DESGASTE

El desgaste, es la pérdida de masa de la superficie de un material sólido, por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto, cuando se les ajusta a un movimiento relativo, bajo la acción de una fuerza

La eliminación de material de una superficie, como resultado de una acción mecánica que sufren los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a las que son sometidos

El resultado del desgaste, es la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones y por tanto, la pérdida de tolerancias

Es una de las formas más importantes de degradación de superficies, elementos mecánicos y equipos industriales

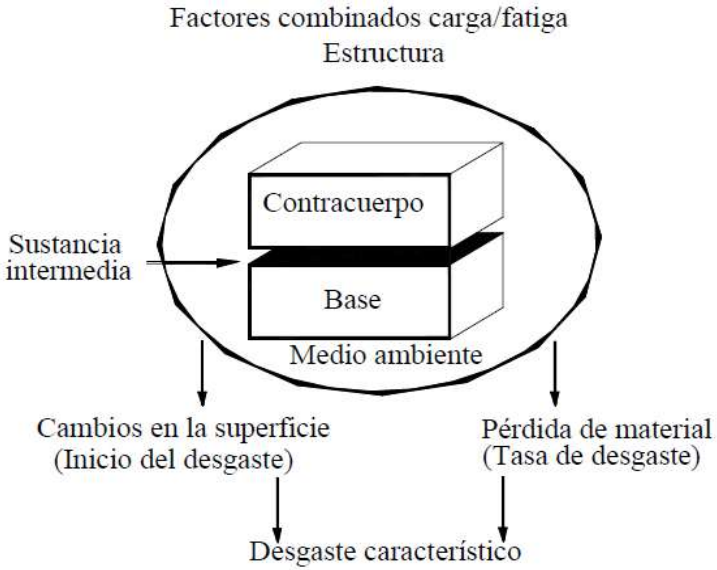

MB





TRIBOLOGÍA

- La tribología es la disciplina que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento.
- En forma más amplia, es la ciencia y la técnica de los sistemas en movimiento que se encuentran en contacto mutuo.
- “La ciencia del rozamiento



- Cuerpo primario
- Cuerpo secundario
- Interfase (un aceite lubricante, polvo, óxidos de vapor, agua, gases, etc.)
- El medio ambiente (gases y/o líquidos en diferentes condiciones de presión, ya sean muy elevadas o al vacío, a temperaturas extremas, etc.)

TRIBOLOGÍA

- Las tareas del tribólogo (especialista en tribología) son las de reducir la fricción y el desgaste, para conservar y reducir la energía, lograr movimientos más rápidos y precisos, incrementar la productividad y reducir el mantenimiento.
- Se debe aplicar conocimientos de física, química y de materiales.
- Presente en todos los aspectos de la maquinaría, motores y componentes de la industria en general.
- Las aplicaciones más comunes de esta ciencia (aunque en la práctica no se nombren como tales) son: componentes y funcionamiento de motores eléctricos y de combustión, turbinas, extrusión, forja, procesos de corte, etc.



DESGASTE Y ECONOMÍA

- **El desgaste y la fatiga se produce el 95% de las causas de salida de servicio de los elementos de máquina**

- **Las pérdidas causadas por deficiencias tribológicas para la economía de cualquier país son enormes.**

- **A nivel mundial una tercera parte de la energía generada en procesos termodinámicos se pierde a causa de la fricción**

Consumo energético

1. **Ineficiencia energética**: Los equipos desgastados tienden a funcionar de manera menos eficiente, lo que significa que consumen más energía para producir la misma cantidad de trabajo que los equipos en buen estado. Esto puede resultar en un uso excesivo de energía y costos operativos más altos.
2. **Fugas y pérdidas de energía**: El desgaste en los sistemas de tuberías, válvulas, juntas y otros componentes puede provocar fugas de energía, como fugas de vapor, aire comprimido o líquidos, lo que resulta en una pérdida de energía no utilizada.

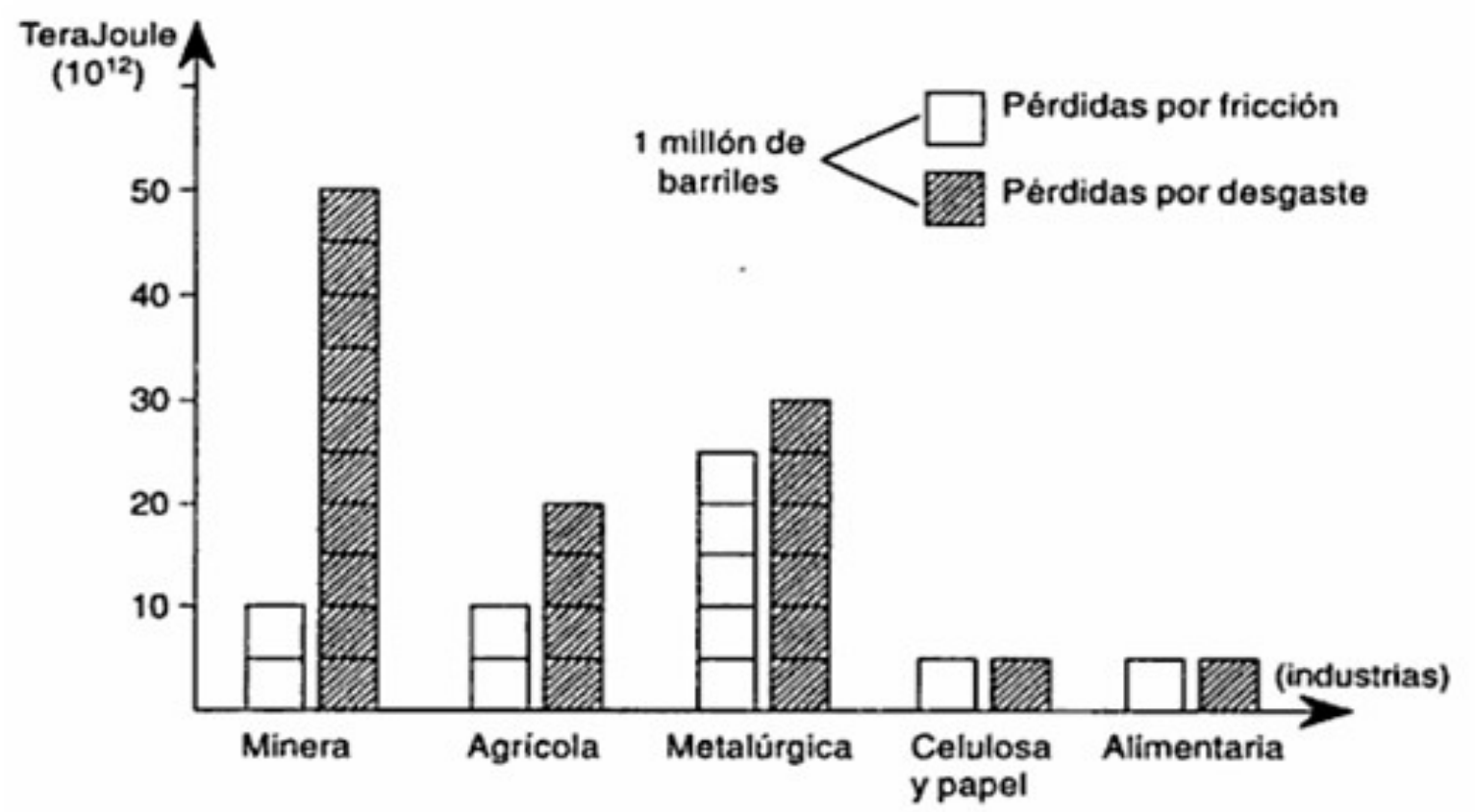
Magnitud económica del desgaste

•El mercado global de aceros resistentes al desgaste supera actualmente los **USD 30 mil millones**, impulsado principalmente por minería, construcción y cemento.

•El sector minero representa cerca del **45 % del consumo mundial** de placas antiabrasivas debido al enorme desgaste en trituradoras, chutes, molinos, tolvas y camiones.

•En minería y procesamiento mineral, el desgaste abrasivo sigue siendo considerado uno de los **principales costos operativos**

Perdida de energía en Industrias afectadas por fenómenos tribológicos



En la industria – Costos directos

1. **Reparaciones y mantenimiento**: Los equipos desgastados requerirán reparaciones más frecuentes y un mantenimiento más intensivo para seguir funcionando correctamente.
2. **Reemplazo de piezas y componentes**: Las piezas y componentes desgastados pueden necesitar ser reemplazados con mayor frecuencia, lo que implica costos adicionales de adquisición.
3. **Tiempo de inactividad**: El tiempo en que los equipos están fuera de servicio para reparaciones o reemplazos puede resultar en pérdida de producción y oportunidades, lo que se traduce en pérdidas financieras.

En la industria – Costos indirectos

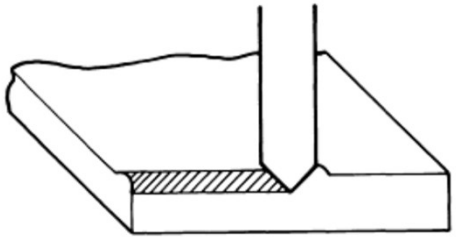
1. **Pérdida de producción**: El desgaste de los equipos puede llevar a una menor eficiencia operativa y, por lo tanto, a una pérdida de producción.
2. **Calidad del producto**: Los equipos desgastados pueden afectar la calidad del producto final, lo que podría resultar en rechazos, devoluciones o reclamaciones de garantía.
3. **Impacto en la cadena de suministro**: Si los equipos desgastados afectan la capacidad de cumplir con los plazos de entrega, esto puede tener un impacto negativo en la cadena de suministro y en las relaciones con los clientes.
4. **Seguridad laboral**: El desgaste de los equipos puede aumentar el riesgo de accidentes laborales, lo que puede resultar en costos relacionados con la compensación laboral y la responsabilidad legal.

Tipos de desgaste

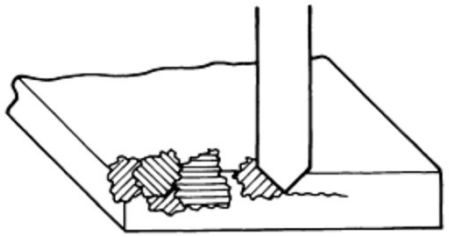
1.Desgaste abrasivo

Se debe a partículas duras o protuberancias duras que son forzadas contra una superficie sólida y se mueven a lo largo de ella

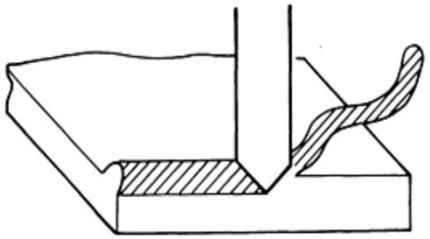
Implica generalmente una pérdida progresiva de material



De arado



Microfisuración

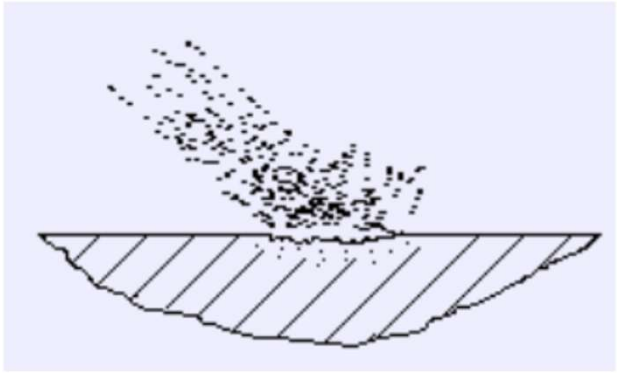


De corte

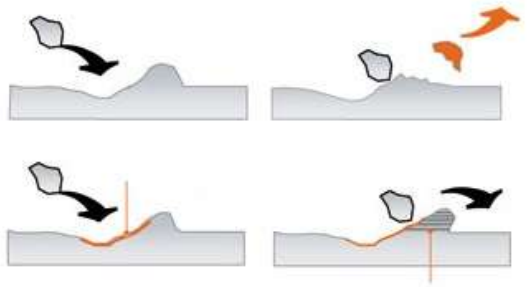
Tipos de desgaste

- **2.- Desgaste por impacto**

Se produce por transferencia de energía cinética de un cuerpo simple sobre una superficie de extensión apreciable



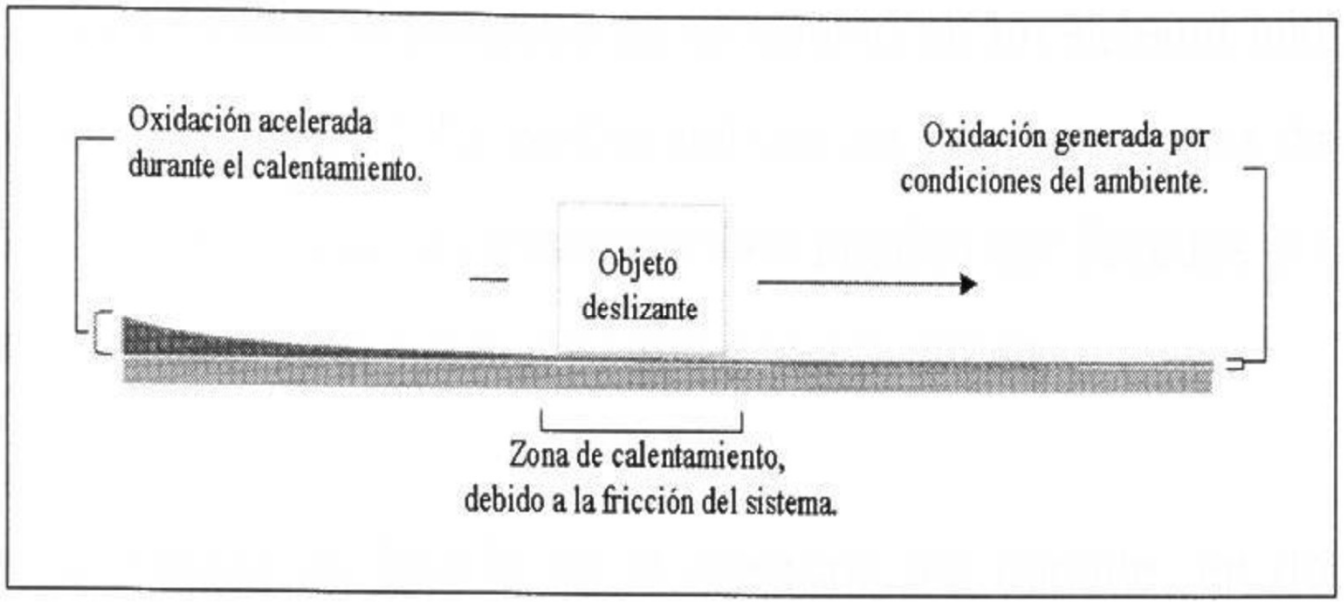
La erosión puede ocurrir por chorros y flujos de partículas sólidas pequeñas, transportadas por un fluido



La percusión ocurre por impactos repetidos de cuerpos solidos de mayor tamaño.

Tipos de desgaste

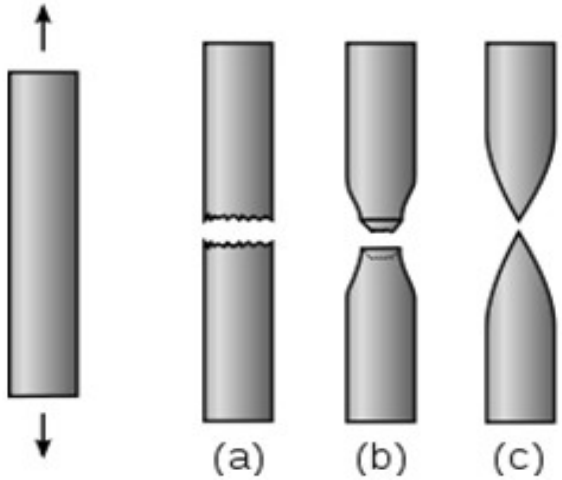
- **3.- Desgaste por oxidación**



Mecanismo de desgaste por oxidación.

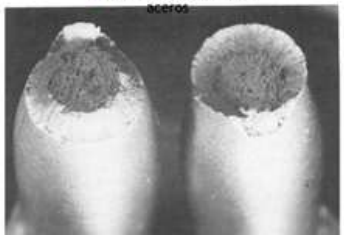
Aceros de alto desgaste

Problemática del alto desgaste



Esquema de la respuesta de una barra cilíndrica de metal a una fuerza de tracción de dirección opuesta a sus extremos. (a) Fractura frágil. (b) Fractura dúctil. (c) Fractura totalmente dúctil.





•Roturas en copa cono de aceros



Trituradora de impacto

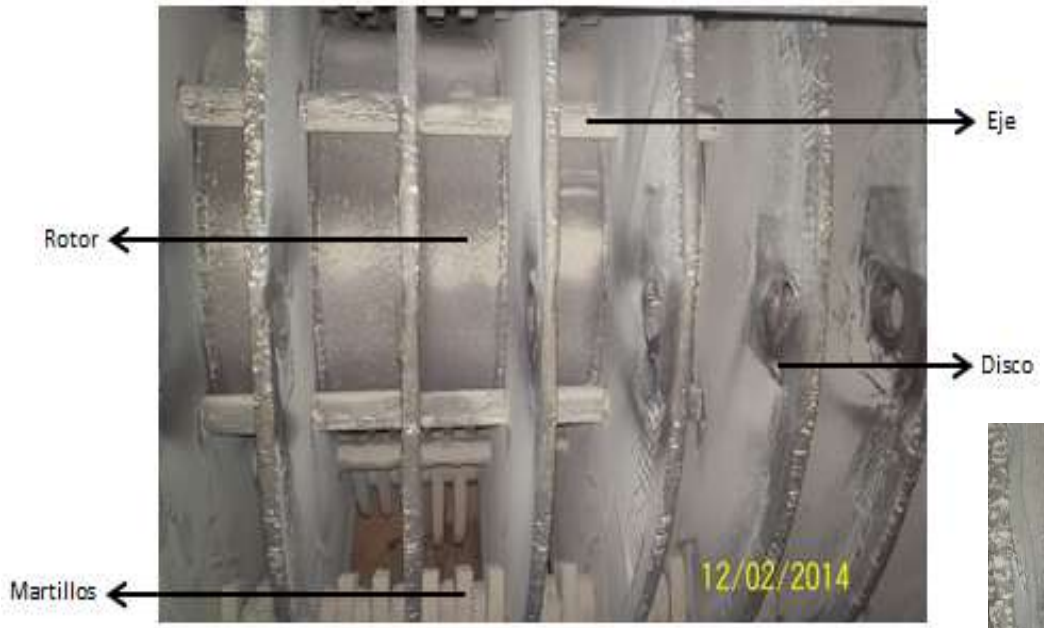


Vista frontal del triturador



Placas de revestimiento de la Trituradora




Eje
Rotor
Disco
Martillos
12/02/2014


12/02/2014


A 30
A 123 64





Componente	Acero convencional	Acero antiabrasivo
Vida útil	2 meses	12 meses
Cambios por año	6	1
Paradas de planta	Frecuentes	Reducidas
Costo inicial	Bajo	Más alto
Costo total anual	Muy alto	Menor

Seleccionar correctamente el material:

- aumenta la vida útil,
- reduce mantenimiento,
- mejora la seguridad,
- disminuye el costo total de operación.

Acero Hadfield

- Los aceros Hadfield tienen una composición nominal de 1.2% C y 12 a 14 % de Mn como elemento esencial. Las aleaciones comerciales usualmente varían en el rango de 1 a 1.45 % C y 11 a 14% Mn como lo establece la norma ASTM A128
- Es una aleación no magnética que sustenta sus características mecánicas en su composición química, adecuado tratamiento térmico y estructura austenítica (monofásica)
- Al ser sometido a temple no sufre la típica transformación martensítica propia de los aceros, sino que permanece en el mismo estado que tenía a la temperatura de tratamiento

ACERO HADFIELD

- Al ser el material sometido a fuertes impactos durante el trabajo ya en servicio, se transforma a martensita y con ello tiene lugar el endurecimiento superficial en todas las zonas afectadas por la energía del impacto
- Esto permite al material, adquirir una alta dureza superficial, conservando el núcleo tenaz.

- No es fácil de mecanizar
- Este acero se utiliza en equipos tales como trituradoras de roca, molinos, dientes de pala y bombas para manejar grava.
- Se utiliza también en piñones, engranajes, ruedas, cintas transportadoras, placas de desgaste y zapatas
- La mayor parte de las piezas son coladas



ASTM A128	Composición Química						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si (máx)	P (máx)
A[B]	1,05 - 1,35	11,0	-	-	-	1,00	0,07
B-1	0,90 - 1,05	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
B-2	1,50 - 1,2	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
B-3	1,12 -1,28	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
B-4	1,20 - 1,35	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
C	1,05 - 1,35	11,5 - 14,00	1,5 – 2,5	-	-	1,00	0,07
D	0,70 – 1,30	11,5 – 14,00	-	-	3,0 - 4,0	1,00	0,07
E-1	0,70 – 1,30	11,5 – 14,00	-	0,9 - 1,2	-	1,00	0,07
E-2	1,05 - 1,45	11,5 – 14,00	-	1,8 - 2,1	-	1,00	0,07

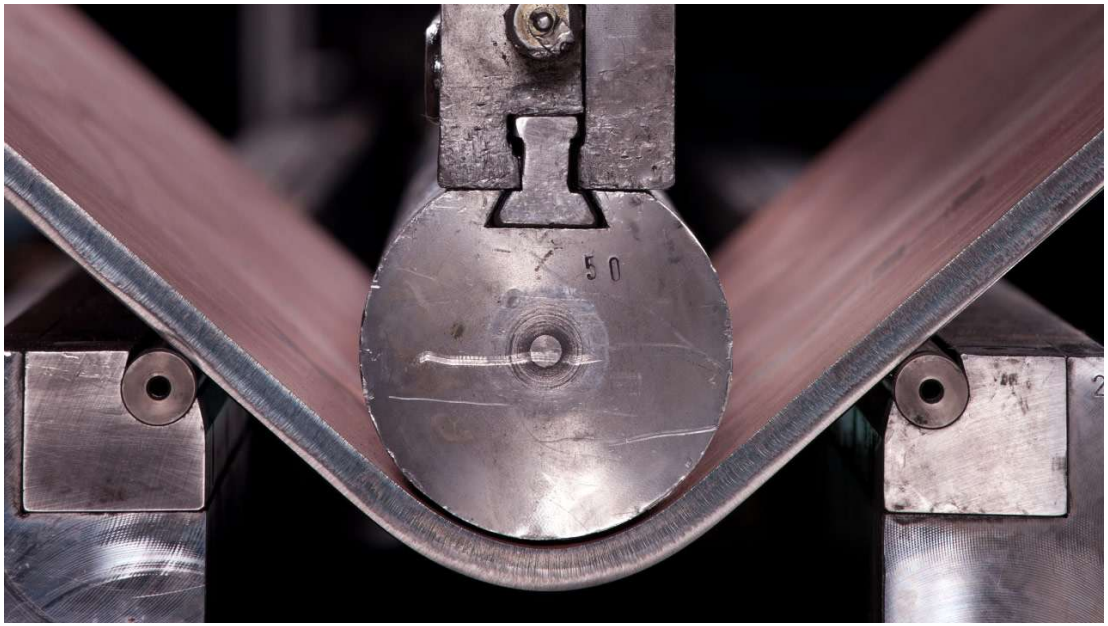
Aplicación industrial	Industria	Condiciones de trabajo	¿Por qué se utiliza acero Hadfield?
Mandíbulas de trituradoras	Minería, canteras, cemento	Impacto severo + abrasión	Alta tenacidad y endurecimiento superficial durante el servicio
Conos y revestimientos de trituradoras giratorias	Minería	Compresión, impacto y desgaste abrasivo	Resiste golpes sin fracturarse y aumenta su dureza con el uso
Cruces ferroviarios y agujas de cambio	Transporte ferroviario	Cargas dinámicas y golpes repetitivos	Soporta deformación e impacto continuo sin falla prematura
Dientes y cucharas de excavadoras	Minería y movimiento de suelo	Abrasión por roca e impacto	Buena combinación de resistencia al desgaste y tenacidad
Martillos y placas de impacto en molinos	Trituración y molienda	Impactos repetidos y desgaste	Tolera golpes intensos y se endurece superficialmente
Tolvas, chutes y alimentadores	Minería y manejo de minerales	Caída de material grueso y abrasión	Resistencia al desgaste en zonas de impacto elevado
Revestimientos de molinos	Cemento y minería	Fricción continua + impacto de cuerpos moledores	Mayor vida útil frente a desgaste combinado
Equipos de dragado	Dragado y puertos	Abrasión con arena, piedras y lodos	Buena resistencia al desgaste y a cargas variables
Cadenas y componentes de maquinaria pesada	Construcción y minería	Golpes y deformación repetitiva	Elevada capacidad

Acero Hardox

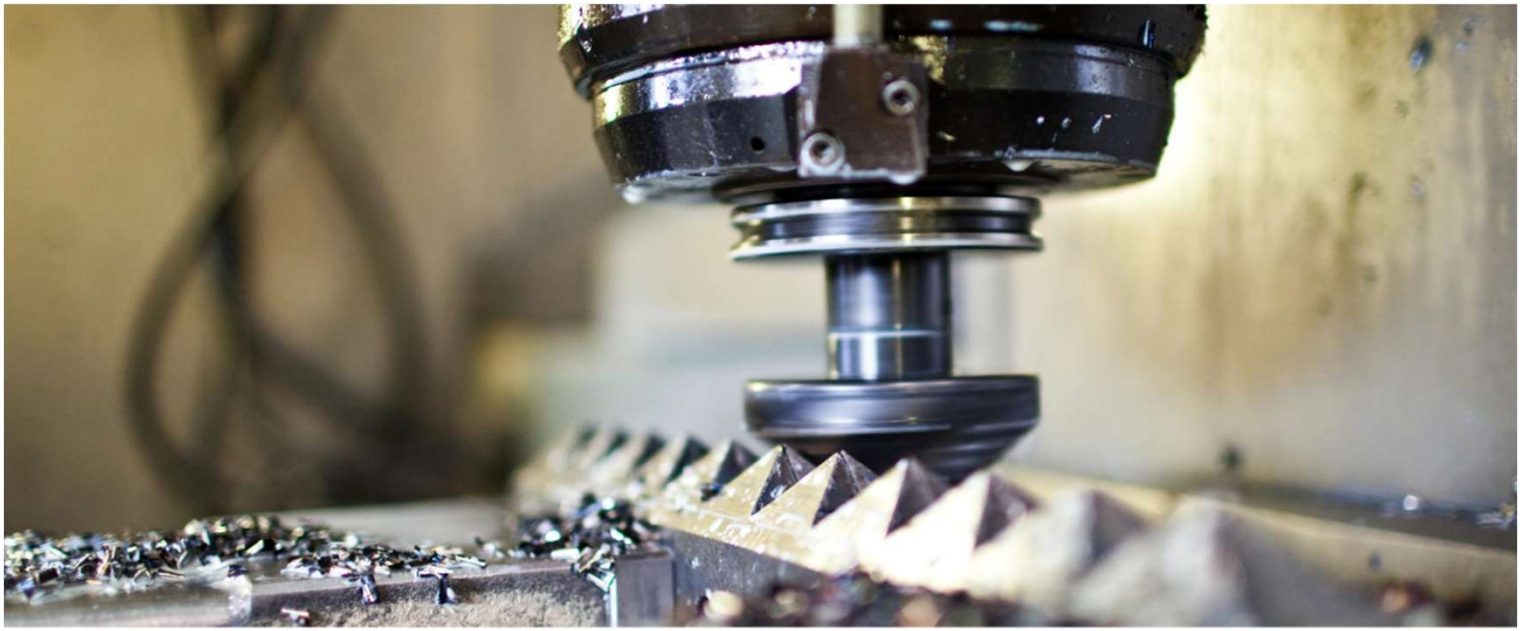
- El acero Hardox es un acero aleado, templado y revenido, que fusiona una excelente resistencia al desgaste, buena tolerancia al impacto y una gran aptitud de trabajo en el taller
- Sus propiedades se deben a un análisis químico, cuidadosamente ajustado y un proceso productivo de alta precisión.
- Típicamente, estos aceros tienen un contenido de carbono de alrededor del 0,35 % que le aporta una buena obtención de dureza al ser templado. También cuenta con otros aleantes, tales como el cromo y el molidebno, que aseguran una excelente templabilidad
- Tamaño de grano muy fino
- Una alta homogeneidad química y consecuentemente, la exhibición de propiedades también homogéneas
- Baja dispersión en la dureza
- Hasta en un 60%, que otros aceros aleados

- También tiene una composición química sencilla, lo que le aporta excelentes propiedades de soldadura.
- El acero Hardox se puede plegar con radios de curvatura reducidos.





Es posible realizar cualquier tipo de mecanizado con equipos de taller normales, como una taladradora radial ordinaria para el taladrado y avellanado del acero Hardox® 400



Aplicación industrial	Industria	Condiciones de trabajo	¿Por qué se utilizan aceros HARDOX?
Tolvas y chutes	Minería y cemento	Deslizamiento continuo de material abrasivo	Alta dureza y excelente resistencia al desgaste abrasivo
Cajas de camiones volcadores	Minería y construcción	Impacto moderado + abrasión por roca y mineral	Reduce desgaste y permite disminuir espesor/peso
Revestimientos de molinos y alimentadores	Cemento y procesamiento mineral	Abrasión continua por partículas duras	Mayor vida útil frente al desgaste superficial
Cucharones de excavadoras	Movimiento de suelo y minería	Abrasión e impacto moderado	Buena combinación entre dureza y soldabilidad
Palas cargadoras y bulldozers	Construcción y canteras	Contacto constante con suelo y roca	Reduce mantenimiento y frecuencia de recambio
Equipos agrícolas	Agricultura	Desgaste por tierra, arena y minerales	Alta resistencia al desgaste en ambientes abrasivos
Contenedores y mezcladoras	Industria del hormigón	Fricción continua con agregados	Menor pérdida de espesor y mayor durabilidad
Transportadores y cintas	Minería y puertos	Fricción permanente del material transportado	Reduce erosión y perforaciones
Equipos de reciclaje	Reciclado metálico y residuos	Abrasión	

Comparación de materiales utilizados para situaciones de alto desgaste

Material	Ventaja principal	Problema
Hadfield	Alta tenacidad + endurecimiento por trabajo	Menor dureza inicial
HARDOX	Alta dureza inicial	Menor tolerancia al impacto severo
Fundición blanca	Excelente abrasión	Muy frágil

Recubrimientos superficiales
Protección frente al desgaste

¿Por qué utilizar recubrimientos?

Muchas fallas industriales ocurren por:

- Desgaste,
- Corrosión,
- Erosión,
- Altas temperaturas,
- Cavitación.

En muchos casos:

el daño ocurre solamente en la superficie.

Tipos de recubrimientos

Mecánicos

- Cladding
- Hardfacing

Químicos y termoquímicos

- Nitruración
- Cementación
- Cromizado

Proyección térmica

- Flame spray
- Plasma spray
- HVOF

Deposición avanzada

- PVD
- CVD

Concepto fundamental

Modificar la superficie sin cambiar todo el material

Los recubrimientos permiten:

- Mejorar propiedades superficiales,
- Conservar la tenacidad del material base,
- Aumentar la vida útil del componente.

La vida útil de un componente
puede depender de apenas unos micrones superficiales.

Proyección térmica de alta velocidad (HVOF)

El proceso HVOF (proyección térmica de alta velocidad) se utiliza para mejorar o restaurar las propiedades o dimensiones de la superficie de un componente.

Se atomizan materiales fundidos o semi-fundidos sobre la superficie

Mediante una corriente de gas de alta temperatura y alta velocidad,

Produciendo un revestimiento denso que puede ser rectificado para obtener un acabado de superficie de gran calidad.

Tecnología HVOF (High Velocity Oxy-Fuel)

¿Qué es HVOF?
Proceso de proyección térmica de alta velocidad
Combustible + oxígeno → combustión controlada

Genera una llama supersónica (500 y 1000 m/s)

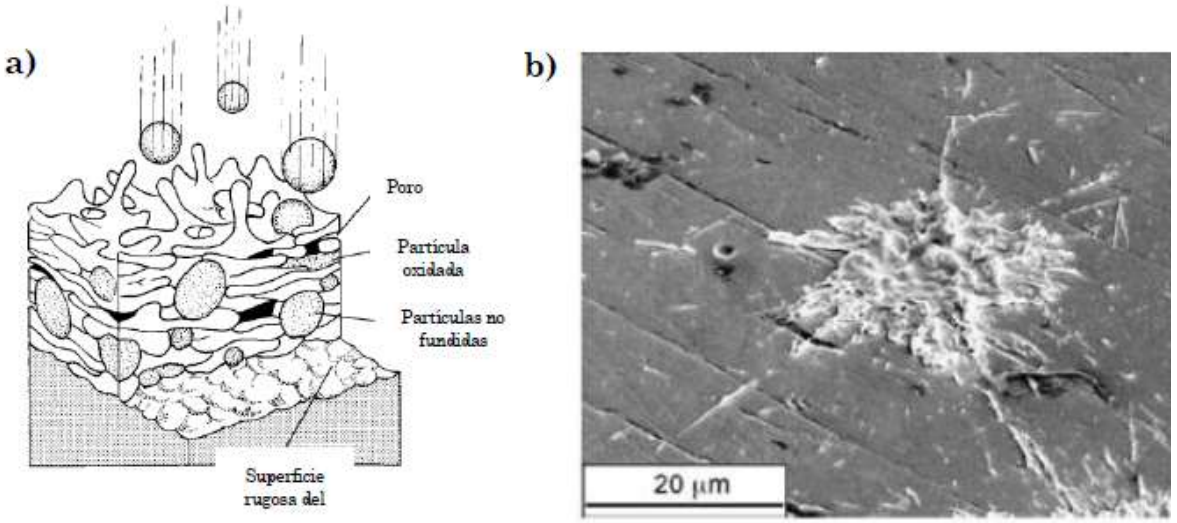
Las partículas del recubrimiento impactan a muy alta velocidad sobre la superficie

Materiales típicos aplicados por HVOF
- WC–Co (carburos de tungsteno)
- Cr_3C_2–NiCr
- Aleaciones base níquel
- Aleaciones base cobalto
- Aceros inoxidables

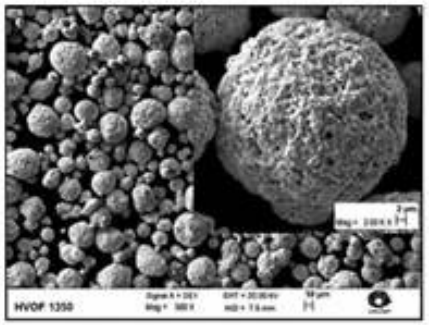
Objetivo del recubrimiento
Proteger componentes frente a:
- desgaste abrasivo,
- erosión,
- corrosión,
- cavitación,
- altas temperaturas.

Aplicaciones industriales
- Rodillos industriales
- Vástagos hidráulicos
- Turbinas
- Bombas y válvulas
- Industria minera
- Industria aeronáutica
- Cemento y petróleo

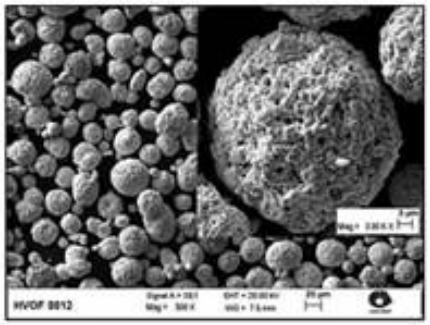
Material (recubrimiento)



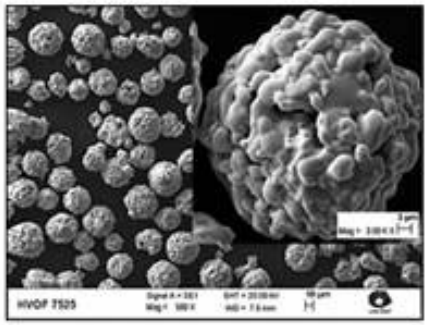
Micrografías de polvos (MEB)



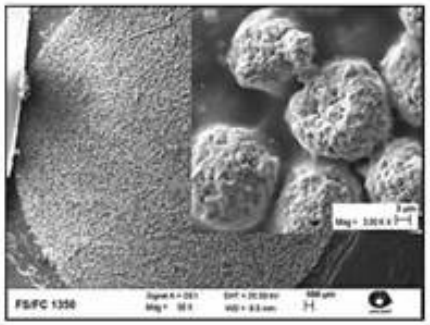
a) 1350 VM/ WC-731-1



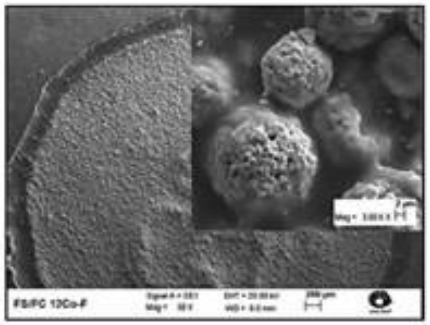
b) AMPERIT WC-Co 88-12y



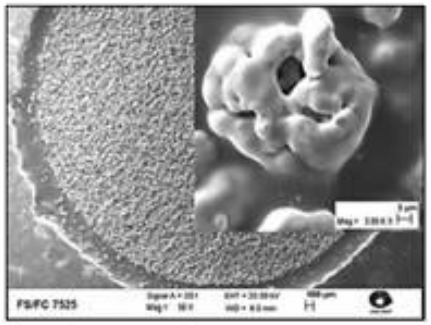
c) AMPERIT Cr3C2-NiCr 75-25; y en forma de cordón



d) HardKarb 1350 (10Co



e) HardKarb 12Co-F D4, 75



f) KhromKarb FINE (75CrCo/25NiCr)

Imágenes de microscopia electrónica de barrido (MEB) de los cortes de las secciones transversales de los recubrimientos analizados

