

DESGASTE





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

INDUSTRIA AZUCARERA



INDUSTRIA PAPELERA



INDUSTRIA QUIMICA



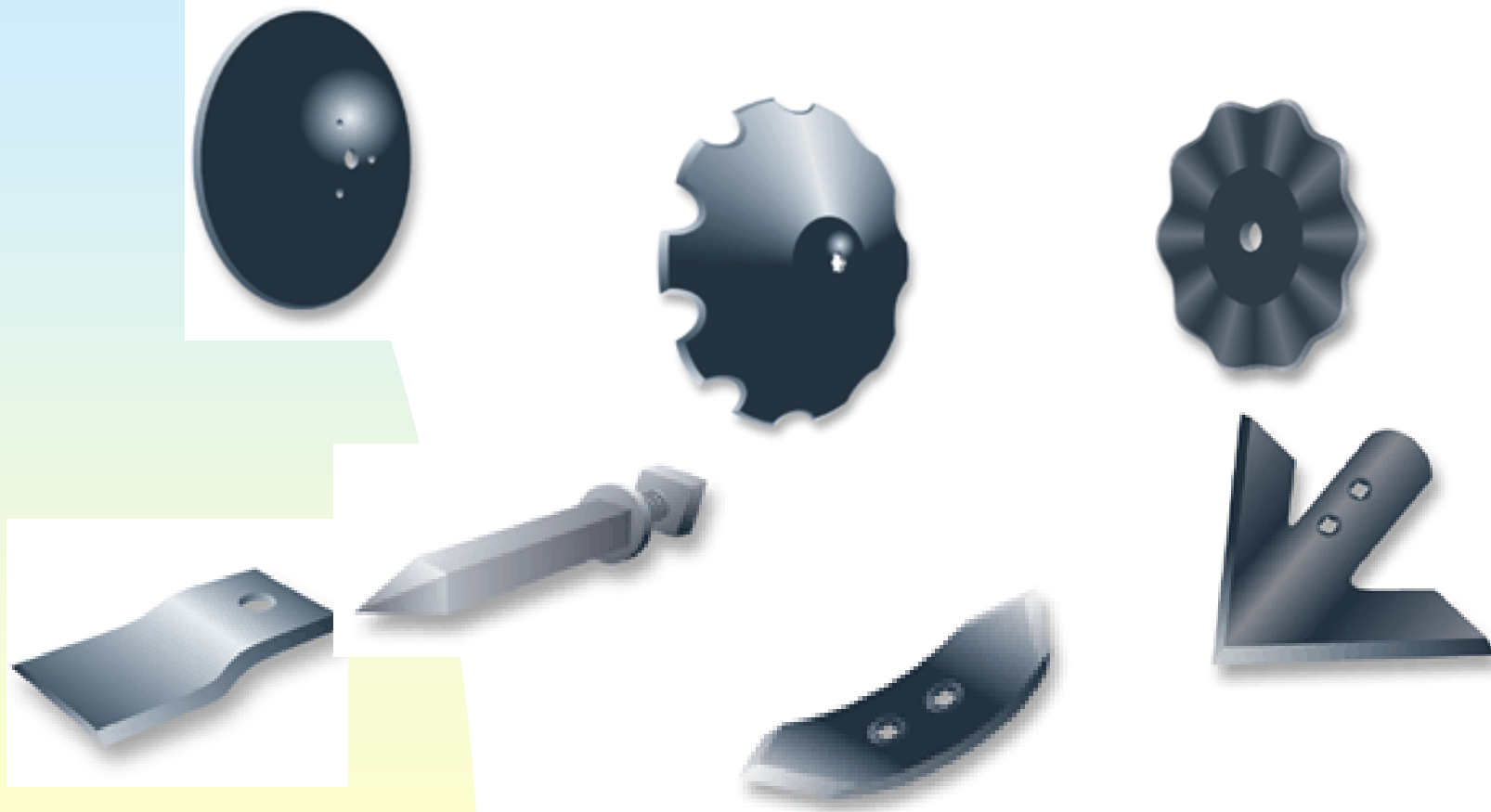
INDUSTRIA AGRICOLA





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

INDUSTRIA AGRICOLA





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

INDUSTRIA CEMENTOS





INTRODUCCIÓN

- ✚ El desgaste junto con la corrosión y la fatiga son los tres principales procesos que limitan la vida útil y el rendimiento de los componentes de las máquinas.
- ✚ De ellos, el desgaste, ha sido el menos estudiado, quizá debido a los complejos fenómenos que involucra y es por esta razón, que aun no se ha constituido un cuerpo de conocimientos racional que permita predecirlo con cierto grado de exactitud.
- ✚ Ha sido ampliamente reconocida, sin embargo, la gran incidencia negativa que tienen los fenómenos de desgaste en la industria, con implicancias económicas muy importantes.



La tribología nos permite:

- **Ahorro de materias primas.**
- **Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria**
- **Ahorro de recursos naturales**
- **Ahorro de energía**
- **Protección al medio ambiente**
- **Ahorro económico**



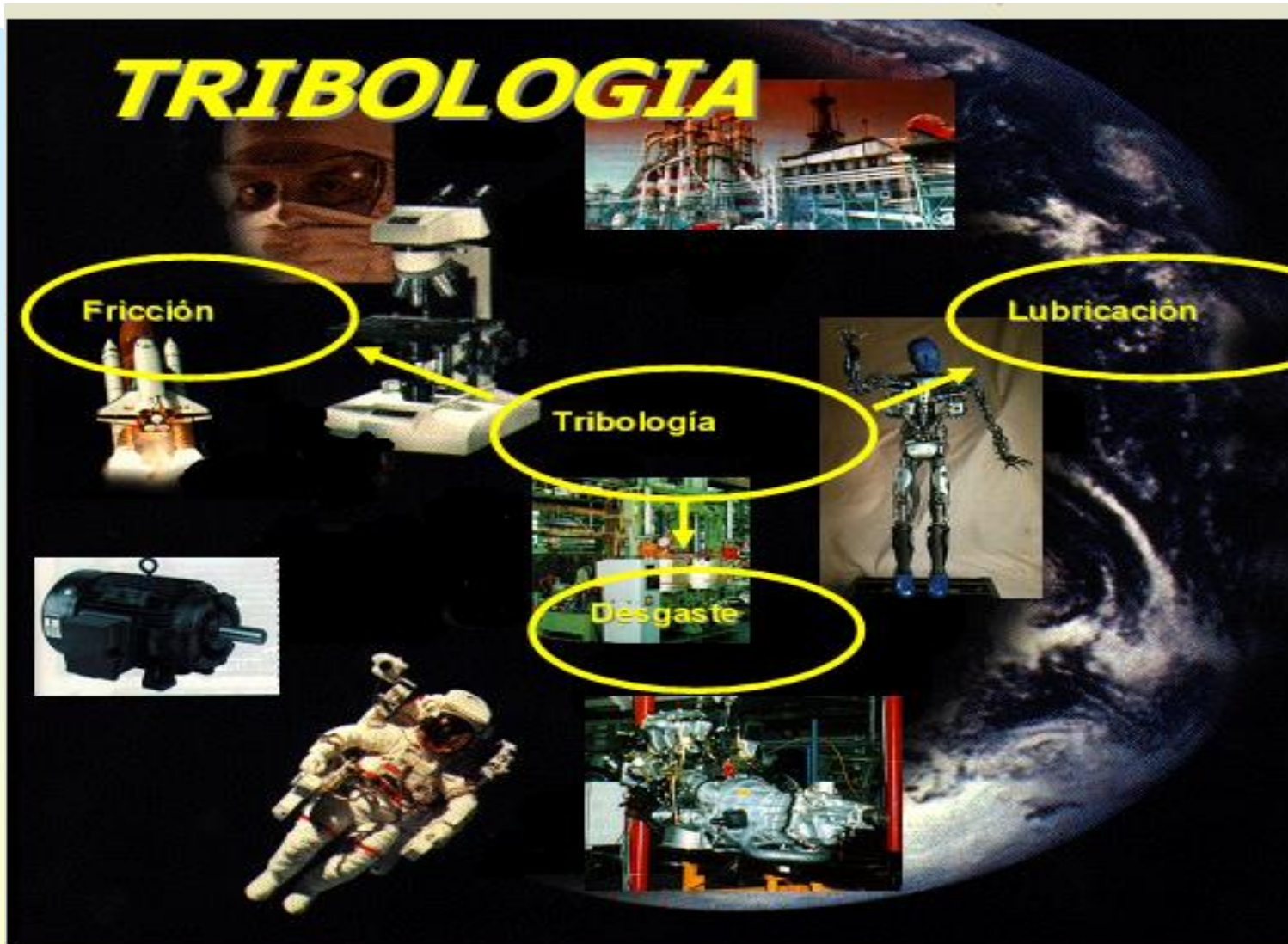
Significado de la tribología en la Industria:

- **1/3 de los recursos energéticos existentes se pierden en forma de fricción**
- **Las pérdidas por energía disipada por fricción y por desgaste en EEUU es aprox. el 6% del total del PBI (\$200 billones de dólares por año en 1966)**
- **Informe Jost (1966,1976): el Reino Unido podría ahorrar 500 millones de libras al año y EEUU hasta 16 billones de dólares al año utilizando mejores prácticas tribológicas.**



INTRODUCCIÓN

- ✚ La situación de nuestro país en los últimos años ha llevado a que se le de una importancia creciente a la Ingeniería de Mantenimiento e integridad. En la actualidad es mas adecuado dirigir esfuerzos hacia la prolongación de la vida útil de los elementos de máquinas, que a la fabricación intensiva de piezas de reposición.
- ✚ El desgaste de elementos de máquinas es un problema con el cual los ingenieros de producción y mantenimiento están acostumbrados a convivir.
- ✚ En raras ocasiones se les presenta la inquietud por obtener un mejor rendimiento de las superficies susceptibles de desgaste (i.e.: aumento de la vida útil).



Lubricación:

- **El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre si de forma tal que no se produzca daños superficiales. Para conseguir esto se intenta que exista una película entre ellas de un lubricante (gaseoso, liquido o sólido)**

Lubricantes:

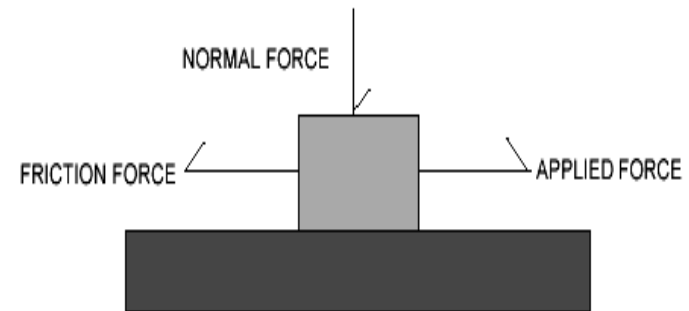
- Las funciones básicas de un lubricante son: reducción de la fricción, del desgaste y disipación del calor .

Ejemplo mas común: aceite mineral



Que es la fricción o rozamiento?

- Es la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimenta un cuerpo sólido al moverse tangencialmente sobre otro con el cual esta en contacto.
- Respuesta del sistema



¿Qué es el desgaste?





Que es el desgaste?

- El desgaste es el daño de la superficie o la remoción de material de una o ambas superficies sólidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rodamiento o impacto.
- Al igual que la fricción, el desgaste no es una propiedad del material, es una respuesta del sistema

Ejemplos de tribosistemas:

Tribosistema	Elemento 1	Elemento 2	Elem. interpuesto	Ambiente
Caja de engranajes	Engranaje 1	Engranaje 2	Aceite	aire
Rueda/rail	Rueda	Rail	Humedad	aire
Guía de deslizamiento	Guía	Soporte	Grasa	aire
Cojunte	Casquillo	Eje	Lubricante	niebla
Excavadora	Pala	Tierra	---	polvo
Molino	Rueda	Mandíbula	Mineral	aire



Elementos tribológicos comunes:

- Rodamientos
- Embragues
- Sellos
- Frenos
- Anillos de pistones
- Engranajes
- Cepillos
- Levas



Aplicaciones de conocimiento tribológicos:

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento)
- Forja
- Turbinas
- Procesos de corte (herramientas y fluidos)
- Extrusión
- Elementos de almacenamiento magnéticos
- Rolado
- Prótesis articulares (cuerpo humano)
- Fundición



DESGASTE

Según A.S.T.M.: “Standard Terminology Relating to WEAR AND EROSION” define DESGASTE como:

el daño producido a una superficie sólida, con pérdida progresiva de material, debido al movimiento relativo entre las superficies y una o varias sustancias de contacto.



DESGASTE

- ✚ El desgaste se puede definir como deterioro de la superficie debido al uso.
- ✚ Se dañarán una o ambas superficies y generalmente se producirá una pérdida progresiva de material. Por ejemplo un camión de 5 toneladas totalmente desgastado puede pesar entre 2 y 3 kg. menos.
- ✚ Un aspecto importante para destacar, a diferencia de otros fenómenos que afectan a las máquinas, es que el comportamiento frente al desgaste no constituye una propiedad característica de los materiales, sino que depende de todo un sistema tribológico, generalmente constituido por dos cuerpos, un lubricante y el ambiente.
- ✚ En ocasiones, pequeñas variaciones en velocidad, carga ó condiciones ambientales, pueden causar cambios drásticos en la velocidad de desgaste de cualquiera de las dos superficies en contacto.

TIPOS DE DESGASTE

Se pueden clasificar según la cantidad de material perdido por un elemento en un tribosistema en:

- ✚ *Desgaste suave o ultra suave*: el sistema es desgastado muy poco. Las superficies permanecen lisas y las partículas tienen dimensiones del orden de micrómetros.
- ✚ *Desgaste severo*: las superficies de los cuerpos son cambiadas y el tamaño de las partículas exceden los 100 micrones.
- ✚ *Desgaste catastrófico*: la expectativa de vida de la máquina se reduce enormemente.



TIPOS DE DESGASTE

Otros autores los clasifican según los mecanismos de desgaste.

✚ Desgaste adhesivo: en cierto momento, la fuerza aplicada en el contacto es soportada por uniones. Se producen uniones adhesivas. Si la unión es débil los cuerpos se separarían sin cambio, si es fuerte se fractura el cuerpo menos resistente.

✚ Desgaste abrasivo: el material es desplazado debido a partículas duras o protuberancias. Un cuerpo duro deforma plásticamente a uno más blando.

✚ Desgaste por fatiga: los esfuerzos y tensiones generadas durante la fricción pueden crear fracturas. Para materiales dúctiles se producen delaminaciones (bolas de rodamientos). Para materiales frágiles la fractura ocurre en zonas de alta tensión tensil. Las fracturas son perpendiculares a la superficie.



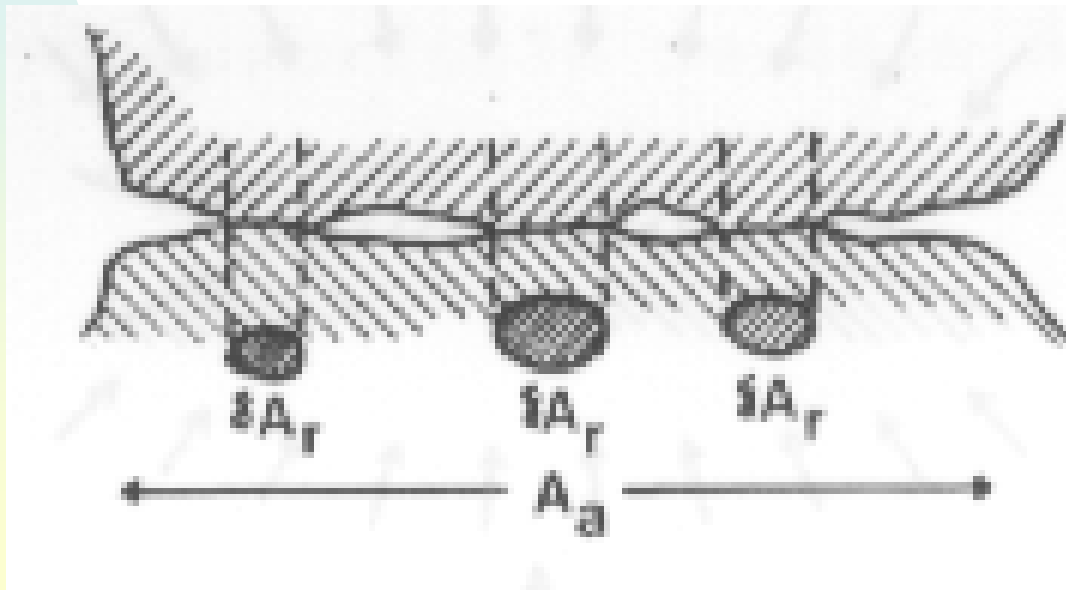
TIPOS DE DESGASTE

Existen otros mecanismos como:

- ✚ **Desgaste corrosivo**: un proceso dominado por una reacción química o electroquímica.
- ✚ **Desgaste erosivo**: representa una pérdida de material de una superficie sólida debido al contacto con un fluido en movimiento que contiene partículas sólidas.
- ✚ **Cavitación**: cuando la presión local baja rápidamente hasta la presión de vapor se forman burbujas que explotan erosionando el material. Ocurre solo en líquidos, no en gases.

CONTACTO DE SUPERFICIES

✚ Si colocamos dos sólidos en contacto, algunas regiones de sus superficies estarán muy próximas, mientras otras permanecen alejadas entre sí.



CONTACTO DE SUPERFICIES

✚ Estas regiones se conocen como “uniones” y la suma de sus áreas constituye el área real de contacto (A_r).

$$A_r = \sum \delta A_r$$

✚ El área total, formada por A_r y el área de aquellas zonas que parecen participar de la interacción, pero que en realidad no lo hacen, es la llamada área aparente de contacto (A_a).



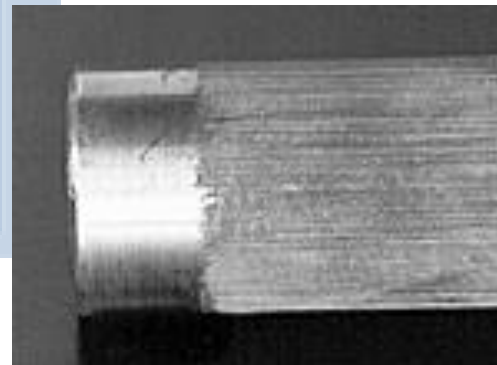
CONTACTO DE SUPERFICIES

✚ Cuando dos superficies se ponen en contacto este ocurre en algunos puntos. Estos puntos de contacto se llaman asperezas y son las que soportan la carga normal es donde se generan las fuerzas friccionales.

Desgaste

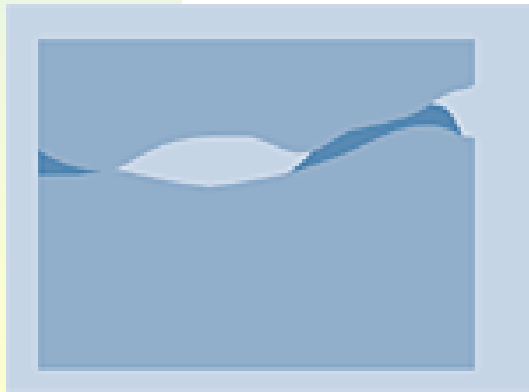
Tipos de desgaste:

- ◆ **Desgaste por abrasión:** se debe a partículas duras y afiladas que entran en la superficie de rozamiento, o por picos de rugosidad entre superficies duras.
- ◆ **Consecuencias:** se crean rayas, surcos y cambios dimensionales en las piezas.



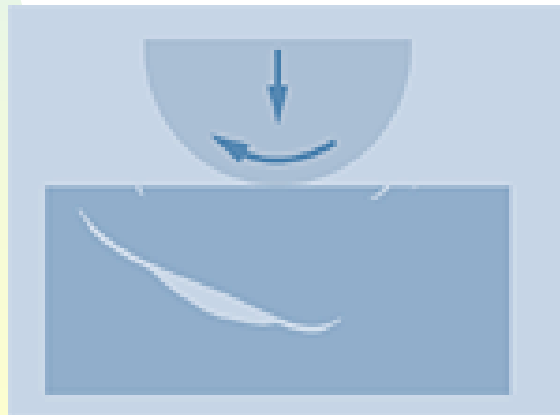
Desgaste

- ◆ **Desgaste por adhesión:** en ciertos casos (poca lubricación o trabajo en seco) las piezas se pueden adherir transfiriéndose material entre las piezas, esto es mas probable que suceda cuando las piezas son de composiciones similares o tienen afinidad entre si.
- ◆ **Consecuencias:** soldadura en frío, rayas y rotura del útil.



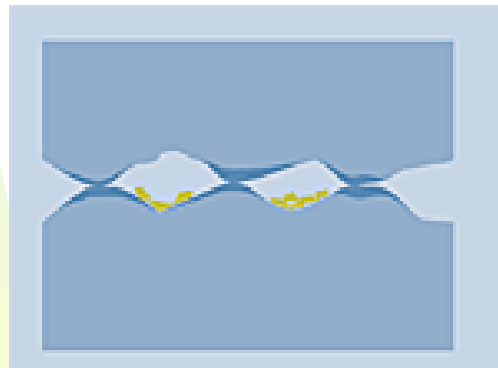
Desgaste

- ◆ **Desgaste por fatiga:** se debe a tensiones superficiales continuadas que llevan a la formación de grietas bajo la superficie y a su propagación bajo la superficie en tensión o a la deformación de la pieza.
- ◆ **Consecuencias: grietas transversales y verticales, dislocaciones y formación de cavidades.**



Desgaste

- ◆ **Reacción triboquímica (triboxidación):** el contacto deslizante tribológico da como resultado una reacción química. Los productos de la reacción influyen en los procesos tribológicos en la superficie, por ejemplo las piezas en rozamiento con tolerancias estrechas pueden griparse



PROTECCION CONTRA EL DESGASTE

- *Tratamientos*

- ✚ térmicos
- ✚ selectivos
- ✚ termoquímicos

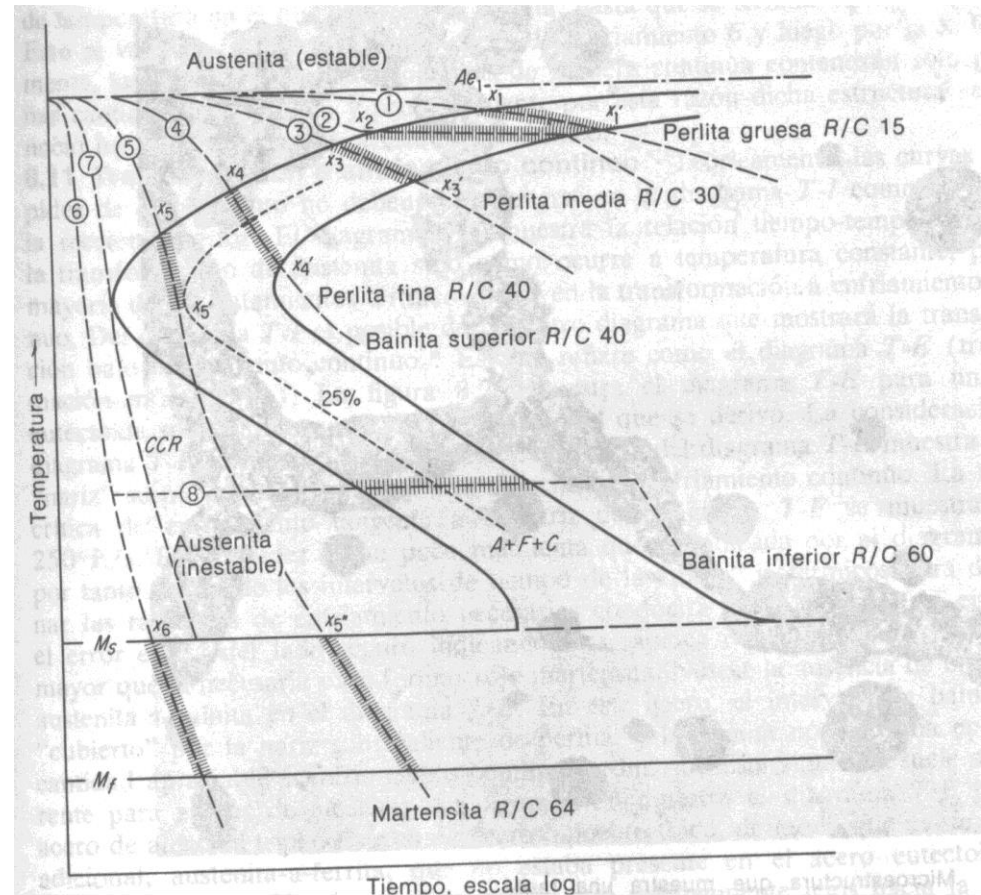
- *Recubrimientos protectores*

- ✚ electrodeposición: cromado, niquelado
- ✚ metalizado
- ✚ revestimiento duro

TRATAMIENTOS TERMICOS

- # Temple y revenido
- # Normalizado
- # Austenizado

Se puede logra
materiales duros y
tenaces





TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS

- + Cementación: sólida, gaseosa, líquida (C)
- + Cianuración: líquida, gaseosa (C, N)
- + Nitruración (N)
- + Siliciado (Atm. Cl junto con Si)
- + Borado (Sales de Bo)
- + Cromizado (Atm. Inerte junto con Cr)

Cambian la composición química (se adiciona C, N, etc)



TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS

	CEMENTACIÓN			CIANURACIÓN		NITRURACIÓN
Adición	C			C y N		N
Tipos	sólida	gaseosa	liquida	liquida	gaseosa	gaseosa
Agente	C sólido	CO/ hidrocarburo	Baño cianuro	Baño cianuro	NH3/portador/ enriquecedor	NH3 gas y disociado
Temp (°C)	850-900			750-850		550
Tiempo(h)	4-16	1 – 8	1-6	1	½	20- 80
Espesor(mm)	0.9-2.3	0.2-1.5	0.2-3	0.3	0.1-0.6	0.2-0.7
Ventajas	Util para pequeñas piezas	Mas limpio	Alta conductividad del baño, menor tiempo	Disminuye la velocidad crítica de temple	No necesita temple Bajas temp.	
Desventaja	No se temple directamente	-----	Sales venenosas Ajuste del baño	-----	-----	Aceros aleados Costos



TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS

Siliciado

- Se adiciona Si al Fe obteniéndose una solución sólida de Fe-Si
- Se calienta la pieza (920-1010 °C) en contacto con carburo de Si y se utiliza Cl como catalizador.
- Se logran espesores de 0.13 a 2.54 mm
- Se aplica en ejes de bombas, eslabones de transportadores de cadena, etc



TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS

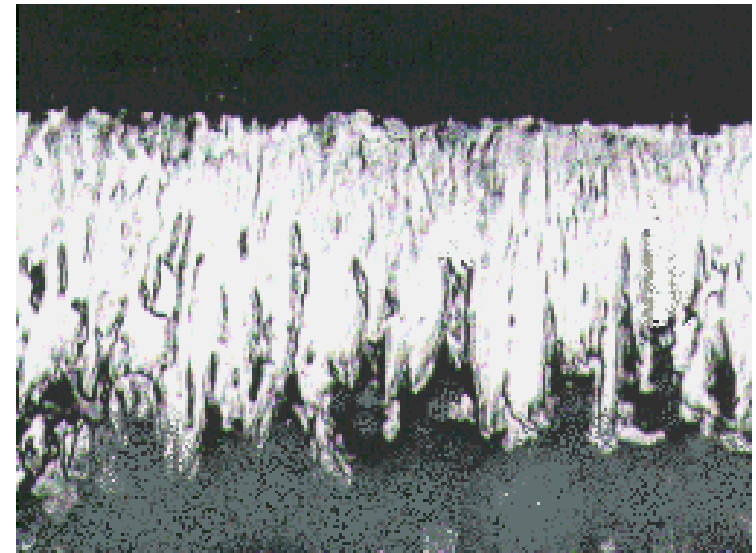
Cromizado

- No está restringido a materiales ferrosos
- En el acero forma una capa exterior de acero inoxidable y si el C es mayor de 0.6 precipitará carburos aumentando la resistencia al desgaste
- Se calienta la pieza (900-1090 °C) en contacto con Cr en fase gaseosa
- Se logran durezas de 800 a 1000 Vickers
- Se aplica en ejes de bombas, herramientas, troqueles

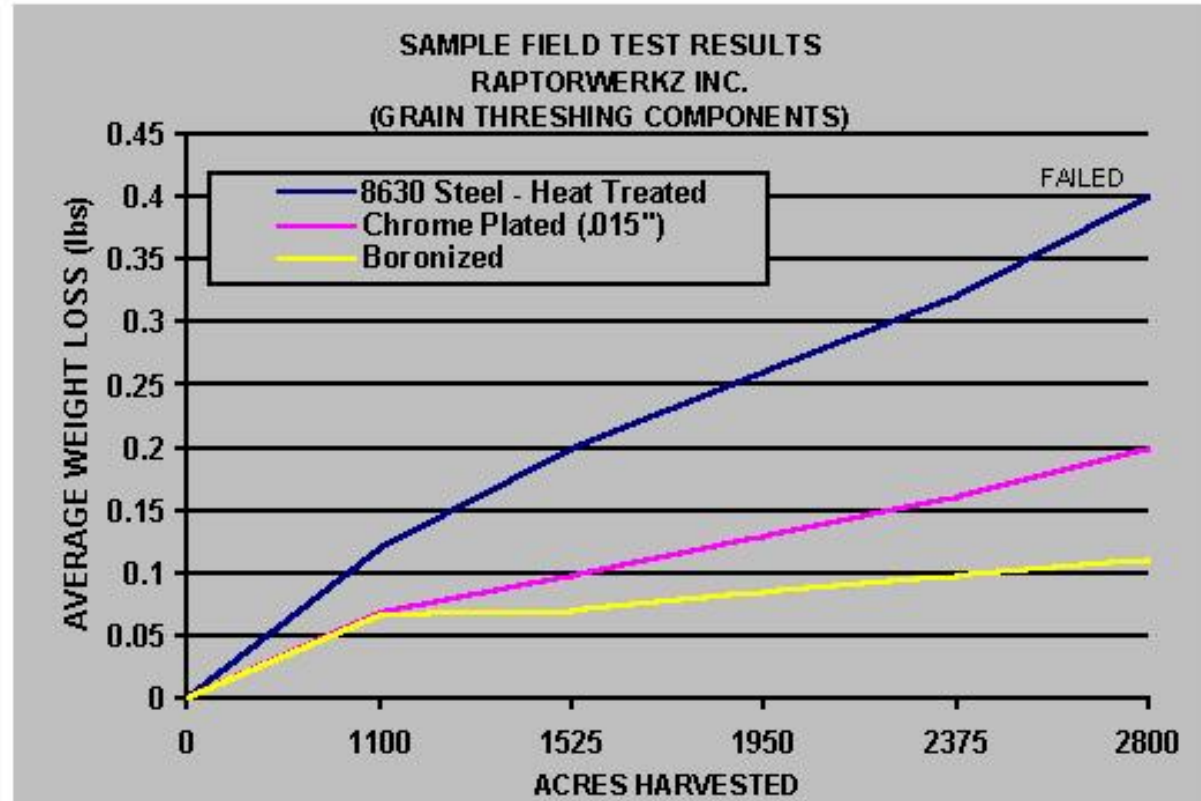
TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS

Borado

- Se aplica a Aceros
- Se calienta la pieza a temperatura de austenización (800-1050 °C) en contacto con Sales de Boro
- Se forma una capa de 200 micrones compuesta de 2 subcapas: FeB (ortorrómbica) y Fe₂B (tetragonal centrada en el cuerpo)
- Se logran durezas mayores de 1500 Vickers



TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS



Fuente: Raptorwerkz Inc.

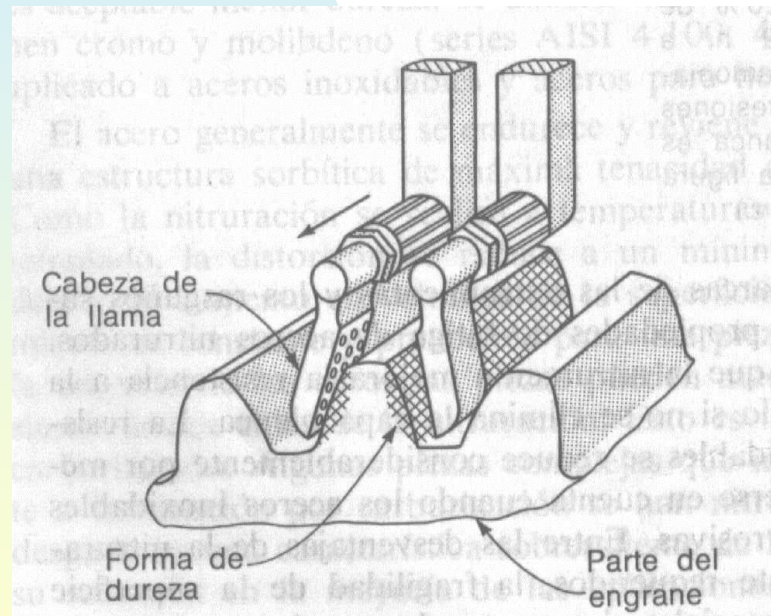


TRATAMIENTOS SELECTIVOS

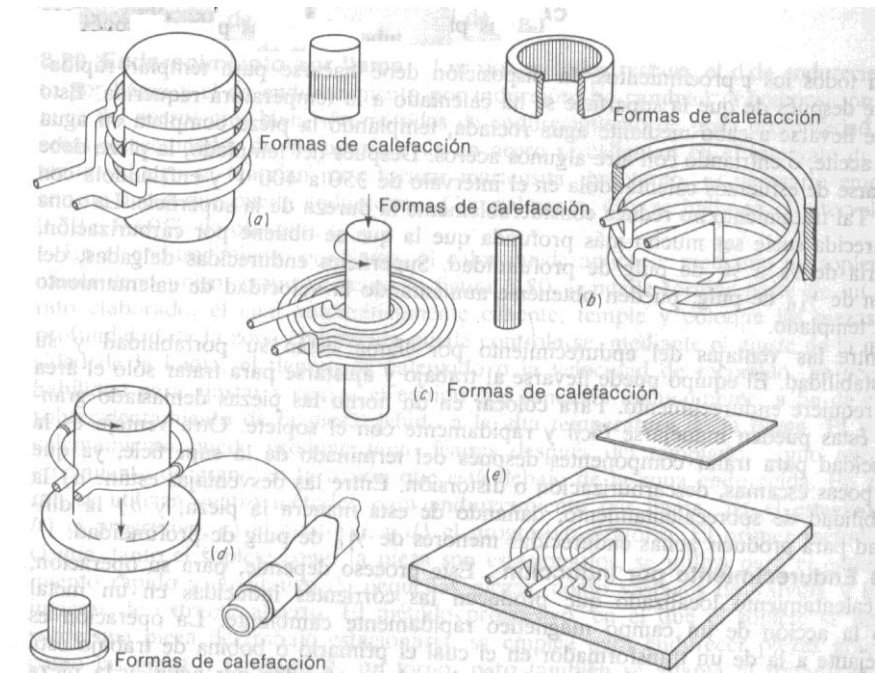
- Endurecimiento por llama
- Endurecimiento por inducción
 - Se calienta selectivamente a la pieza en el intervalo de austenita y luego se templean y revienen
 - No cambian la composición química.
 - El % de C debe ser mayor a 0.3 %
 - Se logra espesores de *1/16* a *1/4* pulgadas

TRATAMIENTOS SELECTIVOS

⚡ Endurecimiento por llama



⚡ Endurecimiento por inducción





ELECTRODEPOSICION

Cromado

- # espesores: 0.0001 a 0.01 pulg
- # dureza: 1000 Vickers
- # características: no se suelda con el calor
alta resistencia a la corrosión

Niquelado

- # espesores: 0.0001 pulg
- # dureza: 140 420 Vickers
- # características: mejor deposición en piezas irregulares
más económico



METALIZADO DE POLVOS

Se utiliza para recuperar piezas gastadas o fuera de tamaño o cuando se requiere resistencia al desgaste

Fuente de calor química

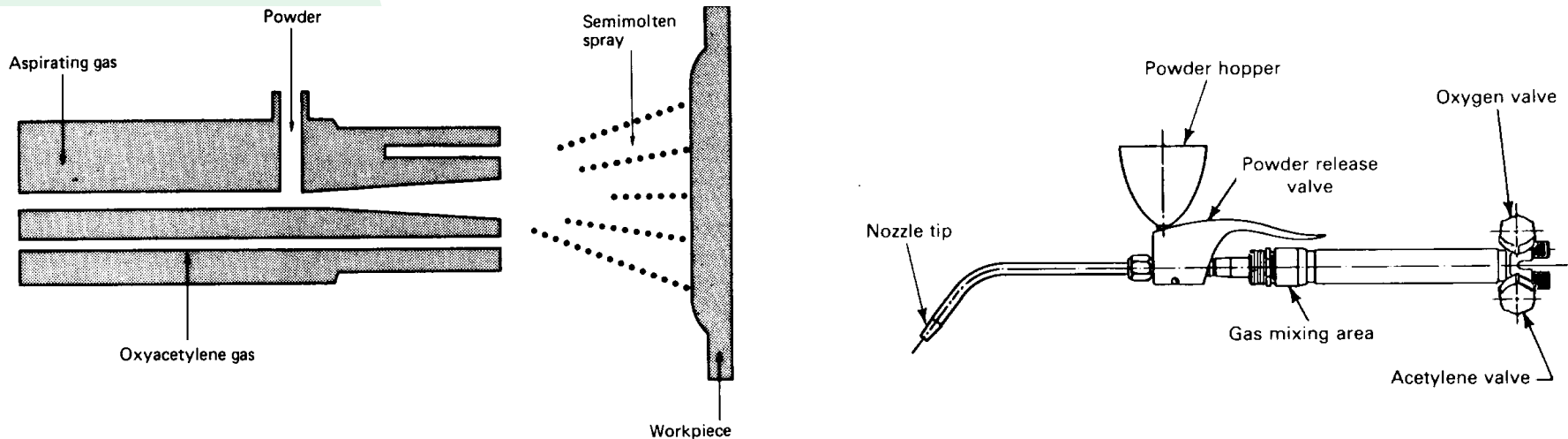
- ✚ Oxiacetilénica
- ✚ HVOF (alta velocidad de oxi-fuel)
- ✚ (D-gun) Detonación con pistola

Fuente de calor eléctrica

- ✚ Plasma
- ✚ Arco eléctrico

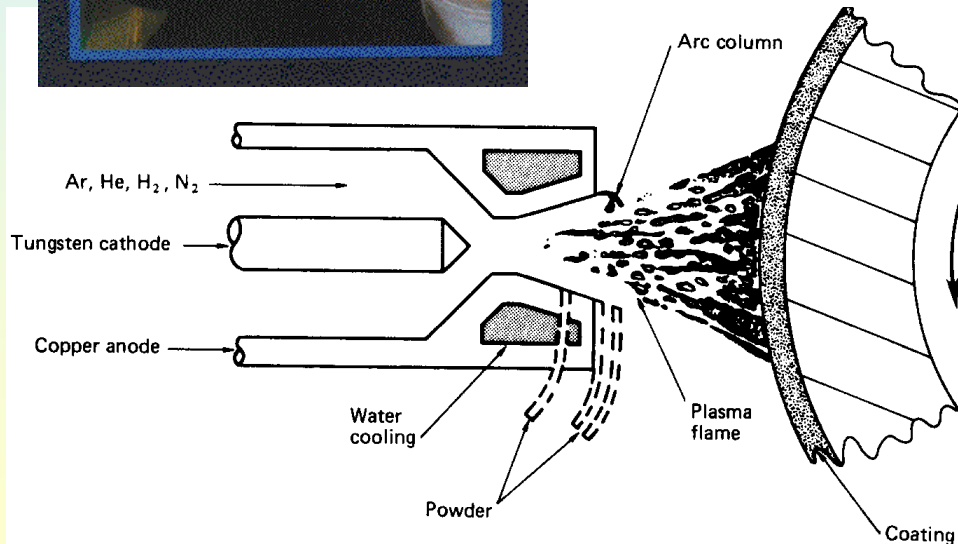
PISTOLA DE OXIACETILENO

- + Se rocía el polvo sobre la superficie deseada
- + Se puede aplicar cubiertas delgadas
- + Útil para aplicar aleaciones duras y resistentes a la corrosión
- + Tienen base Ni o Co, contiene Cr, Bo, Si

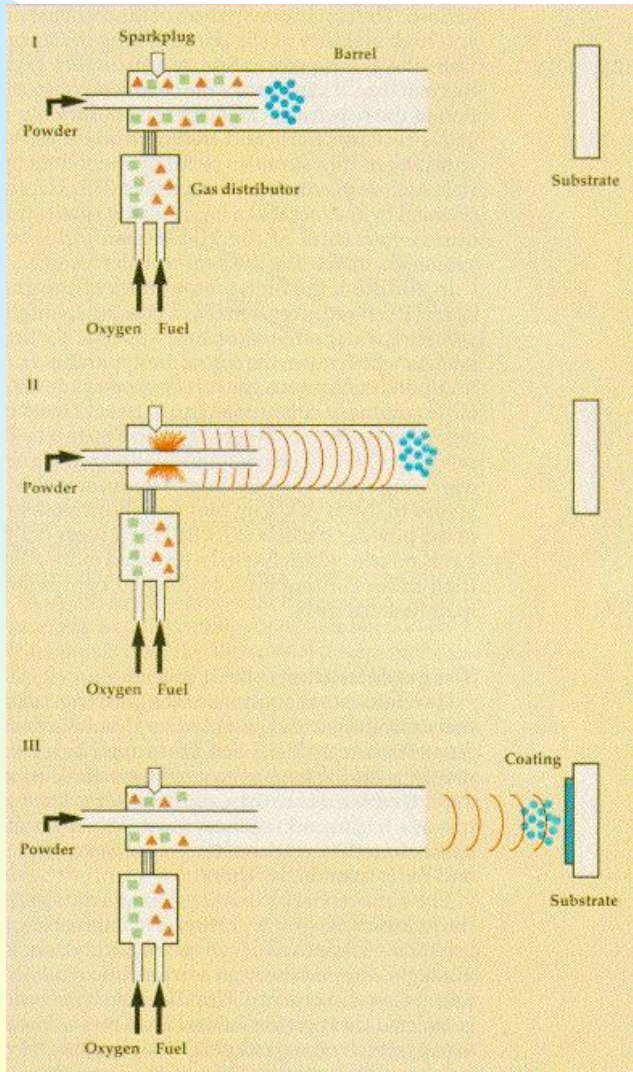




PISTOLA DE PLASMA

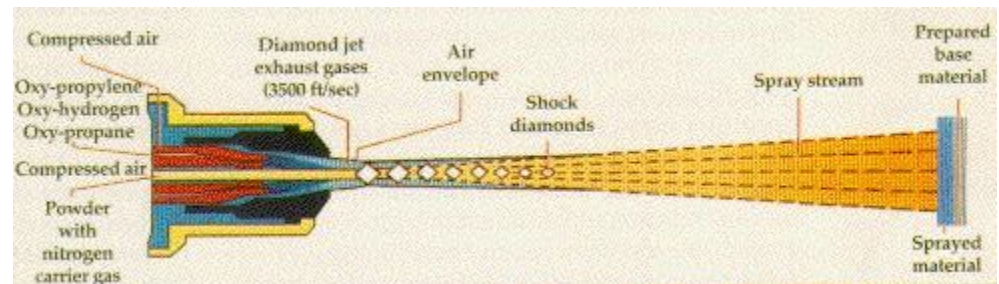


- ✚ El plasma es un gas ionizado que se produce al pasar por un arco eléctrico
- ✚ Se logran mayores temperaturas de trabajo que permite depositar metales de mayor punto de fusión
- ✚ Se debe de tener cuidadosas medidas de seguridad



D-gun

HVOF





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES



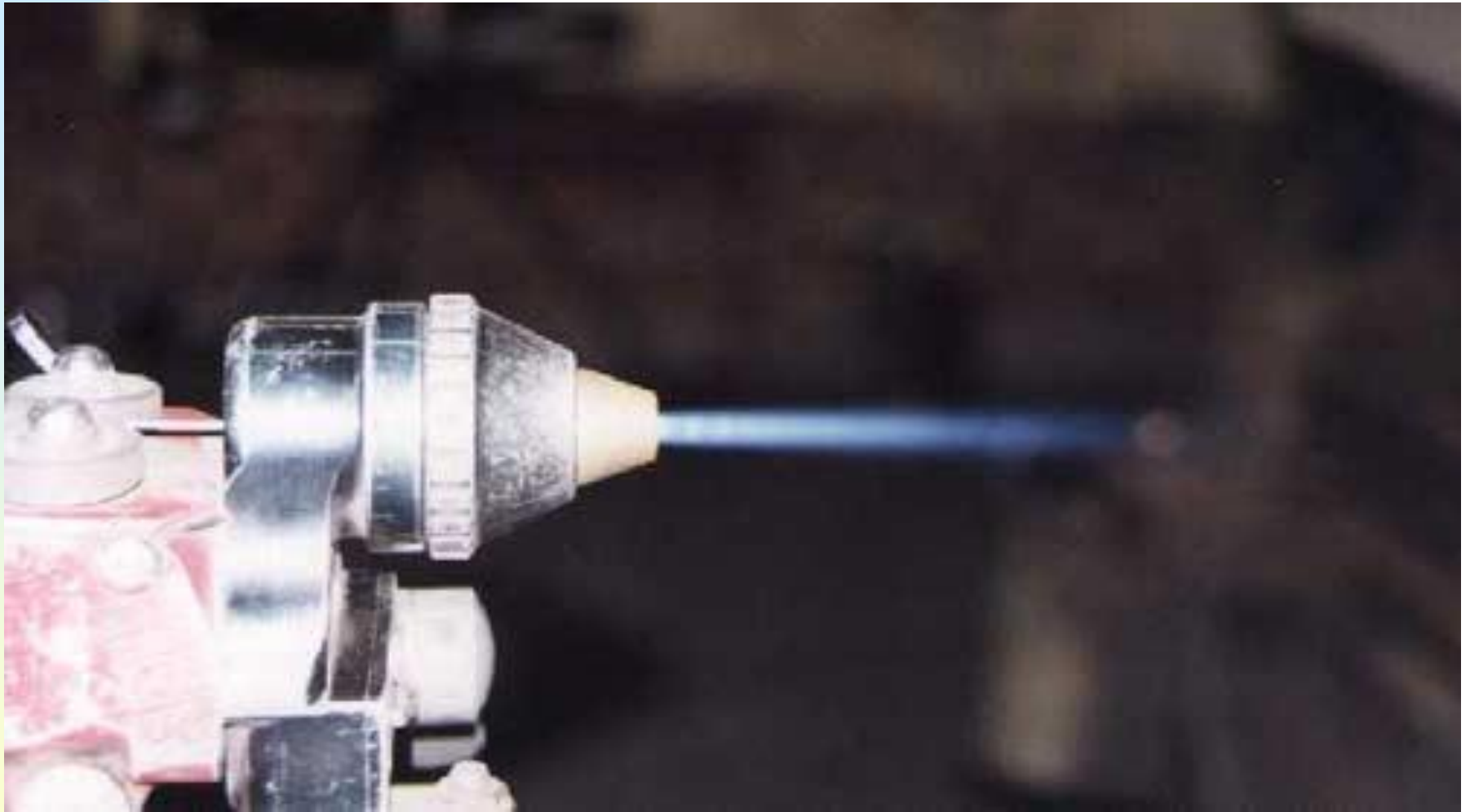


INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES





INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES





REVESTIMIENTOS DUROS

Se define el **REVESTIMIENTO DUROS (PROTECTOR CONTRA EL DESGASTE DEPOSITADO POR SOLDADURA)** como el proceso que aplica por soldadura una capa, una esquina o un punto de una aleación adecuada sobre una pieza metálica para aumentar su resistencia a las diversas formas de desgaste.

- ✚ Se puede aplicar a partes nuevas, en servicio o para recuperar
- ✚ Existen mas de 150 tipos de depósitos
- ✚ Tienen base Ni, Co o Cr, pueden adicionarse W, Mo
- ✚ Aplicaciones: agricultura, maquinaria vial, etc



INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

REVESTIMIENTOS DUROS

VENTAJAS ECONÓMICAS

- ✚ **Mantener las dimensiones de superficies sometidas a desgaste, sin pérdida de eficiencia, ni aumento de gasto en potencia.**
- ✚ **Prolongar la vida en servicio de una pieza, reduciendo tiempos de parada y frecuencia de sustituciones.**
- ✚ **Reducir costos mediante el empleo de aleaciones específicas que poseen propiedades que sólo serían alcanzadas con materiales muy costosos.**
- ✚ **Mantener menor stock de piezas de repuesto.**



INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

PROCESOS DE SOLDADURA UTILIZADOS PARA REVESTIMIENTOS PROTECTORES

✚ Entre los procesos utilizados habitualmente para aplicar revestimientos protectores podemos citar:

Oxigás (varilla, polvo).

Plasma transferido (polvo).

Electrodo revestido.

TIG (varilla o alambre).

MIG (alambre sólido/tubular).

Arco sumergido.

✚ La elección del método de aplicación es tan importante como la de la aleación para el revestimiento.

✚ Las ineficiencias pueden estar disimuladas por resultados aparentemente satisfactorios, pero que no representan una optimización económica, ni permiten alcanzar la máxima vida útil de la pieza.



PROCESOS DE SOLDADURA UTILIZADOS PARA REVESTIMIENTOS PROTECTORES

Factores que intervienen en la selección del proceso adecuado:

- + Dimensiones y geometría de la pieza a revestir.**
- + Tasa de deposición (kg/hr depositados).**
- + Tipo de material base.**
- + Forma y composición de la aleación a emplear.**
- + Propiedades y exigencias en función de la dilución.**
- + Habilidad requerida del soldador.**
- + Medidas de seguridad requeridas.**



INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

PROCESOS DE SOLDADURA UTILIZADOS PARA REVESTIMIENTOS PROTECTORES



✚ Las recomendaciones habituales de fabricantes basicamente describen fajas de parámetros dentro de las cuales los consumibles pueden emplearse con razonable facilidad.

✚ En general no se informa sobre alteraciones en las propiedades finales debido a cambios en los valores de las variables.

EJEMPLO → Soldadura manual con electrodo revestido:

La elección de diferentes diámetros de electrodo puede implicar variaciones importantes en la corriente de trabajo y por lo tanto en la energía de soldadura, modificando la estructura de solidificación y finalmente la distribución de carburos.



ELECCIÓN DEL SISTEMA

Se entiende por “SISTEMA” la combinación de aleación y proceso de deposición.

SECUENCIA DE PASOS A SEGUIR

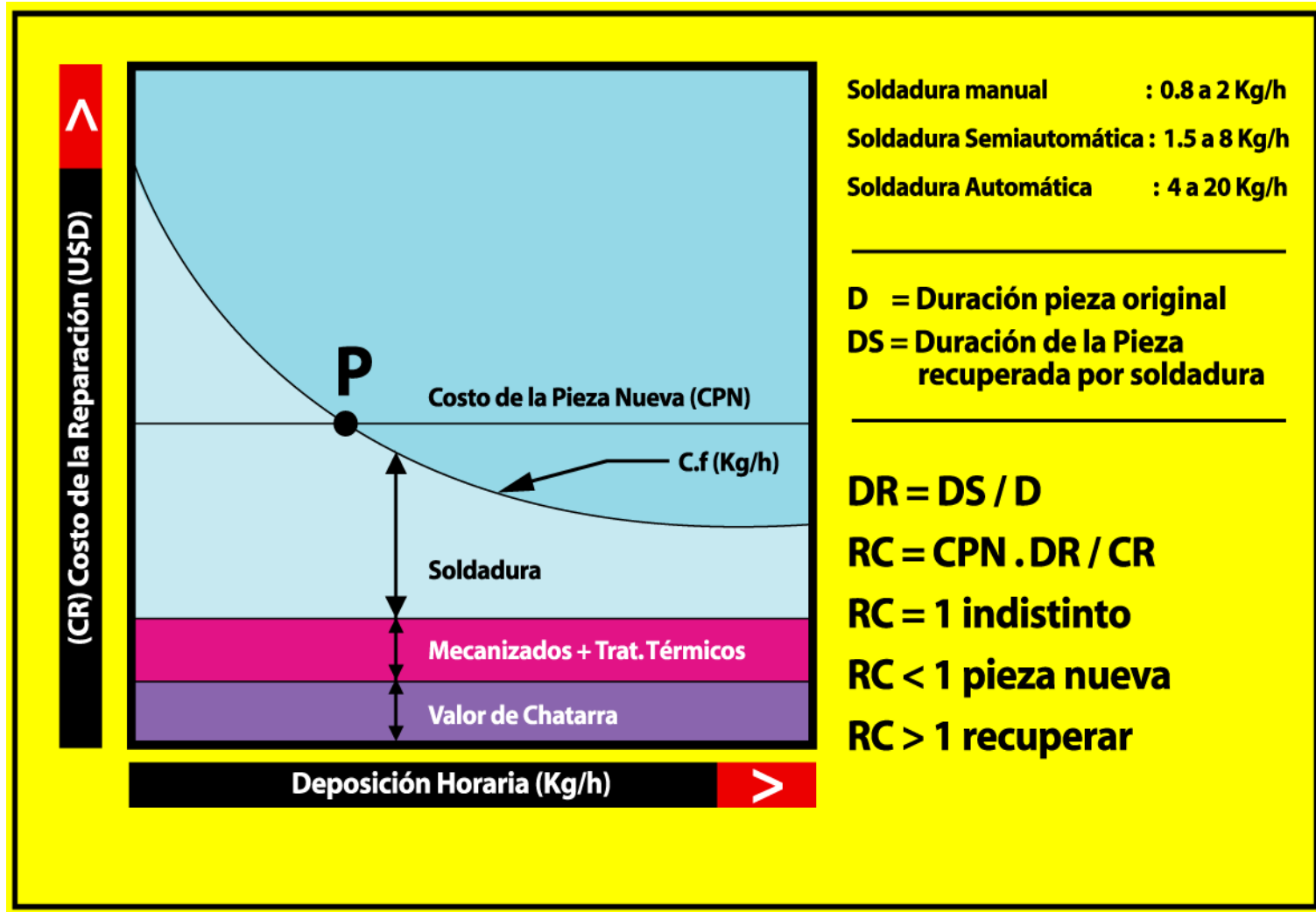
1. Reconocer y comprender el tipo de problema de desgaste presente.
2. Seleccionar el material adecuado de revestimiento, de acuerdo a los factores anteriormente analizados.
3. Seleccionar el proceso de soldadura más apropiado, considerando los factores ya mencionados.
4. Evaluar los costos del procedimiento, teniendo en cuenta los siguientes puntos:
 1. Pre calentamiento.
 2. Exceso de material para mecanizar.
 3. Cantidad de capas necesarias para eliminar la dilución.
 4. Tasa de deposición.
 5. Mecanizado posterior, dependiendo de la dureza del depósito.
5. Realizar pruebas para optimizar las condiciones del proceso.
6. Ensayar nuevos materiales y comparar tasas de desgaste inter-laboratorios.



ELECCIÓN DEL SISTEMA

1- Identifique metal base	2- Seleccione proceso de soldadura
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aceros al Carbono o baja aleación <input type="checkbox"/> Aceros de alto Manganeseo <input type="checkbox"/> Aceros para trabajo en caliente <input type="checkbox"/> Aceros de herramientas <input type="checkbox"/> Fundición gris o nodular 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Manual con electrodo revestido <input type="checkbox"/> Semiautomático tubular con gas <input type="checkbox"/> Semiautomático tubular sin gas (<i>arco abierto</i>) <input type="checkbox"/> Automático tubular (<i>arco sumergido</i>)
3- Seleccione material de aporte para capa base o soporte	4- Identifique tipo de desgaste y condiciones de servicio
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Básico baja aleación y mediana o alta resistencia <input type="checkbox"/> Alto Manganeseo <input type="checkbox"/> Inoxidable austeno ferrítico <input type="checkbox"/> Duro menor a 350 HB <input type="checkbox"/> Aleación base Níquel 	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Metal-Metal (<i>adhesión</i>) <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Impacto <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Abrasión <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Corrosión <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Cavitación <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Oxidación <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Rodadura <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Presión <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Erosión <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Temperatura
5- Seleccione material de aporte resistente al desgaste	6- Tome precauciones para obtener la resistencia deseada
<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Inoxidable alto Mn <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Martensita + Carburos <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Inoxidable Martensítico <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Aceros de herramientas <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Duro menor a 400 HB <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Ac. para trabajo en caliente <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Duro de 450 a 600 HB <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Martensita + Carburos W <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Austenita + Carburos + E <li style="width: 50%;"><input type="checkbox"/> Aleaciones Cobalto - Cromo 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Última capa Metal de aporte puro <input type="checkbox"/> Control de dilución con Metal base <input type="checkbox"/> Control régimen térmico <input type="checkbox"/> Precalentar 50° C arriba del "Ms" del Metal de Soldadura $Ms (^{\circ}C) = 550 - \{[(350 \cdot C + 40 \cdot Mn) + 35 \cdot V + 20 \cdot Cr + 17 \cdot Ni + 10 \cdot Cu + 10 \cdot Mo + 5 \cdot W] + [15 \cdot Co + 30 \cdot Al]\}$
7- Tome precauciones para evitar agrietamiento bajo cordón	8- Tome precauciones para evitar fisuración y/o desprendimiento del Metal de soldadura
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Capa base o soporte <input type="checkbox"/> Prealentamiento <input type="checkbox"/> Básico baja aleación <input type="checkbox"/> Inox. Austenítico 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Limitar el espesor de recargue <input type="checkbox"/> Alivio de Tensiones <input type="checkbox"/> Prealentamiento <input type="checkbox"/> Capa base o soporte

ANÁLISIS DE COSTOS





DISEÑO DE ENSAYOS DE DESGASTE

- 1. Se debe clasificar el tipo de desgaste**
- 2. Se debe elegir la máquina correspondiente que simule dicho mecanismo**
- 3. Se debe comparar el desgaste con una probeta testigo (por ej. fundición blanca)**
- 4. Se debería finalizar el ensayo con una validación a campo**



PREGUNTAS

- 1. ¿Cuales son las características de las partículas involucradas en el desgaste abrasivo? ¿Como inciden en la tasa de desgaste?**
- 2. ¿Como diseñaría un ensayo de desgaste? ¿Qué tratamientos y recubrimientos conoce para disminuir la tasa de desgaste de una pieza metálica?**