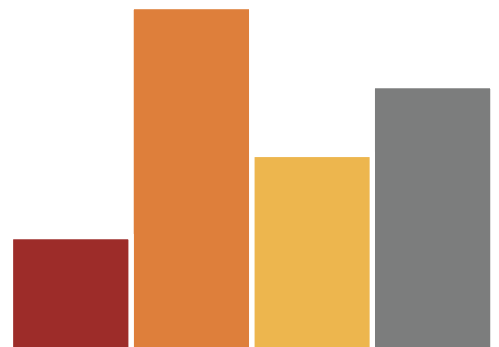
También estabiliza la fase austenítica. Se encuentra en algunos aceros dúplex y austeníticos de alto desempeño.

Nb**NIOBIO**

No están presentes en todos los inoxidables, pero son fundamentales en los endurecibles por precipitación (PH).

Al**ALUMINIO**

Permiten formar fases finas y duras mediante envejecimiento térmico, mejorando la resistencia mecánica sin sacrificar la integridad química ni la resistencia a la corrosión.



Respuesta de los aceros inoxidables al tratamiento térmico

TIPOS DE ACERO

MARTENSÍTICOS

FERRÍTICOS + AUSTENÍTICOS + DÚPLEX

PH (ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN)

TODOS LOS TIPOS

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

● TEMPLE

Únicos inoxidables que pueden templarse.
Su dureza se ajusta con el correspondiente revenido.

● DEFORMACIÓN EN FRÍO

No son templables. Se usan en estado recocido.

● ENVEJECIMIENTO TÉRMICO

Tras un recocido inicial, se endurecen mediante tratamientos de precipitación.

● NITRURACIÓN POR PLASMA

Según el caso. Tratamiento superficial a baja temperatura. Especialmente útil para piezas fabricadas por pulvimetalurgia e impresión 3D, donde no se desea alterar el núcleo ni la microestructura base.

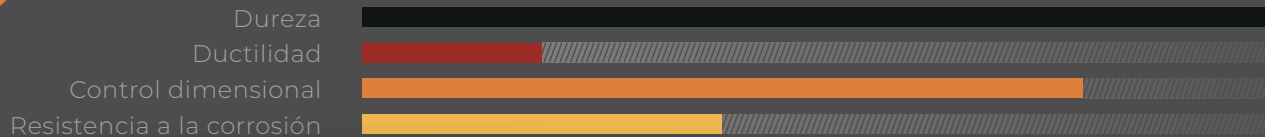


ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

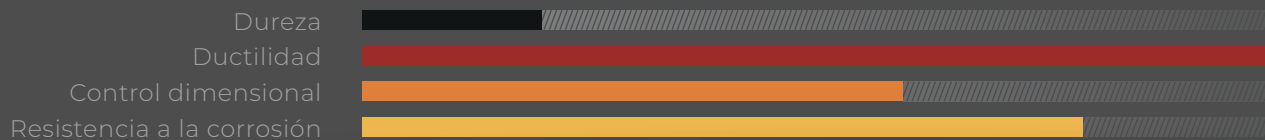
3

Relación entre propiedades mecánicas

Martensíticos



Ferríticos



Austeníticos



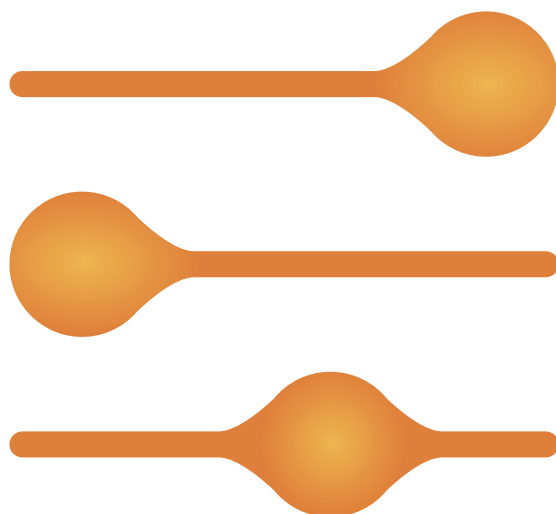
Dúplex



Endurecibles por precipitación (PH)



¿Cómo tratar un acero inoxidable?



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Los tratamientos térmicos se aplican para **modificar las propiedades mecánicas del acero**, especialmente su resistencia al desgaste.

Sin embargo, no todos los tipos de acero inoxidable responden igual a estos tratamientos.



¿Qué tipo de tratamientos existen?

ENDURECER Y AJUSTAR
LA TENACIDAD

Exclusivo para
los inoxidables
martensíticos

**TEMPLE Y
REVENIDO**

GENERAR
FASES DURAS

Mediante
elementos como
niobio o aluminio,
en aceros PH.

**ENVEJECIMIENTO
TÉRMICO**
(precipitación)

ABLANDAR
EL MATERIAL
Y ALIVIAR
TENSIONES
INTERNAS

Especialmente
en ferríticos,
austeníticos
y dúplex.

RECOCIDO

**TRABAJO
EN FRÍO**

MEJORA
LA RESISTENCIA
MECÁNICA MEDIANTE
DEFORMACIÓN PLÁSTICA
sin alterar su estructura
cristalina.

Particularmente útil
en austeníticos.

Y, ¿LA NITRURACIÓN?



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

PERO...

¿Por qué los tratamientos térmicos que trabajan a alta temperatura pueden estropear un acero inoxidable?



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

La deformación en frío, aplicada en aceros austeníticos, ferríticos y dúplex, y el envejecimiento por precipitación, utilizado en aceros tipo PH, permiten aumentar la resistencia a la tracción y la dureza en toda la sección sin comprometer la resistencia a la corrosión. Funcionan dentro de los límites estructurales de cada aleación y son eficaces cuando se busca reforzar el conjunto del material sin modificar su superficie.

Pero cuando el objetivo es aumentar la dureza sin perder la protección pasiva, la 'alternativa clásica' es usar aceros inoxidables martensíticos y aplicar un tratamiento de temple y revenido.

Sin embargo, este proceso implica calentar por encima de 950 °C y enfriar bruscamente para inducir martensita. El riesgo: la sensibilización, es decir, la formación de carburos de cromo en los bordes de grano, que deteriora la película pasiva y reduce la resistencia a la corrosión.

¿OTRA ALTERNATIVA PARA ENDURECER ACEROS INOXIDABLES?

Si el objetivo es reforzar la superficie sin comprometer la ductilidad del núcleo ni las propiedades anticorrosivas del material,
vale la pena considerar los tratamientos termoquímicos, en especial, la nitruración.



Nitruración

de los aceros inoxidables

La nitruración es un tratamiento termoquímico que endurece la superficie del acero al introducir átomos de nitrógeno en su capa externa.

A diferencia de los tratamientos térmicos, que se basan en cambios de fase por calentamiento y enfriamiento controlados, la nitruración es un tratamiento termoquímico que introduce átomos de nitrógeno en la superficie del acero para aumentar su dureza y resistencia al desgaste. No implica una transformación completa de la estructura cristalina, sino un enriquecimiento superficial en nitrógeno que modifica sus propiedades.

En la industria, existen tres métodos principales para realizar la nitruración:

Baño de sales

Atmósfera gaseosa

Plasma

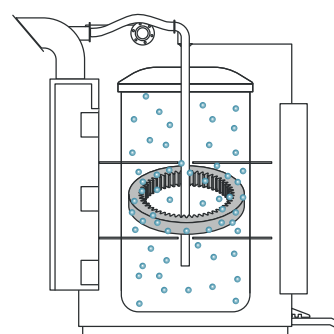
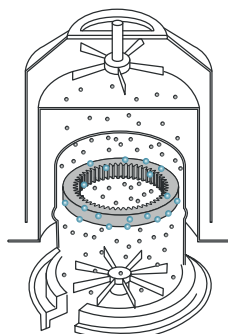
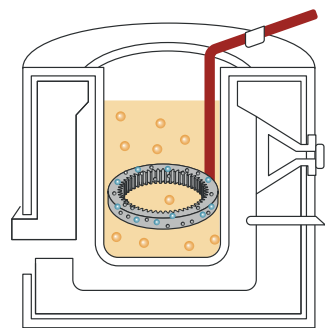
VEÁMOSLOS EN PARALELO:



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Comparación

Métodos de nitruración de Aceros Inoxidables



MÉTODO DE NITRURACIÓN ►

SALES FUNDIDAS

ATMÓSFERA GASEOSA

NITRURACIÓN POR PLASMA

MEDIO

Sales de cianuro fundidas.

Atmósfera gaseosa (generalmente amoníaco disociado).

Descarga luminiscente en atmósfera controlada.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Las piezas se sumergen en un baño de sales a base de cianuro. Este baño contiene compuestos como cianato de sodio (NaCNO) y cianuro de sodio (NaCN), que se disocian térmicamente. El cianuro actúa como fuente de nitrógeno (y también de algo de carbono), que penetra en la superficie del acero por difusión.

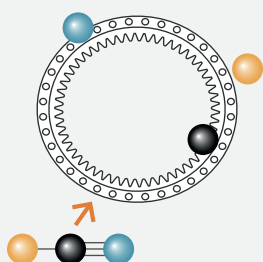
La nitruración gaseosa se realiza introduciendo las piezas en un horno con una atmósfera rica en amoníaco (NH_3). El amoníaco se disocia parcialmente en hidrógeno y nitrógeno atómico, y este nitrógeno es el que se difunde a través de la superficie del acero.

Dentro de una cámara de vacío, se crea un campo eléctrico de alta tensión entre las piezas (que actúan como cátodo) y las paredes del horno (ánodo). La atmósfera, compuesta por gases de nitrógeno (N_2) e hidrógeno (H_2), se ioniza al paso de la corriente y forma un plasma activo. Los iones acelerados por el campo eléctrico impactan la superficie de las piezas y el nitrógeno penetra por difusión.

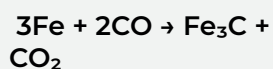
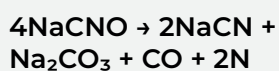


ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración por plasma es la indicada para tratarlos sin arruinarlos

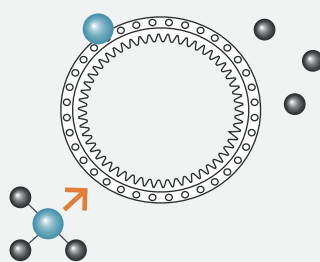
PRINCIPIO

SALES
FUNDIDAS**Difusión de sales
de cianuro**

La reacción térmica disocia las sales y libera especies nitrogenadas activas:



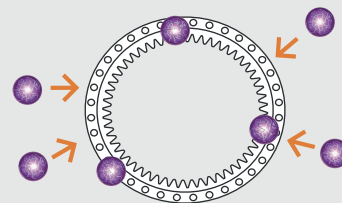
Estas especies permiten la formación de una capa nitrurada, con alto contenido de nitruros y cementita.

ATMÓSFERA
GASEOSA**Difusión de
amoníaco**

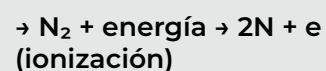
El amoníaco se descompone en contacto con la superficie caliente del acero:



El nitrógeno atómico se adhiere y penetra por difusión hacia la capa superficial del material, generando compuestos como nitruros de hierro (Fe_{2-3}N), responsables del aumento de dureza.

NITRURACIÓN
POR PLASMA**Bombardeo de iones
de nitrógeno**
Gas con carga eléctrica

En condiciones de baja presión (1–10 hPa) y con una diferencia de potencial de 300 a 1000 V, el gas se transforma en plasma:



→ Los iones se aceleran hacia el cátodo (las piezas), provocando limpieza por sputtering, activación superficial y entrada de nitrógeno en estado atómico, altamente reactivo.

TEMPERATURA
DE PROCESO

RANGOS TÍPICOS PARA LOS ACEROS AL CARBONO:

570 - 620 °C
1058 - 1148 °F

520 - 600 °C
968 - 1112 °F

350 - 600 °C
662 - 1112 °F

LÍMITE DE DEGRADACIÓN DE LA CAPA PASIVA EN ACEROS INOXIDABLES:
450 - 470 °C = 842 - 878 °F



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

APLICACIÓN EN ACEROS INOXIDABLES

SALES FUNDIDAS



POCO RECOMENDABLE

No es ideal. Aunque puede formar una capa dura, el proceso daña severamente la pasivación natural del acero inoxidable.

Las sales interfieren con la película de óxido de cromo, generando zonas de ataque localizado (picaduras) que comprometen la resistencia a la corrosión.

Además, el contenido de carbono que difunde junto con el nitrógeno puede formar carburos de cromo, reduciendo aún más la resistencia a la corrosión del material.

ATMÓSFERA GASEOSA



RIESGOSO SIN CONTROL ESTRICTO

El proceso debe manejarse con extremo cuidado. Si la temperatura excede cierto umbral o la atmósfera no se regula adecuadamente, puede formarse nitruros de cromo en los límites de grano, lo cual reduce el contenido de cromo libre y compromete la resistencia a la corrosión.

Además, no se forma una zona compuesta bien definida, y la dureza alcanzada puede ser menor que con otros métodos más controlables.

En la mayoría de los casos es necesario realizar un proceso adicional: la postoxidación. Este paso regenera la capa de óxido de cromo y mejora la resistencia a la corrosión, aunque rara vez la restituye por completo.

NITRURACIÓN POR PLASMA



ALTAMENTE RECOMENDADO

Es el tratamiento ideal. Gracias a la baja temperatura a la que se puede realizar (~350 - 450 °C) y al control preciso del entorno, no se forman nitruros de cromo ni se pierde la película pasiva.

La nitruración por plasma permite endurecer la superficie sin afectar la resistencia a la corrosión, manteniendo la estructura base del acero inoxidable.

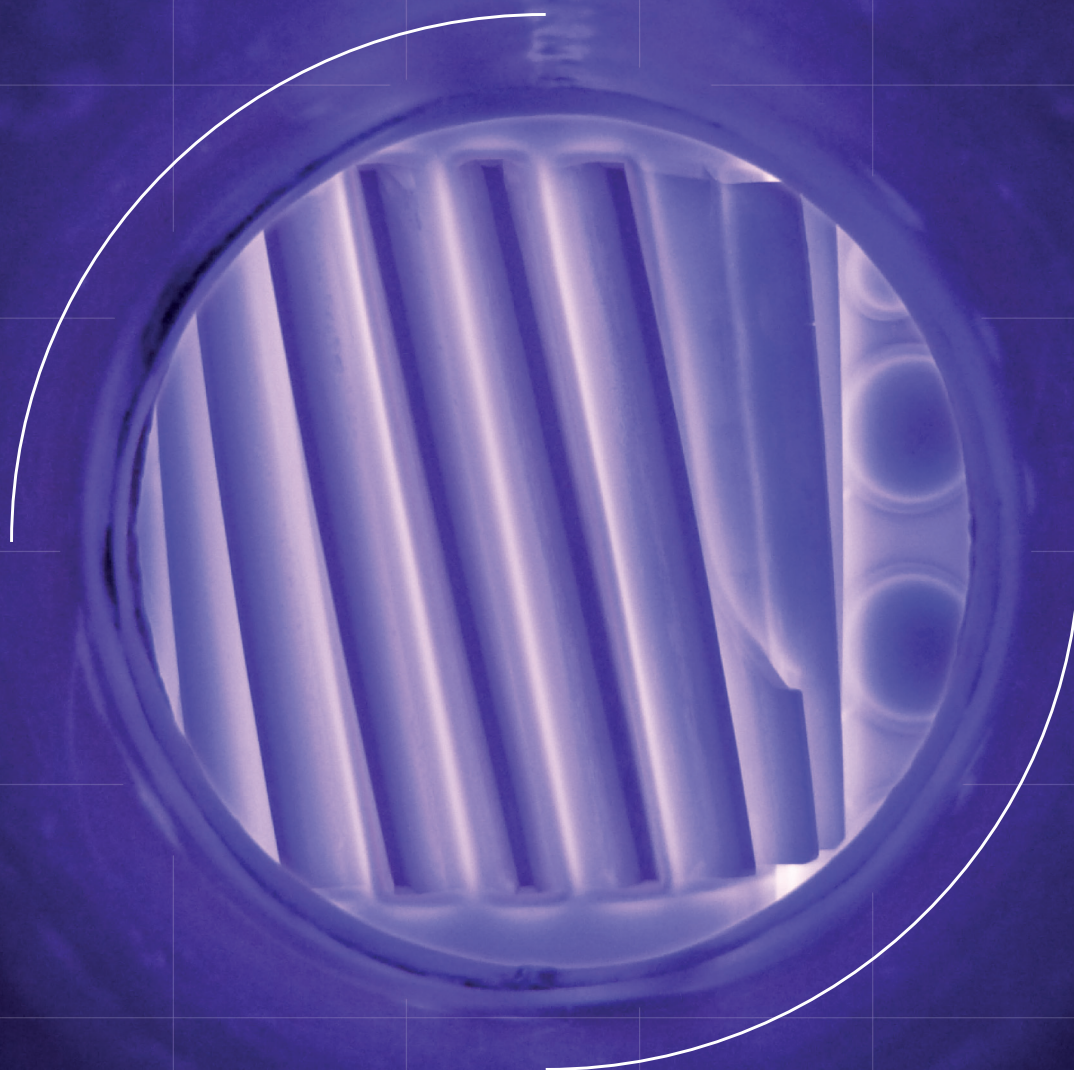
Además, al no utilizar carbono en el medio, evita por completo el riesgo de sensibilización del grano.

El resultado es una zona endurecida por fase expandida (S-phase), limpia, uniforme y compatible con ambientes exigentes, como farmacéutica, médico, alimenticio o marino.

No requiere postoxidación.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración por plasma es la indicada para tratarlos sin arruinarlos



¿Por qué

la nitruración por plasma
es la indicada para tratar
los aceros inoxidables
sin arruinarlos?



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

NITRURACIÓN

POR

plasma

La mayoría de los tratamientos térmicos presentan un dilema al aplicarse sobre aceros inoxidables: sí, pueden aumentar la dureza, pero lo hacen a costa de su propiedad más valiosa: la resistencia a la corrosión.

La nitruración por plasma rompe con esa lógica. Porque, no solo permite endurecer la superficie sin alterar el corazón del material, sino que **protege e incluso mejora la pasivación**, algo que los otros métodos simplemente no pueden garantizar.

Su ventaja radica en el control fino del proceso y en las condiciones únicas del entorno de plasma.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos



¿Qué hace diferente la nitruración por plasma?



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos



Control de temperatura

La nitruración por plasma puede operar a bajas temperaturas (**≈350 - 450 °C en aceros inoxidables austeníticos**), lo que evita transformaciones de fase no deseadas y mantiene el cromo estable en solución sólida.

Esta temperatura controlada minimiza el riesgo de distorsión, protege la geometría original de la pieza y reduce la necesidad de rectificados posteriores.

El secreto no está en el calor, sino en bombardeo iónico.

NOTA CLAVE

El proceso se realiza en una cámara de vacío con gases como hidrógeno y nitrógeno. Un campo eléctrico de alta tensión ioniza estos gases y dirige los iones hacia la superficie de las piezas, activando su superficie y facilitando la difusión del nitrógeno.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Sputtering optimizado con argón

Los iones de hidrógeno, por su tamaño pequeño, no penetran en la red cristalina: rebotan limpiando la superficie de impurezas, grasas y residuos. Esta limpieza por impacto se conoce como sputtering.

Cuando se trata de aceros inoxidable, se añade argón, un gas noble con átomos más pesados. Estos iones de argón logran remover también la capa pasiva de óxido de cromo, lo que podría parecer un problema... pero no lo es.

Al eliminarse temporalmente esa barrera superficial, el nitrógeno puede difundir con mayor efectividad. Lo que se forma es una capa nitrurada enriquecida, compuesta por la microestructura original del material y átomos de nitrógeno incrustados en ella pero sin formar nitruros de cromo, que mejora la dureza y la resistencia a la corrosión.

Técnicamente, esta capa se conoce como fase expandida o S-phase (cuando se forma sobre austenita), y corresponde a una solución sólida sobresaturada de nitrógeno en la red cristalina. A diferencia de los nitruros precipitados, esta fase endurece la superficie sin comprometer la resistencia a la corrosión ni alterar la estructura interna del acero.

DATO NITROSO

La nitruración por plasma endurece sin afectar el núcleo de la pieza, combinando baja fricción con un núcleo dúctil. **Una combinación insuperable.**

Y no hay que preocuparse por la capa pasiva: al finalizar el proceso, el cromo libre en la superficie reacciona con el oxígeno del aire y regenera espontáneamente una nueva película protectora.

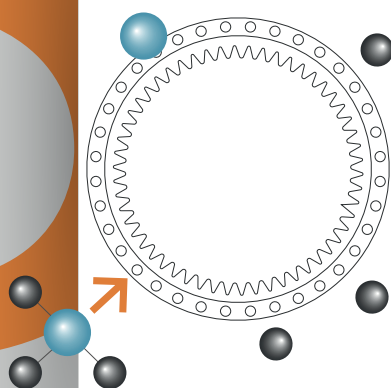


ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Proceso libre de oxígeno

Otra gran ventaja de la Nitruración por Plasma es que se realiza en un entorno 'oxígeno-free'. Esto marca una diferencia real con otros métodos:

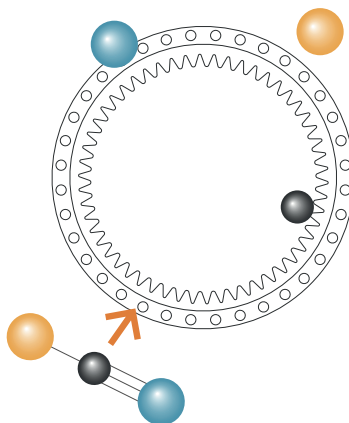
Nitruración gaseosa



Aunque el hidrógeno actúa como gas reductor, la eliminación de óxidos de cromo es parcial y desigual.

Si quedan óxidos en la superficie, el nitrógeno no penetra bien, y la capa nitrurada pierde consistencia.

Nitruración en sales fundidas



En presencia de oxígeno, los compuestos activos forman nuevamente óxidos de cromo, que actúan como una barrera pasiva durante el tratamiento.

Esto impide una nitruración profunda y homogénea.



Capa doblemente funcional

Durante la nitruración por plasma, la superficie del acero inoxidable se somete a una limpieza profunda: el proceso comienza con la eliminación de los óxidos naturales para despejar el camino al nitrógeno. Una vez abierta la superficie, el nitrógeno difunde fácilmente hacia el material.

Lo que ocurre a continuación depende principalmente de la temperatura del tratamiento. A temperaturas más altas, el nitrógeno puede formar nitruros metálicos duros y bien definidos, ideales para proteger contra el desgaste. A temperaturas más bajas —especialmente en los aceros austeníticos, más sensibles a la corrosión— el nitrógeno no forma compuestos separados, sino que se disuelve en la red cristalina y genera una estructura especial conocida como austenita expandida o fase S.

Esta S-phase es una verdadera joya metalúrgica: **combina alta dureza con excelente resistencia a la corrosión.** No rompe la película protectora de óxido de cromo; al contrario, la conserva. Así, logramos lo que parecía imposible: endurecer la superficie sin destruir su capacidad de resistir ambientes agresivos.

¿Y EL RESULTADO FINAL? UN 'SÁNDWICH INOXIDABLE':

- En el centro, el acero original, que conserva sus propiedades mecánicas.
- A su alrededor, una capa endurecida por la acción del nitrógeno.
- En la superficie, una nueva película pasiva de óxido de cromo que actúa como escudo frente a la corrosión.

Por eso decimos que la nitruración por plasma no elige entre dureza o resistencia química: se queda con las dos.

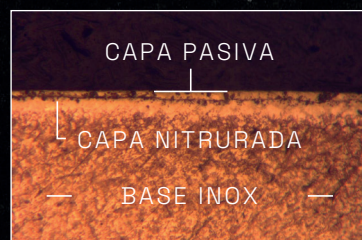
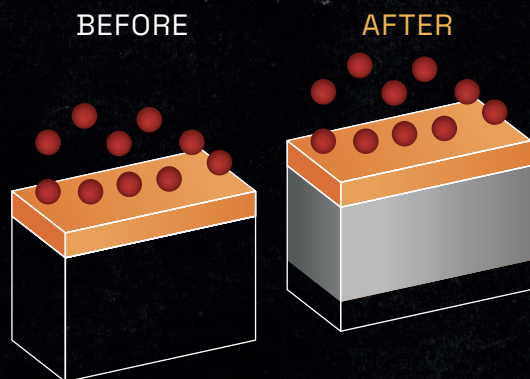
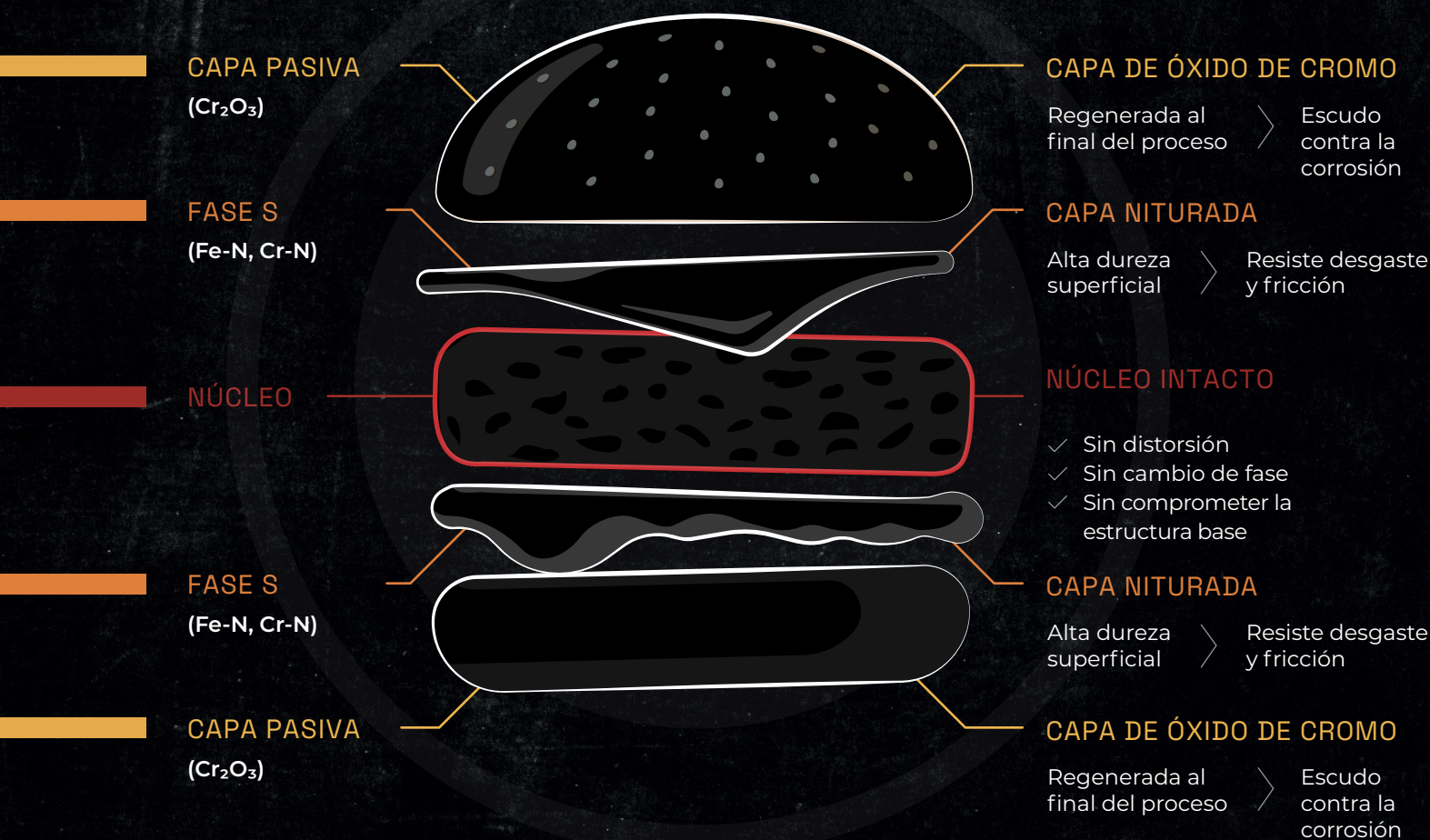


ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

[illegible]

Con la nitruración por plasma, el acero inoxidable gana una doble capa de poder

Como un sándwich funcional, forma una doble capa que lo tiene todo: dureza en la superficie por la fase S y resistencia a la corrosión gracias a la película de óxido de cromo.



MICROGRAFÍA

Acero inoxidable STAVAX
200X | 50 µm

¿En qué casos es recomendable someter una pieza de acero inoxidable a nitruración por plasma?



Aplicaciones recomendadas

- Alternativa al cromo duro o a ciertos recubrimientos externos, dependiendo del requerimiento técnico.*
- Alta fricción con riesgo de desgaste.
- Piezas móviles en contacto deslizante (eje, guías, sellos).
- Ambientes corrosivos + requerimiento de dureza superficial.
- Piezas que exigen precisión dimensional sin distorsión.
- Materiales porosos sin sintetizar o con cavidades no selladas.



No recomendado en casos de:

- Golpes o cargas de impacto repetitivas.
- Piezas que se mecanizan después del tratamiento.
- Aplicaciones donde la tenacidad es más importante que la dureza superficial.



Ventajas clave de la NPP en inoxidables

- Endurecimiento superficial sin pérdida de resistencia a la corrosión, siempre que se controle la temperatura según el tipo de acero inoxidable.
- Baja fricción y mayor vida útil en superficies deslizantes.
- Distorsión térmica mínima y sin residuos contaminantes.
- Proceso limpio y estable en vacío.
- Compatible con piezas de precisión o geometría compleja.



Consideraciones técnicas importantes

- Requiere parametrización según tipo de acero y función.
- No es una solución universal: debe adaptarse a cada pieza.
- No es un recubrimiento: no aplica una capa externa.**
- La dureza lograda no debe comprometer la integridad funcional.
- No reemplaza tratamientos mecánicos o estructurales.

* El cromo duro ha sido históricamente utilizado para mejorar la dureza superficial y la resistencia al desgaste, pero su aplicación por electrodeposición conlleva riesgos ambientales y sanitarios debido al uso de compuestos de cromo hexavalente (Cr^6).

** La nitruración por plasma puede ser una alternativa viable cuando se requiere una superficie endurecida, limpia y sin residuos tóxicos, especialmente si no se necesita una capa externa con propiedades adicionales específicas (como propiedades ópticas, dieléctricas o barreras térmicas).



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

»»»» PLUS

Nitruración
por plasma
para piezas
fabricadas

aditivamente



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

La fabricación aditiva metálica permite crear componentes de geometría compleja capa por capa a partir de polvos metálicos.

Procesos como el sinterizado láser (SLM), la fusión por haz de electrones (EBM) o el binder jetting se apoyan en principios consolidados de la metalurgia de polvos y han transformado la forma en que se diseñan piezas para sectores como el aeroespacial, médico o energético.

Es bien sabido que, una vez 'impresas', y dependiendo del proceso, algunas piezas deben pasar por un proceso de sinterización térmica que consolide la estructura y elimine vacíos residuales. Según el tipo de acero inoxidable, este tratamiento puede incluir **recocido de alivio de tensiones, densificación térmica o solubilización**.

Pero además de consolidar la microestructura, estas piezas necesitan adquirir resistencia superficial, mejorar su comportamiento mecánico y soportar condiciones exigentes de desgaste, fricción y fatiga. En ese escenario, **la nitruración por plasma aporta una solución de alta precisión**, perfectamente alineada con las exigencias de las piezas fabricadas por manufactura aditiva.

Las piezas obtenidas por estos métodos suelen presentar rugosidad superficial, porosidad residual, microgrietas y propiedades mecánicas variables entre capas.

La nitruración por plasma actúa sobre estos desafíos sin comprometer la integridad del material

Forma una capa superficial dura, basada en nitruros de hierro, cromo y otros elementos aleantes a altas temperaturas, o redes cristalinas expandidas a bajas temperaturas; induce esfuerzos de compresión beneficiosos para la resistencia a la fatiga; mejora la capacidad de carga sin alterar la geometría; y todo esto sin obstruir poros ni dejar residuos líquidos, como podría ocurrir con métodos basados en sales o gas.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Además, **ofrece ventajas únicas:** trabaja en vacío controlado, sin presencia de oxígeno; limpia la superficie mediante sputtering sin afectar la porosidad interna; y permite un control fino y repetible del espesor, la temperatura y la penetración del nitrógeno. Gracias a estas condiciones, la nitruración por plasma logra integrar perfectamente con la microestructura consolidada de las piezas, sin introducir distorsiones ni zonas afectadas térmicamente.

En resumen, no se trata solo de un tratamiento compatible. Es una tecnología que se adapta con naturalidad a la lógica de la fabricación aditiva, respetando sus particularidades y potenciando sus prestaciones finales.

La nitruración por plasma no endurece de forma agresiva: acompaña, refuerza y sella cada capa del proceso con precisión.



La nitruración por plasma no aplica una capa externa: modifica la superficie del propio material por difusión de nitrógeno en estado iónico. A diferencia de los recubrimientos como el cromo duro, PVD o DLC, **no hay riesgo de delaminación ni de contaminación por residuos metálicos.**

Esta característica la convierte en una alternativa eficaz para reemplazar recubrimientos en aplicaciones donde la integridad dimensional, la limpieza y la repetibilidad son críticas.

La nitruración por plasma puede ser una alternativa viable cuando se requiere una superficie endurecida, limpia y sin residuos tóxicos, especialmente si no se necesita una capa externa con propiedades adicionales específicas (como propiedades ópticas, dieléctricas o barreras térmicas).



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

A manera de cierre...

Las ventajas de la nitruración por plasma para los aceros inoxidable no son una promesa comercial ni una verdad inflada. Son el resultado comprobable de un proceso físico preciso, desarrollado durante décadas, que ha demostrado su eficacia en laboratorios, talleres y líneas de producción en todo el mundo.

Cuando se trata de piezas que deben mantener su forma, su dureza y su resistencia a la corrosión incluso en ambientes exigentes, no hay atajos. Y tampoco hay lugar para tratamientos térmicos que comprometan lo que el material fue diseñado para ofrecer. **La nitruración por plasma, lejos de ser una alternativa emergente, es una tecnología madura, con fundamentos claros, resultados repetibles y ventajas medibles.**

En ese contexto: En ION HEAT no fabricamos expectativas. Fabricamos hornos.

Somos uno de los fabricantes líderes en tecnología de nitruración por plasma, y nuestro trabajo no es convencer a nadie de sus bondades. Quien llega hasta aquí ya lo sabe.

Nuestra tarea es otra, la de acompañar a cada cliente a construir un sistema que responda a sus procesos, que se adapte a su escala, y que entregue exactamente lo que necesita, pieza tras pieza.

En este ebook hemos compartido los fundamentos, los contrastes y las ventajas técnicas de este proceso aplicado a aceros inoxidable. Ahora, el paso siguiente no es una decisión de fe: **es una decisión de ingeniería.**

Y para eso estamos.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Glosario Técnico



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Reemplazo de cromo **duro**

Migración hacia tratamientos superficiales que ofrecen propiedades similares al cromo duro (alta dureza, resistencia al desgaste y fricción), pero sin recubrimientos, sin residuos peligrosos y con mayor repetibilidad.

La nitruración por plasma permite lograr una superficie funcionalmente equivalente, sin delaminación ni contaminación ambiental.

Remoción de óxido de cromo

Durante el sputtering, los iones de argón eliminan también la capa pasiva original de óxido de cromo (Cr_2O_3). Aunque esta capa protege contra la corrosión, actúa como una barrera para la difusión del nitrógeno.

Su remoción temporal despeja la superficie para permitir una nitruración más efectiva.

Sputtering con argón

Primer paso del proceso de nitruración por plasma. Consiste en una limpieza superficial por bombardeo iónico: los iones de argón impactan la superficie del acero y eliminan impurezas, grasas, residuos y óxidos adheridos.

Esta limpieza prepara el material para una difusión uniforme y efectiva del nitrógeno.

Entorno **sin oxígeno** (vacío técnico)

La nitruración por plasma se realiza en una cámara de vacío con una atmósfera controlada sin oxígeno.

Esta condición evita la formación de óxidos no deseados, reduce el riesgo de contaminación superficial y garantiza un entorno químicamente estable para una difusión limpia.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Difusión **controlada** de nitrógeno

Los iones de nitrógeno, activados por el plasma, penetran en la superficie del acero por difusión, sin alterar la estructura interna ni formar fases no deseadas.

El proceso es altamente controlable en profundidad, uniformidad y perfil metalúrgico.

Capa compuesta **sin carburo** de cromo

La nitruración por plasma evita la formación de carburos de cromo, típicos en tratamientos con aporte de carbono.

Al trabajar solo con nitrógeno, mantiene el cromo en estado libre, lo que preserva la resistencia a la corrosión del acero.

Capa doblemente **funcional**

Resultado característico de la nitruración por plasma en aceros inoxidables. La superficie tratada presenta una zona endurecida por fase expandida (S-phase) + película pasiva de óxido de cromo.

Una protege contra el desgaste; la otra, contra la corrosión.

Nitruros de cromo

Compuestos duros que se forman cuando el nitrógeno reacciona con el cromo presente en el acero.

Estos nitruros incrementan la dureza superficial, pero consumen cromo disponible para la pasivación y pueden comprometer la resistencia a la corrosión.

Distribución **homogénea** de dureza superficial

Gracias al entorno controlado, la descarga iónica se distribuye de forma pareja sobre toda la superficie expuesta, incluso en piezas con geometría compleja.

Esto permite obtener una dureza uniforme sin zonas blandas ni variaciones indeseadas.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

Capa pasiva regenerada

Una vez terminado el proceso y expuesta la pieza al oxígeno del aire, el cromo libre en la superficie forma espontáneamente una nueva película de óxido de cromo (Cr_2O_3), recuperando la resistencia a la corrosión típica del acero inoxidable.

No sensibilización del grano

La nitruración por plasma se realiza a temperaturas suficientemente bajas como para evitar la formación de carburos de cromo en los límites de grano.

Esto previene la sensibilización, un fenómeno que degrada la resistencia a la corrosión en aceros inoxidables tratados térmicamente.

Fase **expandida** / S-phase

Capa superficial que se forma al disolver nitrógeno en la red cristalina del acero inoxidable a baja temperatura, sin generar nitruros precipitados.

Se forma principalmente en aceros austeníticos y es responsable del endurecimiento sin pérdida de resistencia a la corrosión.

Fabricación **aditiva** de acero inoxidable

Tecnología que produce piezas capa por capa a partir de polvos metálicos.

La nitruración por plasma se adapta especialmente bien a este tipo de piezas, ya que no obstruye poros, no genera residuos líquidos y mejora propiedades mecánicas sin alterar la geometría ni comprometer la integridad del material.



ABC Aceros Inoxidables
Y por qué la nitruración
por plasma es la indicada
para tratarlos sin arruinarlos

© **2025 TRATAR | TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

Este documento es propiedad de **TRATAR | Tratamientos Térmicos**

Las fotografías, las ilustraciones y los renders hacen parte del banco de imágenes de la Compañía o han sido tomadas de Freepik bajo licencia Premium (Uso ilimitado sin atribución). Todo el contenido está protegido por las leyes de derecho de autor que rigen en Colombia.

Este material tiene fines educativos y no puede usarse con propósitos económicos o comerciales.

TRATAR | Tratamientos Térmicos posee y retiene todos los derechos de autor y otros derechos de propiedad intelectual de este eBook, por tanto no puede ser reproducido, modificado, copiado ni comunicado sin consentimiento por escrito de la Compañía.

TRATAR | Tratamientos Térmicos certifica que ha realizado todos los esfuerzos razonables para garantizar que la información sea precisa, completa y fiable. Sin embargo, no se hace responsable de eventuales errores, consecuencia de actos y omisiones basados en la totalidad o parte de la información.



Contacto

CO | MEDELLÍN

Calle 29C # 53-23, Zona Industrial de Belén
+57 604 265 8382
tratar@tratar.com.co

CO | BOGOTÁ

Calle 22A # 132-72 Bodega 9
+57 601 746 0971
tratar@tratar.com.co

PE | LIMA

Avenida Elmer Faucett 3430,
Urbanización Industrial Bocanegra Callao
+51 (1) 575 6000
info@tratarperu.pe



www.tratar.online

