



BLOQUE II. OPERACIONES SECUNDARIAS

Tema 6. Ingeniería de Superficies



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



APLICACIONES

Necesidad de la tecnología de superficies



Fenómenos físicos

Calor: daños térmicos

Desgaste

Fractura y fatiga

Creep

Radiactividad

Fenómenos químicos

Corrosión

Solvatación

Reacción con solventes orgánicos

Fenómenos biológicos

Degradación por elementos biológicos.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

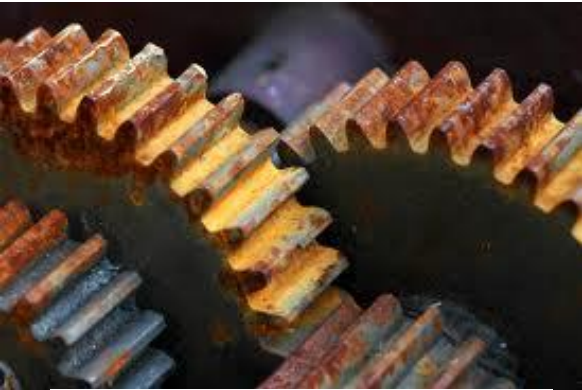
<http://www.lakesprecision.com/physical-vapor-deposition-pvd-coating.html>

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



APLICACIONES

Necesidad de la tecnología de superficies



Fenómenos combinados

Corrosión a alta temperatura

Corrosión-fractura

Corrosión-desgaste

Daño foto-químico

Desgaste y fractura de biomateriales

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.lakesprecision.com/physical-vapor-deposition-pvd-coating.html>

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



SECTORES TECNOLÓGICOS

Aplicaciones según los sectores tecnológicos

SECTOR INDUSTRIAL	APLICACIONES
Automoción	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos embellecedores en componentes de automóvil. • Recubrimientos duros de piezas móviles del motor, etc.
Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos duros para herramientas de corte (brocas, fresas, etc.). • Útiles de moldeo y conformación de piezas, acuñado de moneda, etc. • Recubrimientos tribológicos para piezas móviles (bombas y compresores, maquinaria textil, etc.).

Saneamiento y útiles

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



SECTORES TECNOLÓGICOS

Aplicaciones según los sectores tecnológicos

SECTOR INDUSTRIAL	APLICACIONES
Microelectrónica, fotónica y óptica	<ul style="list-style-type: none"> • Capas activas, pasivas y de protección en componentes. • Recubrimientos antirreflectantes, anti-humedad, etc. para lentes, visores, espejos, ventanas etc. • Capas activas y funcionales en discos ópticos.
Dispositivos magnéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Capas magnéticas para discos duros, etiquetas magnéticas, etc.
Juguetería y bisutería	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos protectores y decorativos.
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimientos para empaquetamiento de alimentos y botellas de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

PROPIEDADES		MATERIALES EMPLEADOS
MECÁNICAS	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia al desgaste Reducción de la fricción 	<ul style="list-style-type: none"> C(diamante), BN, SiC, TiN, Al₂O₃, SiO₂ C(grafito), MoS₂, Ag, Pt
QUÍMICAS	<ul style="list-style-type: none"> Protección a la corrosión Pasivación, membranas 	<ul style="list-style-type: none"> Al₂O₃, SiO₂, Si₃N₄, Cr₂O₃ SiO₂, Si₃N₄, TiO₂
ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS	<ul style="list-style-type: none"> Capas conductoras y superconductoras Capas semiconductoras Capas aislantes Capas ferroeléctricas Capas magnéticas 	<ul style="list-style-type: none"> Si(poli), Al, Cu, In₂O₃, TiSi₂, YBaCuO Si, GaAs SiO₂, Si₃N₄, SiO_xN_y, Ta₂O₅ Titanatos, Niobatos Fe, Fe/Co, Fe₂O₃
ÓPTICAS Y	<ul style="list-style-type: none"> Capas selectivas Guías de onda de luz 	<ul style="list-style-type: none"> CdS, BaF₂/ZnS SiO₂, Si₃N₄, TiO₂

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

• Protección térmica

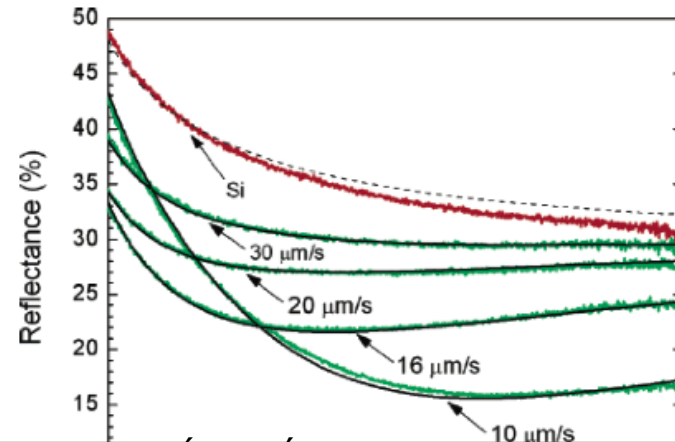
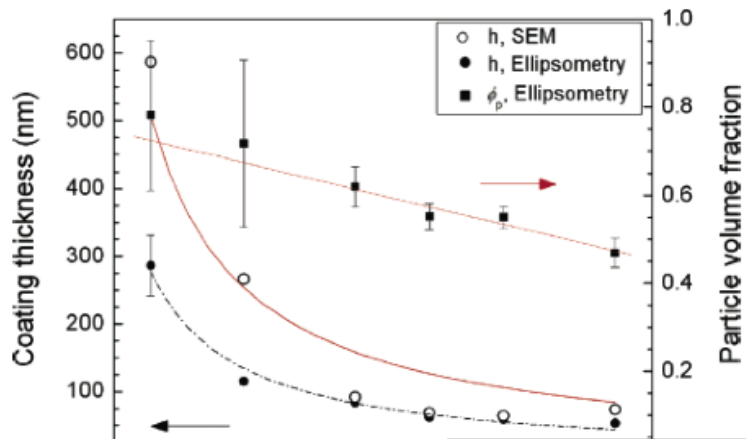
• ZrO₂, MgO, MgAl₂O₄, Ca₂Si₄



TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

Dependencia de las propiedades de los parámetros de la capa superficial



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

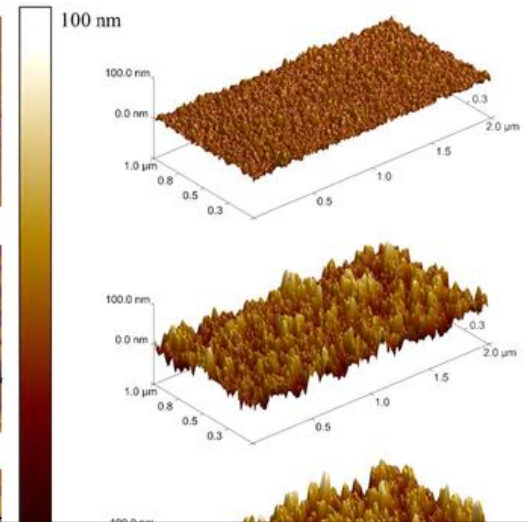
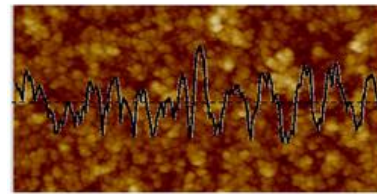
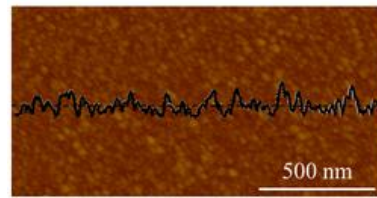
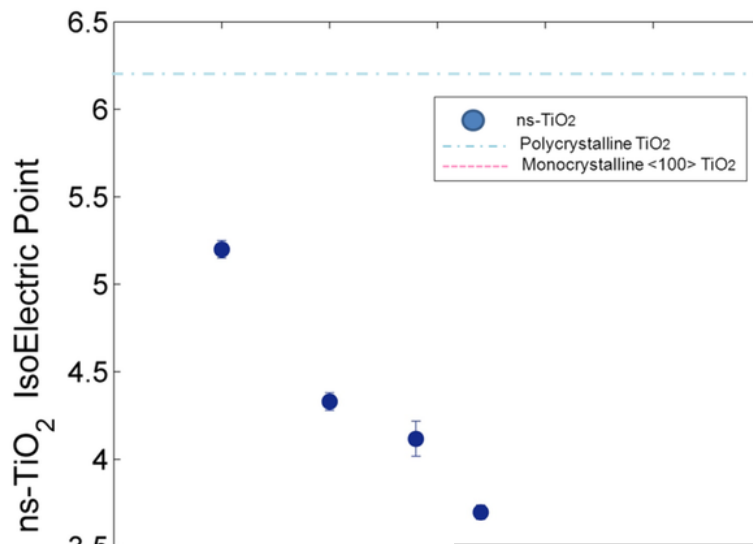
Prevo BG et al. 2005]



APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

1. Reactividad catalítica superficial



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

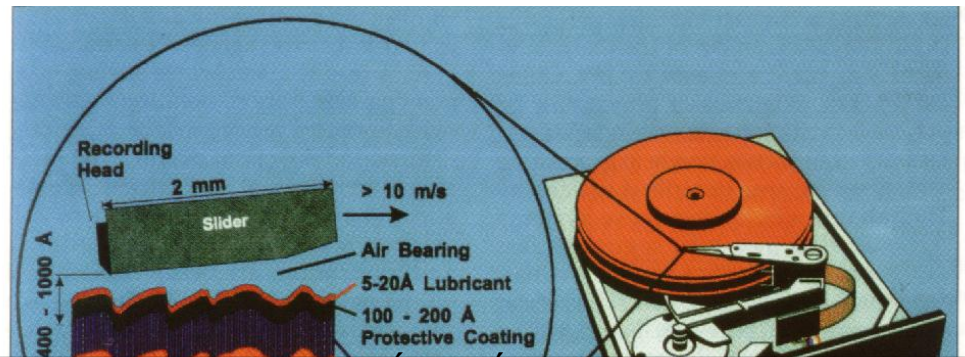
Borghi F et al. 2013



APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

1. Reactividad catalítica superficial
2. Control de la dureza y el rozamiento superficial



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99



APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

1. Reactividad catalítica superficial
2. Control de la dureza y el rozamiento superficial
3. Formación de capas de adhesión
4. Control micro/nano-estructural de la superficie: interacciones de Van der Waals
5. Superficies hidrofóbicas/ hidrofílicas



Estructura de la hoja de loto:
Pequeños gránulos de 5-10 μm de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

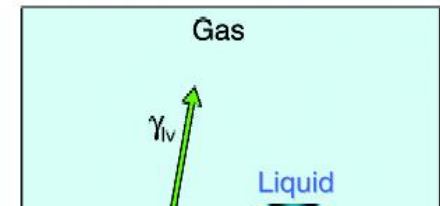


APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

1. Reactividad catalítica superficial
2. Control de la dureza y el rozamiento superficial
3. Formación de capas de adhesión
4. Control micro/nano-estructural de la superficie: interacciones de Van der Waals
5. Superficies hidrofóbicas/ hidrofílicas

Factores controlantes del ángulo de contacto:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Fig. 1 Wetting of solid surfaces according to Young's equation: $\gamma_s = \gamma_{lv} \cos \theta$, where γ = surface tensions between the three phases. Schematic shows a water drop on a 'normal' surface. For the lotus effect, $\theta > 90^\circ$. (Credit: BASF.)



APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

6. Color y propiedades ópticas



'Milky' wineglass (left) and how it should look (right).
(Courtesy of Himanshu Jain.)

Ejemplo: Aspecto lechoso del vidrio usado (centros de dispersión de luz)



Fig. 1 Morpho butterfly showing characteristic blue iridescence.

El color de ciertas mariposas no se debe a la presencia de pigmentos sino a una cierta microestructura superficial



Observación TEM de la estructura superficial y de las

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

7. Topografía superficial biomateriales

Microestructura

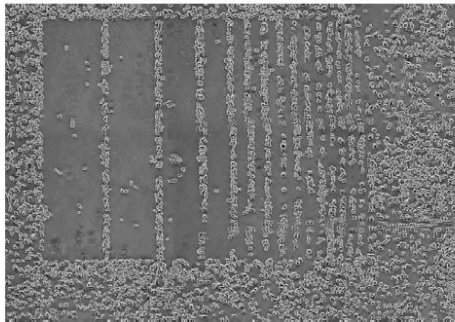
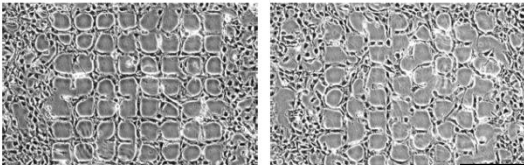


Fig. 2. Micropatterned growth of epithelial cells (KB nasopharyngeal carcinoma cell line) on a logarithmic stripes pattern. The width of the bars is 50 μm . Their distance varies between 30 μm and 500 μm .



Deformación celular

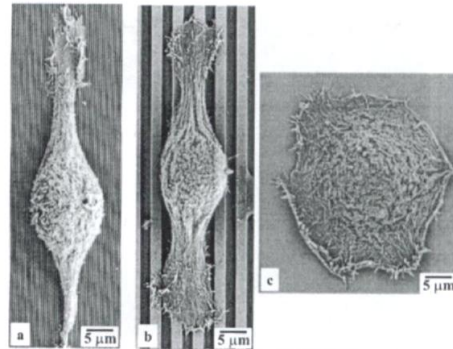
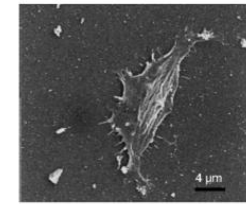
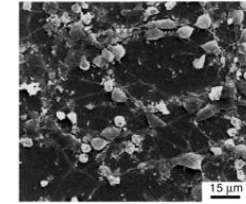


FIG. 3. HCEC align and elongate along grooves and ridges. (a) SEM of a cell aligned along grooves and ridges on a 400 nm pitch. (b) Cell aligned along grooves and ridges on a 4000 nm pitch. (c) On the smooth substrates, cells are mostly round.

Nanoestructura



(a)



(b)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

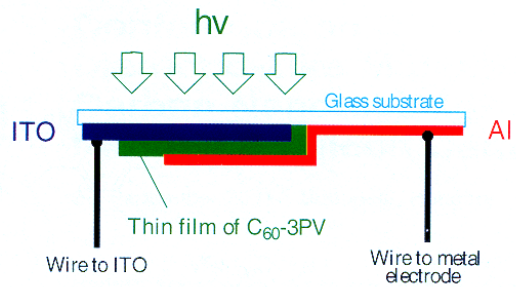
2b: (a) on the surface of untreated silicon with $R_a = 2 \text{ nm}$; (b) on the etched surface with $R_a = 2.5 \text{ nm}$; (c) on the etched surface as in (b). A magnified image of growth cone protruded from the axon of a cell.



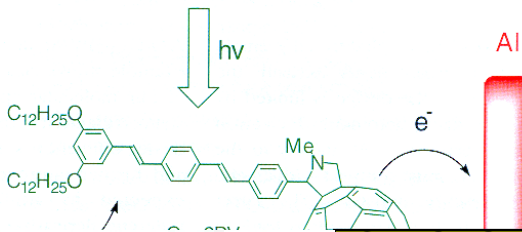
APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

Modificación de propiedades superficiales

8. Celdas fotovoltaicas



ITO



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

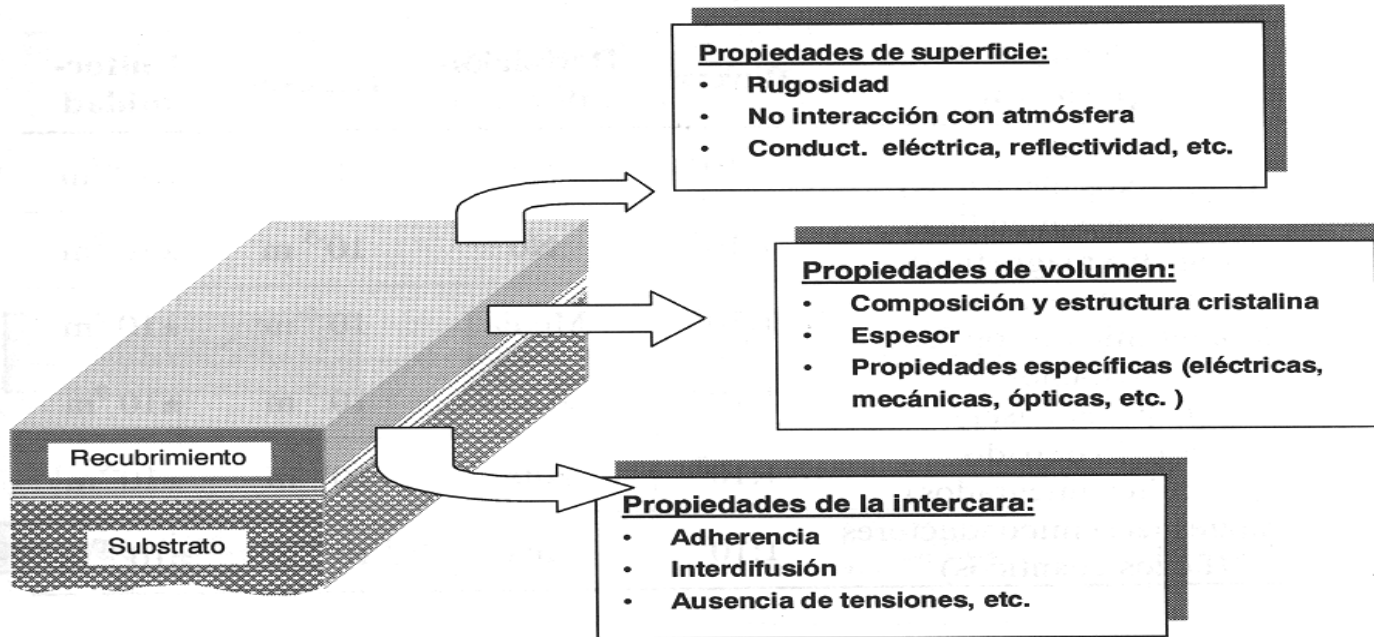
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Esquema de celda fotovoltaica basada en C60 y polímero



SISTEMA CAPA-SUBSTRATO

Propiedades en el sistema



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



APLICACIONES EN EL SECTOR DEL AUTOMÓVIL

The automotive industry can't get by without it: Openair® Plasma treatment

The automotive industry relies on robust, finely tuned processes. These are a basic precondition for achieving consistently high quality. At the same time, durable adhesive bonds and the use of advanced materials are major production parameters when manufacturing parts with complex shapes. Openair® Plasma treatment meets the tough requirements of the automotive industry like no other pretreatment technology and is therefore firmly established in a variety of production processes at leading manufacturers.



Headlights – tightly sealed, cost-saving bonding

Modern headlights using LED technology last for the lifetime of the vehicle, thus eliminating the need to change bulbs. To ensure this longevity, they must be effectively protected to keep all moisture out. [→ more](#)



Car exterior parts – cleaning and activation of complex multi-materials

Plasma treatment is a key technology for achieving stable material combinations and high-quality surface finishes with secure adhesion... [→ more](#)



EPDM profiles – reliable coating and flock coating

EPDM door seals perform two important functions: they act as weatherstrips and reduce the noise level perceived in the vehicle interior. Automobile door seals require specialty surface finishes... [→ more](#)



PlasmaPlus® breakthrough technology: primer-free bonding of windshields

FORD Motor Company has succeeded for the first time in replacing this entire wet-chemical pretreatment with an environmentally friendly, VOC-free and fully automated process - plasma polymer nano-coating with PlasmaPlus® ... [→ more](#)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TRATAMIENTOS MECÁNICOS

I. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MECÁNICOS

1. Granallado
2. Bruñido o laminación con rodillos
3. Impacto con chorro de agua
4. Impacto con láser
5. Endurecimiento por explosivos

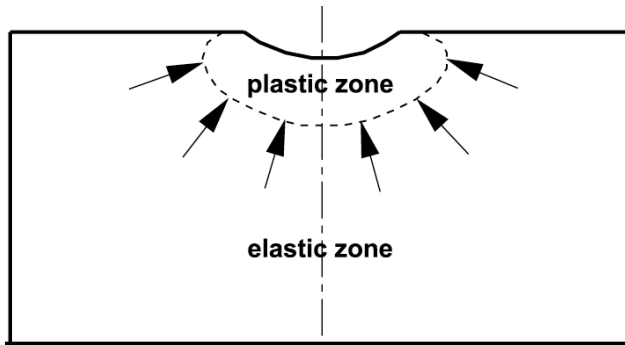


Cartagena99

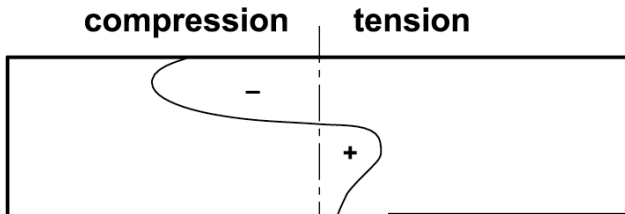
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tecnología

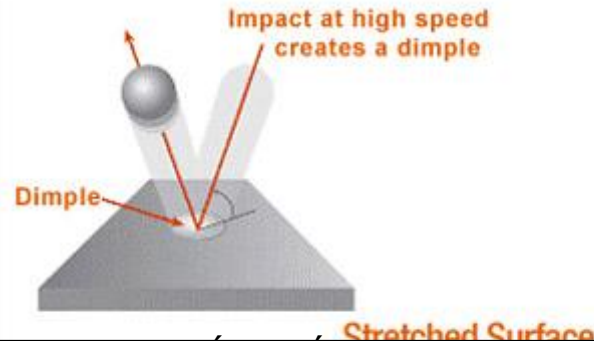


(a)



(b)

Gran importancia industrial: barras, engranajes, muelles, piezas de motores como turbinas o palas de compresores



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

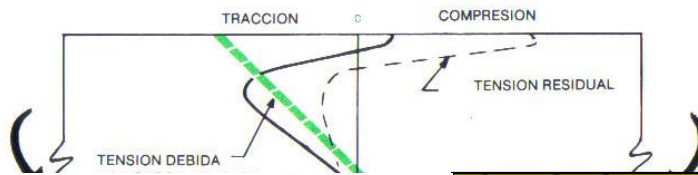
Propiedades que mejora

Tensiones residuales de compresión:

- Fatiga
- Corrosión bajo tensión
- Corrosión-fatiga
- Agrietamiento por hidrógeno

Deformación plástica:

- Cierre de porosidad superficial
- Resistencia superficial
- Dureza superficial
- Corrosión intercrystalina
- Resistencia al desgaste



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CURVA RESULTANTE EN TRAZO CONTINUO.

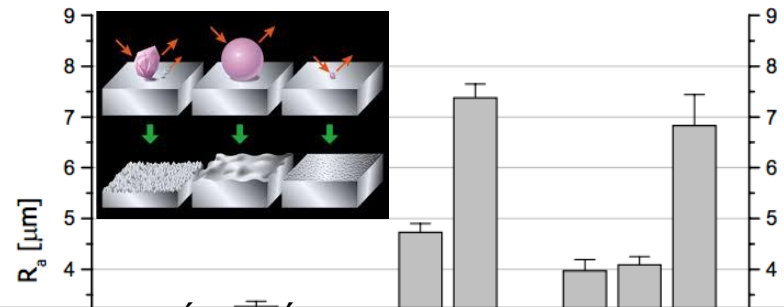
Parámetros

- Tamaño de las partículas
- Material de las partículas
- Morfología de las partículas
- Caudal
- Velocidad de proyección
- Orientación con respecto a la superficie

Tabla 2.VI Tipos (naturaleza química y tamaño) de partículas abrasivas empleadas en este estudio.

Tipo de partícula	Naturaleza química ¹	Nomenclatura de tamaño de partícula ²	Intervalo de tamaños de partícula
AL2	Al ₂ O ₃	F60	212 – 300 μm
AL6	Al ₂ O ₃	F36	425 – 600 μm
AL9	Al ₂ O ₃	F16	1000 – 1400 μm
SI2	SiC	F60	212 – 300 μm
SI6	SiC	F36	425 – 600 μm
SI9	SiC	F16	1000 – 1400 μm
ZR2	ZrO ₂ -SiO ₂	B60	125 – 250 μm
ZR6	ZrO ₂ -SiO ₂	B30	425 – 600 μm
TI6	TiO ₂	#50 - #70	290 - 570 μm

¹ En la Tabla 2.IV se detalla la composición química completa. ² En el texto del presente Apartado se detalla la norma que regula las nomenclaturas referidas.



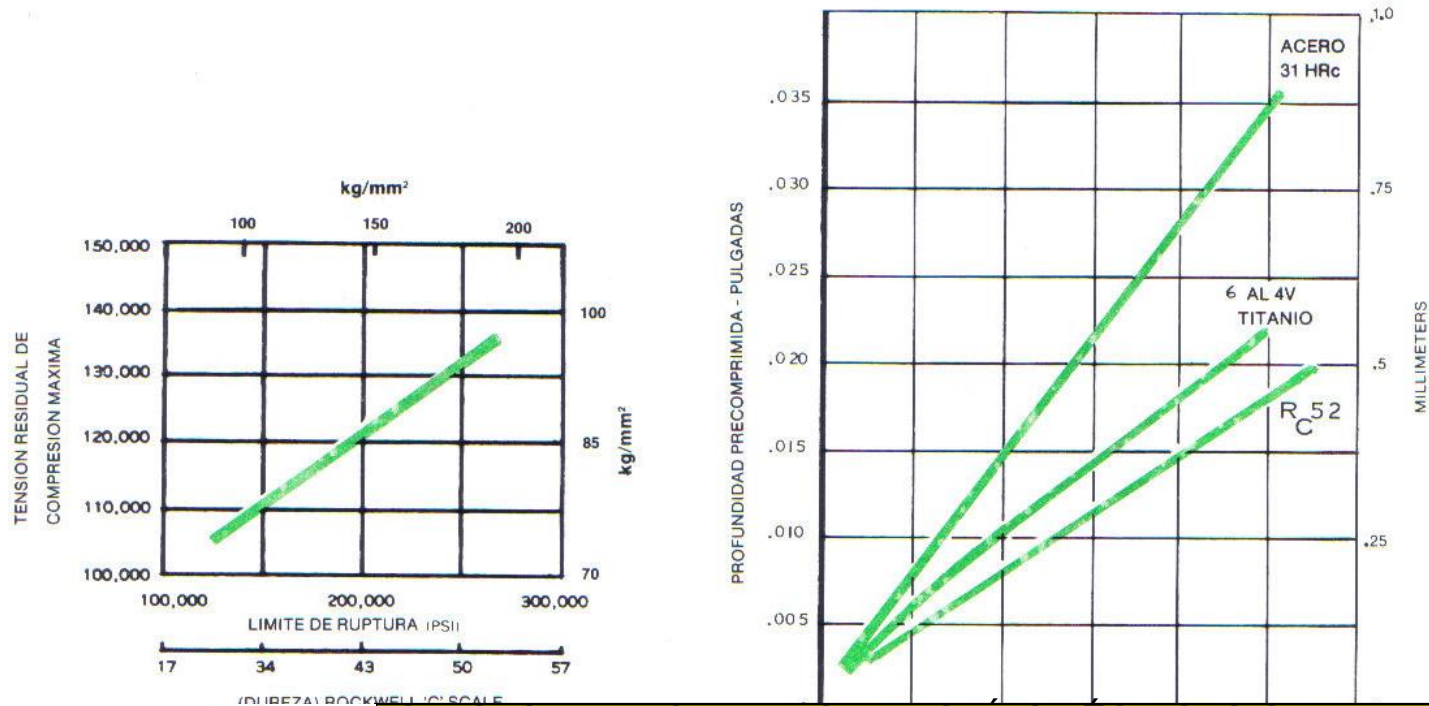
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Tratamiento

Cartagena99

Valores de tensiones residuales y profundidad de la capa



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

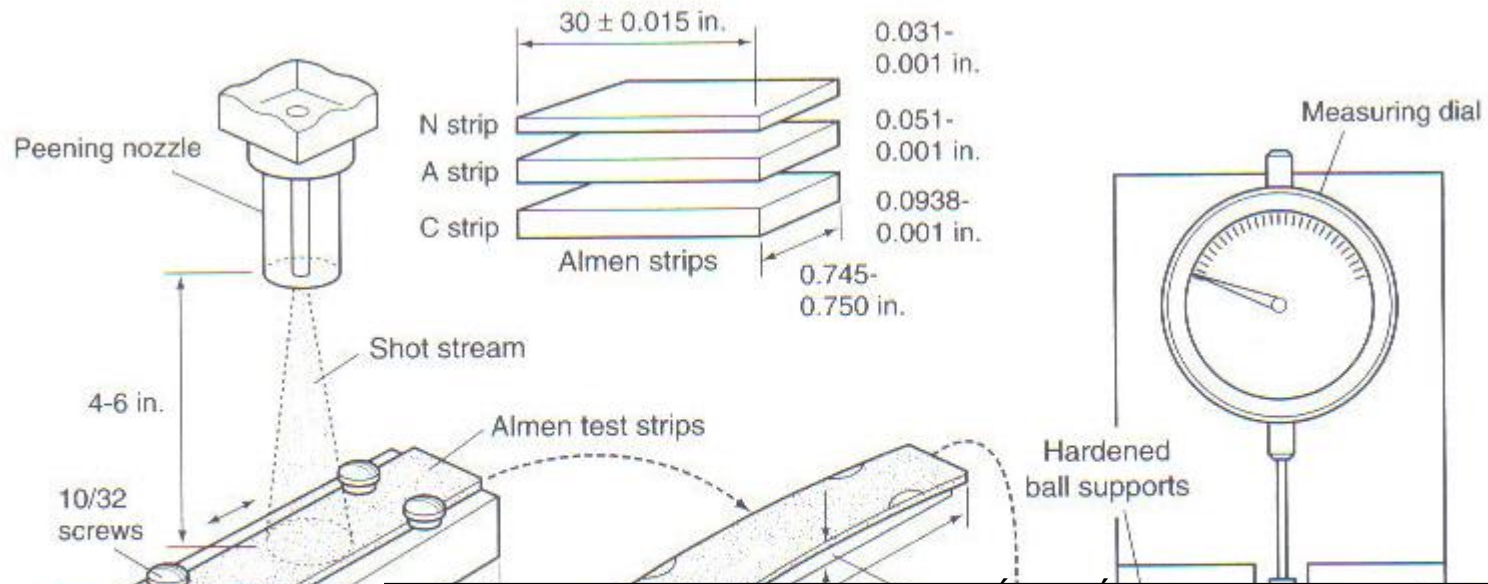
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ALMEN EN LA PROFUNDIDAD
RECOMPRESION PARA EL ACERO Y EL TITANIO.

Ensayo Almen

General Motors 1943

- Intensidad
- Saturación
- Cubrimiento



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

11/10/16

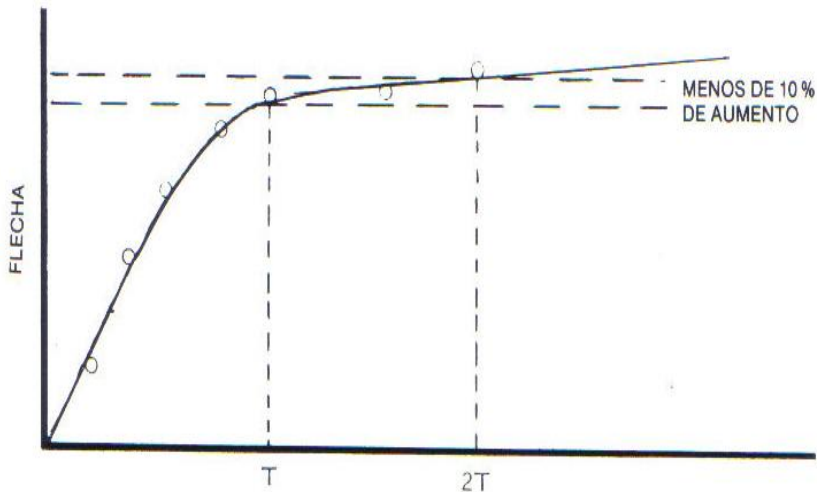
Stresses induced during

Height measurement

Ensayo Almen

General Motors 1943

Saturación: aumento de flecha <10%



La intensidad y el tiempo de saturación dependen de:

- Velocidad de la granalla
- Dureza de la granalla

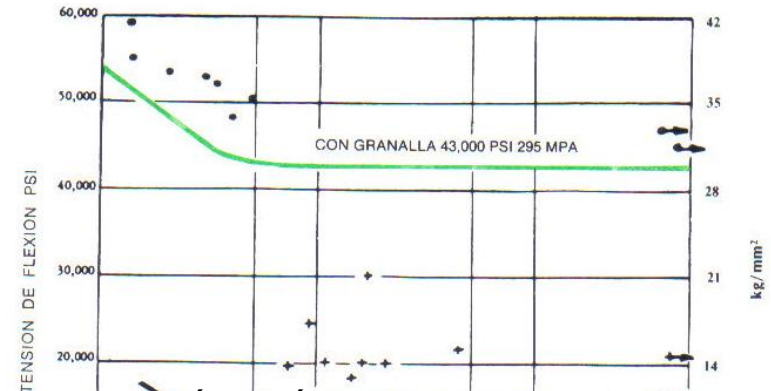
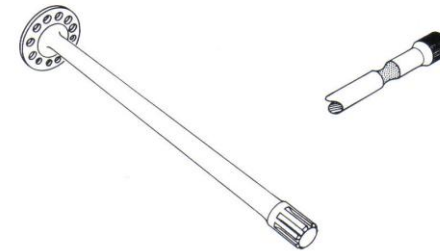
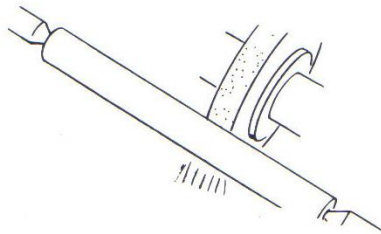
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Ejemplos

Árboles y ejes



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Fig. 24. EL SHOT PEENING AUMENTA EL LIMITE DE RESISTENCIA DE LAS PIEZAS RECTIFICADAS.

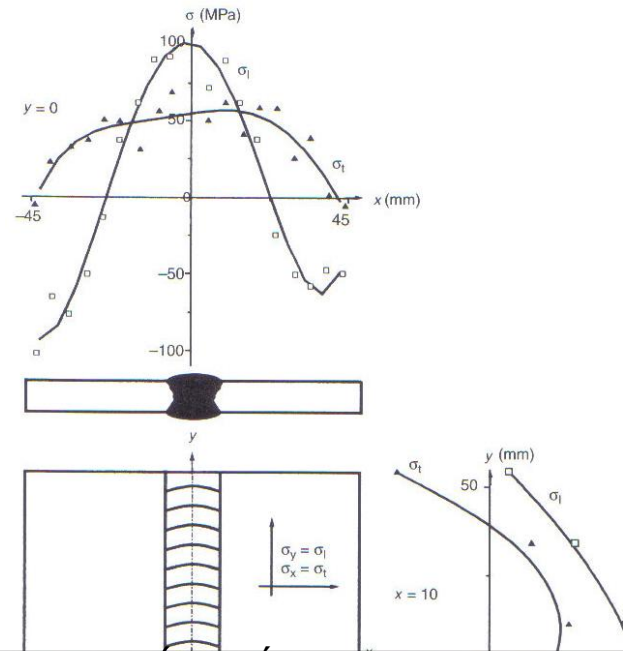
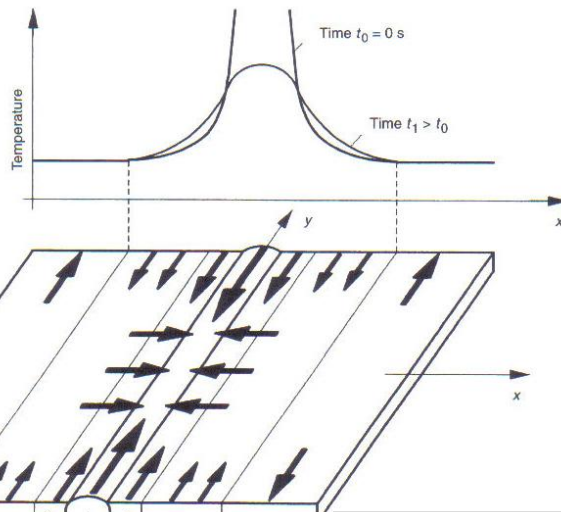
Fig. 12. PRUEBAS DE FATIGA EN EJES TRASEROS.

Ejemplos

Soldadura

Contracción tras soldadura

Tensiones residuales



Cartagena99

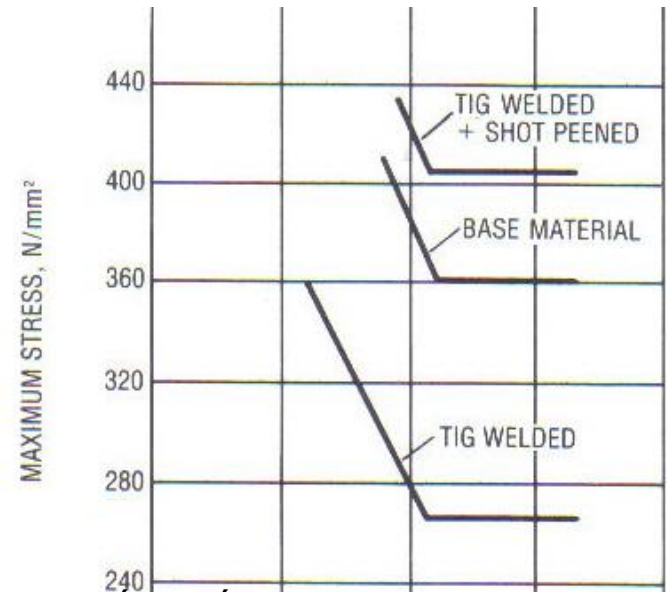
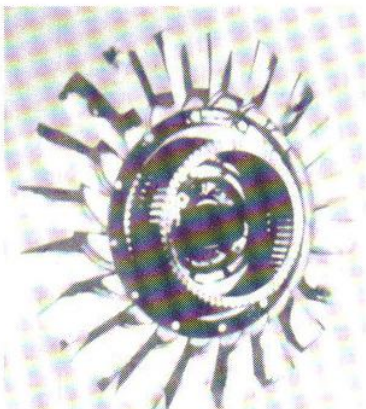
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ejemplos

Soldadura

Efecto del granallado tras la soldadura



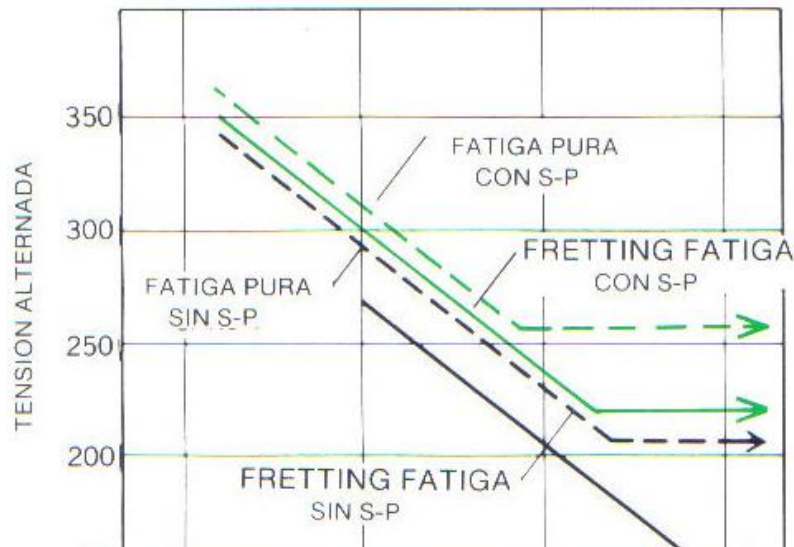
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

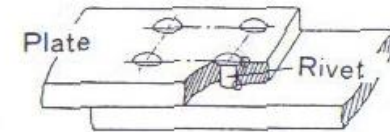
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ejemplos

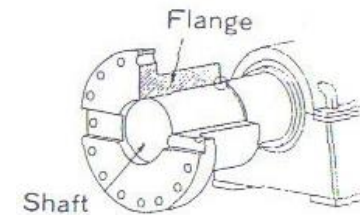
Fretting fatiga



Uniones remachadas



Acoplamiento con ajuste a presión



Cartagena99

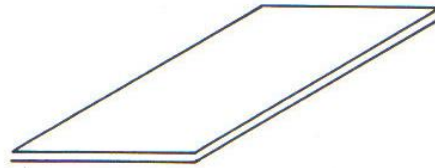
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Compressor Rotor

Ejemplos

Peen forming



ANTES DEL GRANALLADO



SUPERFICIE GRANALLADO

DESPUES DEL GRANALLADO



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

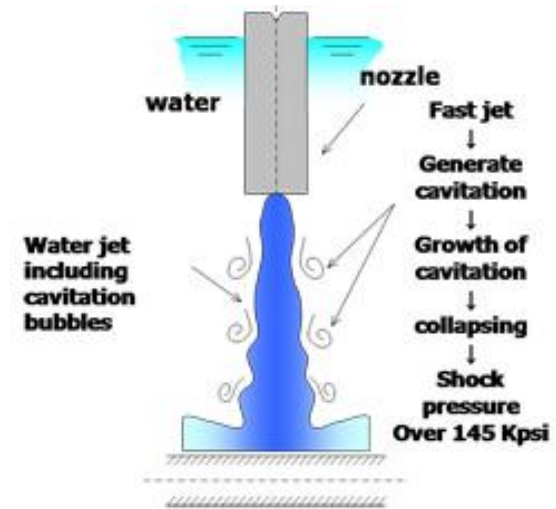
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

IMPACTO CON CHORRO DE AGUA

Tecnología

Variables de control:

- Presión
- Velocidad del chorro
- Diseño de la boquilla
- Distancia a la superficie



On material surface during WJP



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

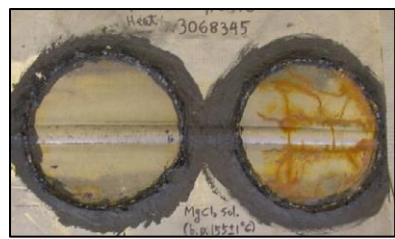


IMPACTO CON LÁSER

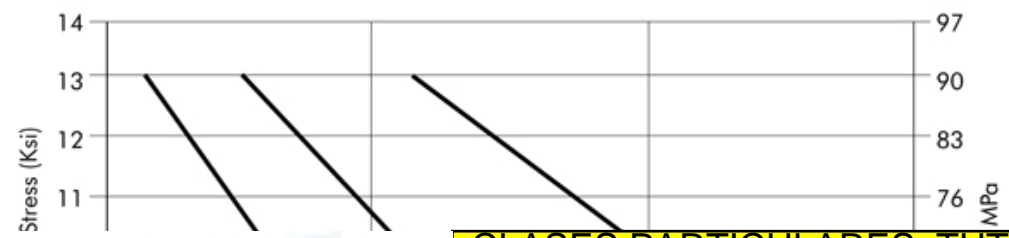
Tecnología

- Intensidad: 100-300 J/cm²
- Pulso: 10-30 ns

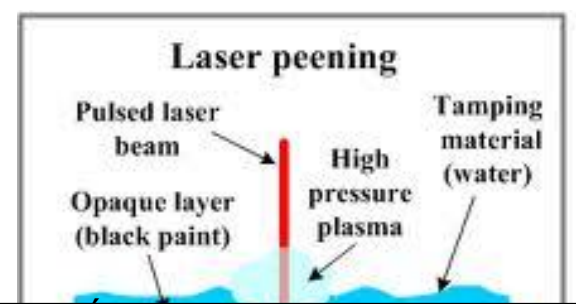
Acero 316: Corrosión bajo tensión



Laser peening de Al 6061-T6



Aerogenerador



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

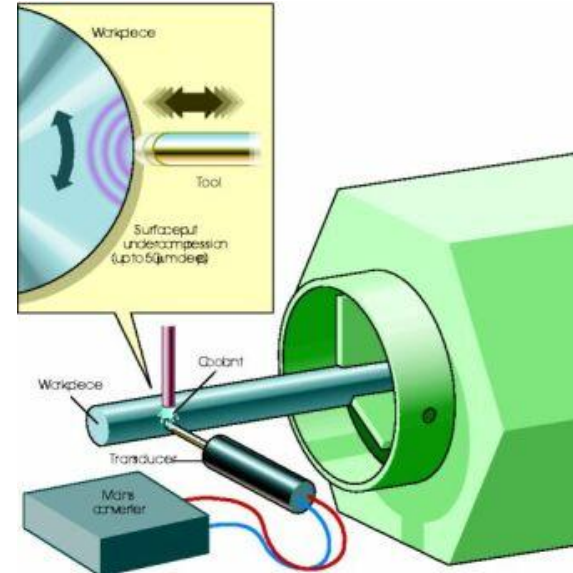
Cartagena99

www.substech.com

IMPACTO CON ULTRASONIDOS

Tecnología

- Transductor piezoeléctrico
- Frecuencia: 22 KHz
- Rugosidad final: 0.2-0.4 μm



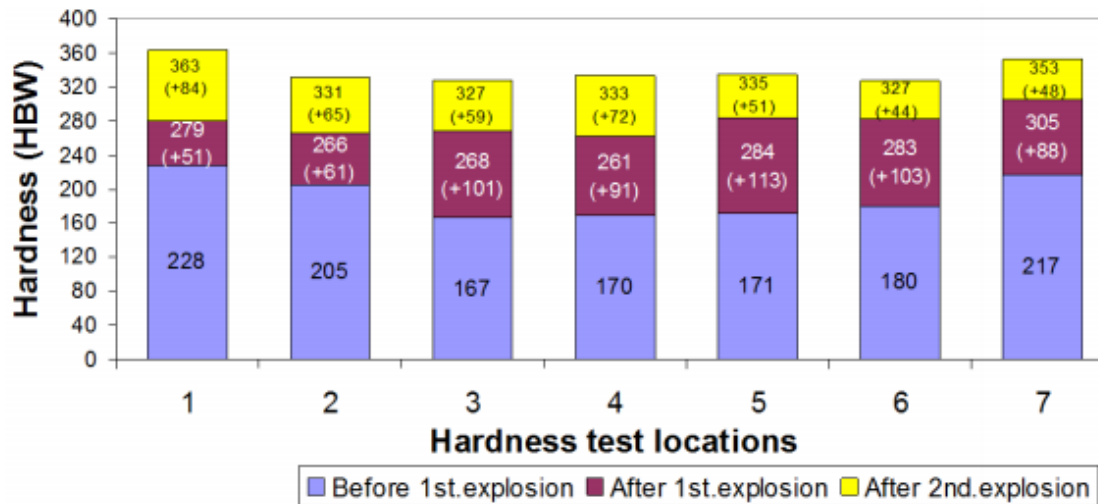
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

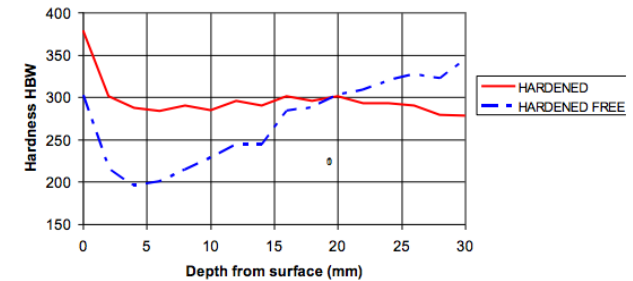
Vibration Amplitude (μm)

ENDURECIMIENTO POR EXPLOSIVOS

Tecnología



- Presión: hasta 35 GPa
- Tiempo: 2-3 μ s



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

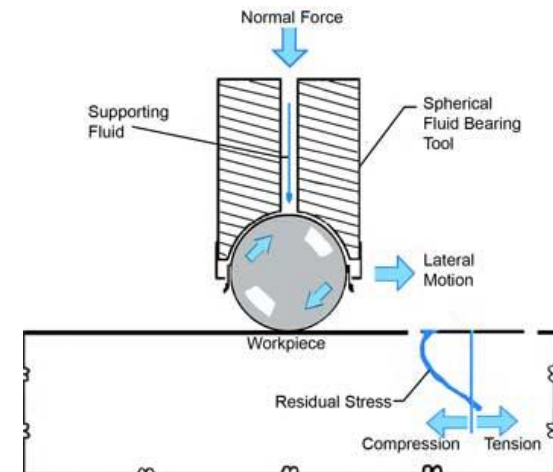
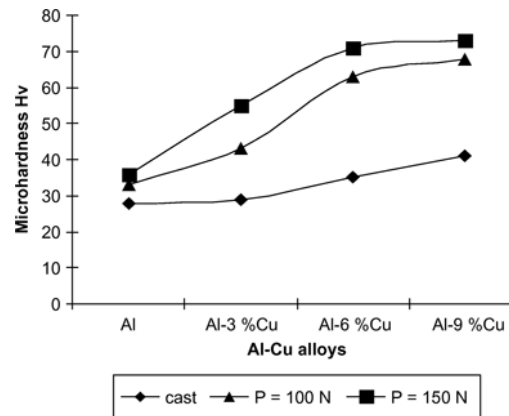
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

BRUÑIDO O LAMINACIÓN CON RODILLOS SOBRE SUPERFICIES

Tecnología

Incrementos de la vida a fatiga:

- Muelles: 350-1000%
- Engranajes: hasta 500%
- Piñones: 35-350%
- Cáster y rótulas de dirección: hasta 120%
- Ejes y cigüeñales: 100-1000%



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ECOROLL

TRATAMIENTOS CON LÁSER

II. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON LÁSER

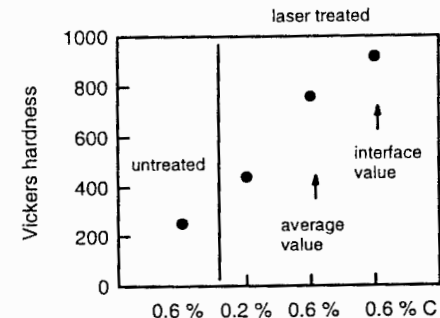
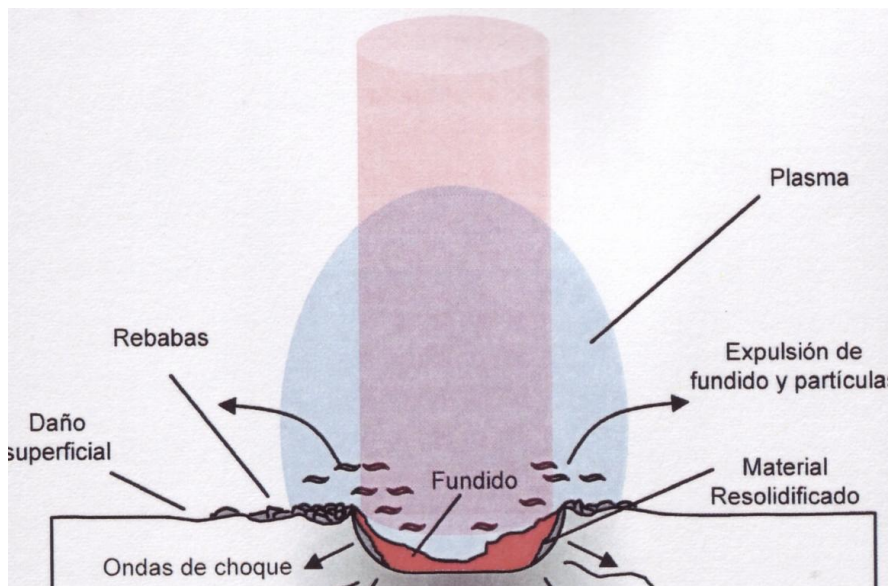


Figure 123 Hardness of untreated (0.6% carbon content) as well as laser-treated steels (values from (Steen, 1991)) for 0.2% carbon content and 0.6% carbon content. In the latter case a typical value ('average') and the maximum value at the interface between laser-treated and untreated material ('interface') are given.

1. Interacción térmica

- Transformación estructural
- Ablación

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TÉCNOLOGÍA LÁSER APLICADA A MATERIALES

Aplicaciones

Transformación estructural	Ablación	Fusión superficial
Endurecimiento por transformación	Limpieza	Texturado
Temple superficial	Marcaje por ablación	Fusión selectiva
Recocido/recristalización	Micromecanizado	Vitrificado
Vitrificado	Nanomecanizado	Soldadura de plásticos
Endurecimiento	Ablación selectiva	Marcaje por fusión
Dopado	Etching fotoquímico	
Plaqueado	PLD/PLA	
Aleado superficial		
Síntesis de capas finas		
Oxidación		

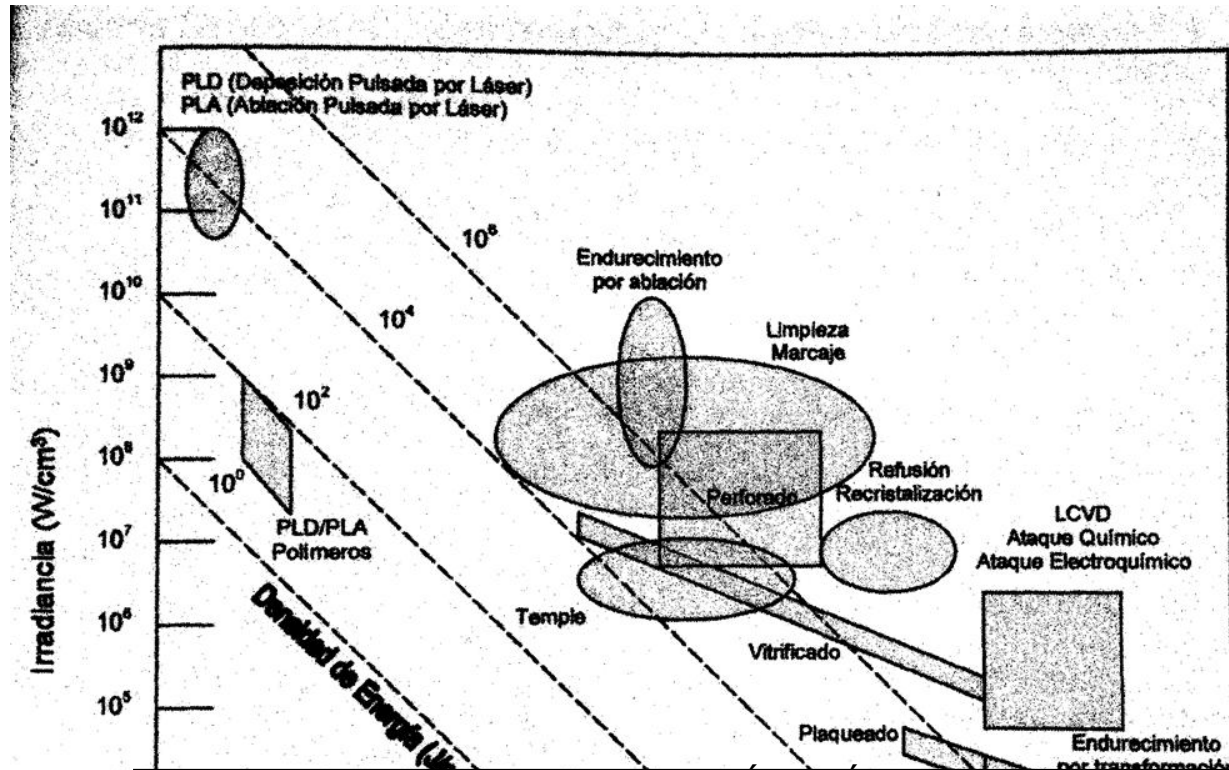
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TÉCNOLOGÍA LÁSER APLICADA A MATERIALES

Aplicaciones



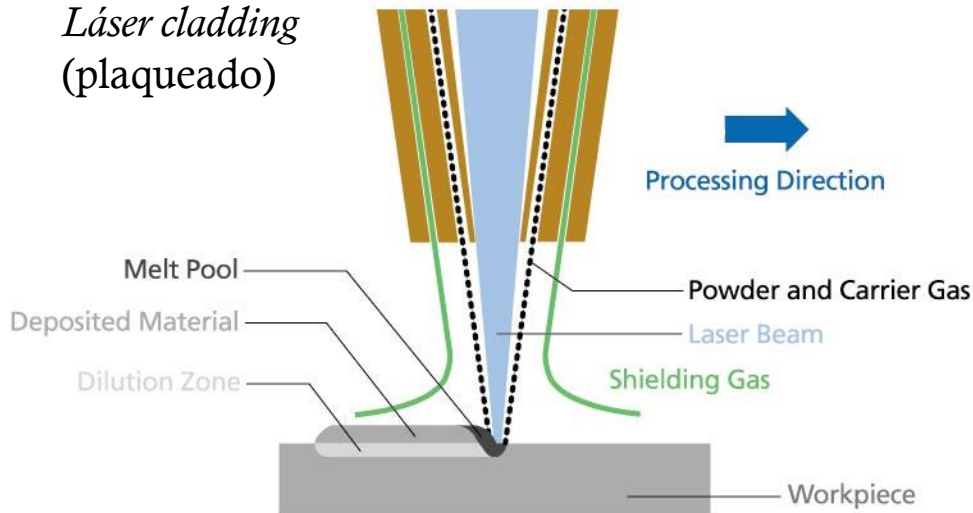
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Transformación estructural

Láser cladding (plaqueado)



Cr₂O₃ coating with a thickness of ca. 200 μm, deposited using a CO₂ laser and treated with a Nd-YAG laser.



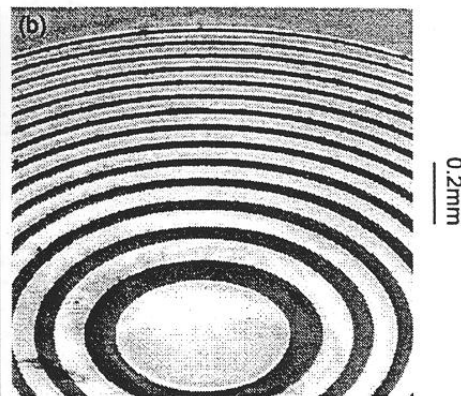
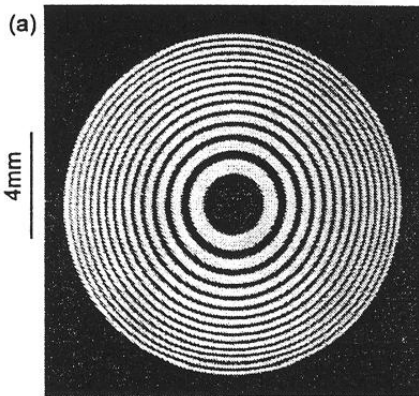
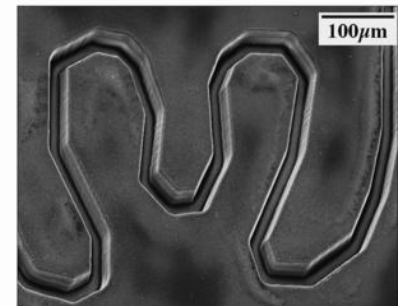
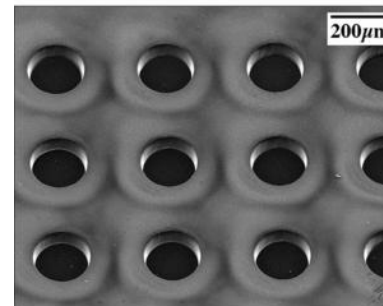
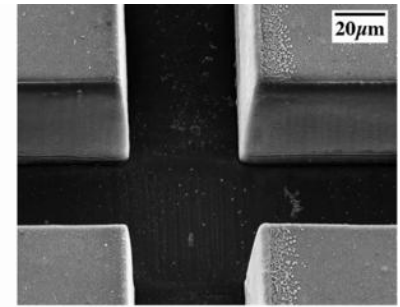
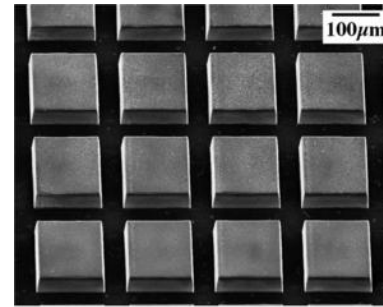
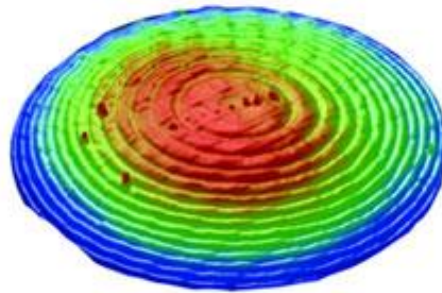
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

APLICACIONES

Ablación Láser



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

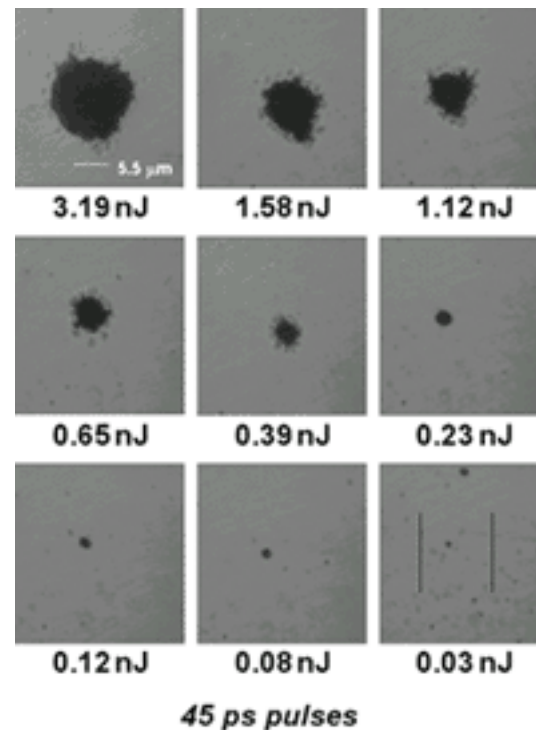
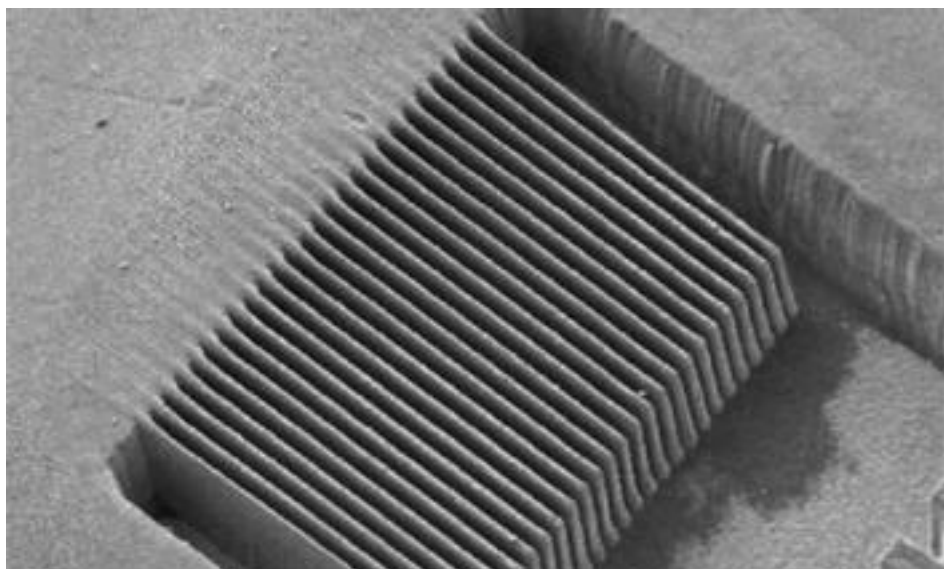
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Cartagena99, private communication, 1998.)

APLICACIONES

Ablación Láser



Cartagena99

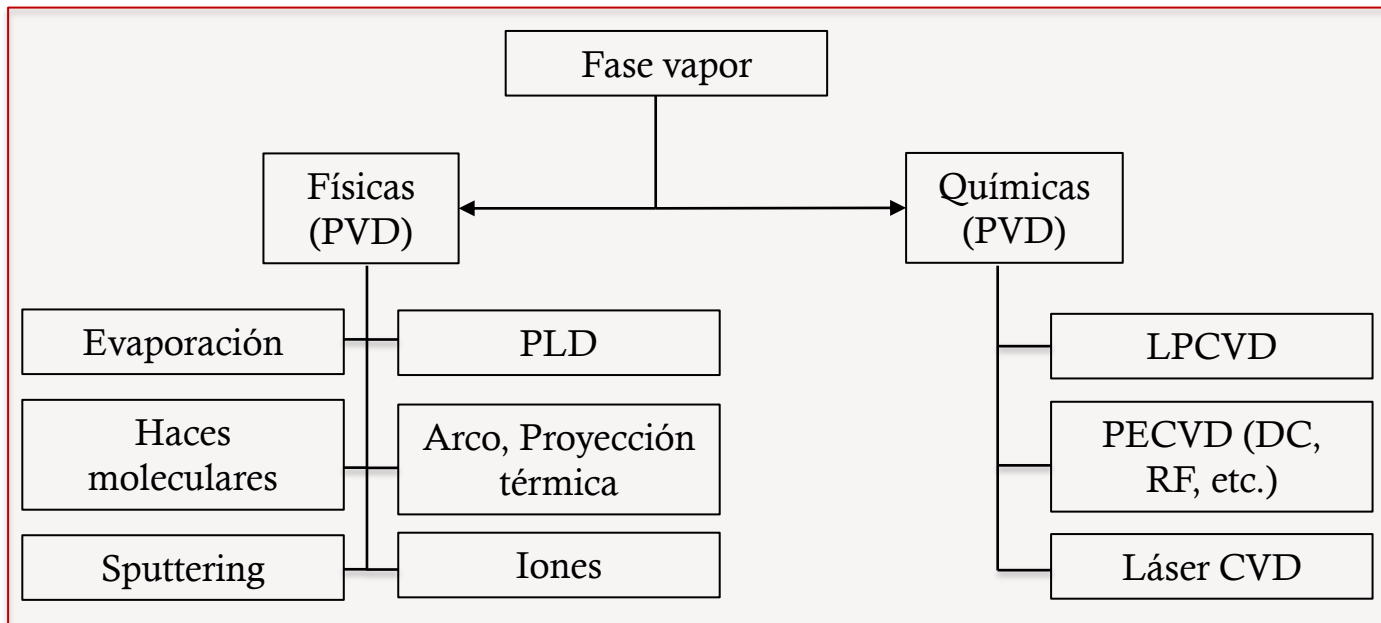
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Procesos empleados para la tecnología superficial

Métodos físicos y químicos



Cartagena99

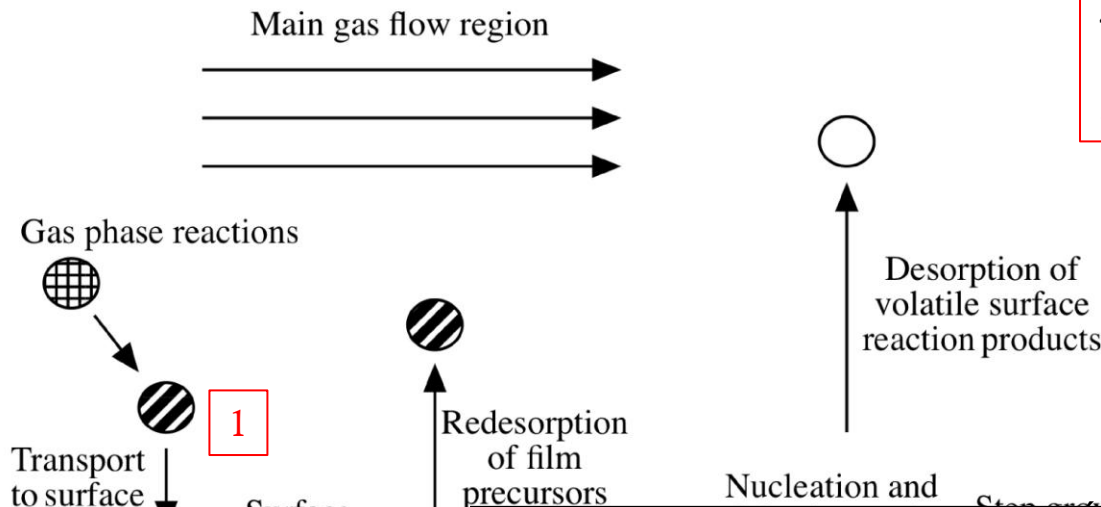
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CRECIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO

Etapas del crecimiento

1. Llegada de átomos
2. Adsorción/desorción
3. Difusión superficial (adátomo)
4. Nucleación
5. Crecimiento de película



Cartagena99

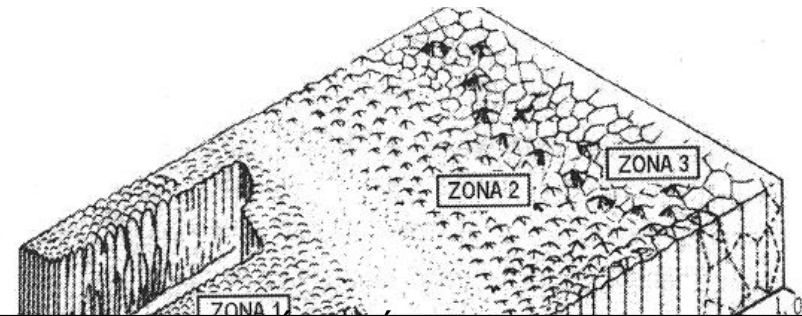
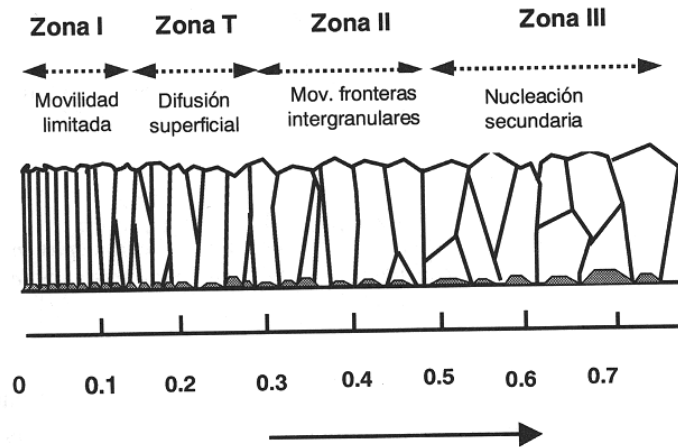
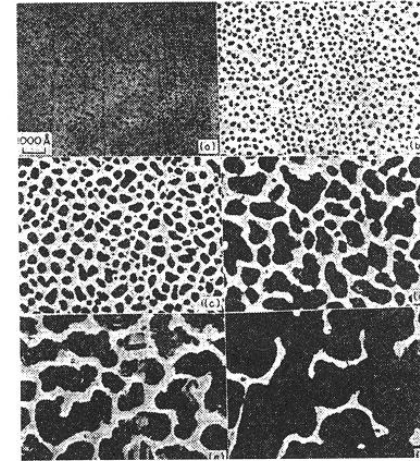
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LÁMINAS DELGADAS

Microestructura de la capa

Modelo de Thornton-Movcham-Demchysim (TMD)



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

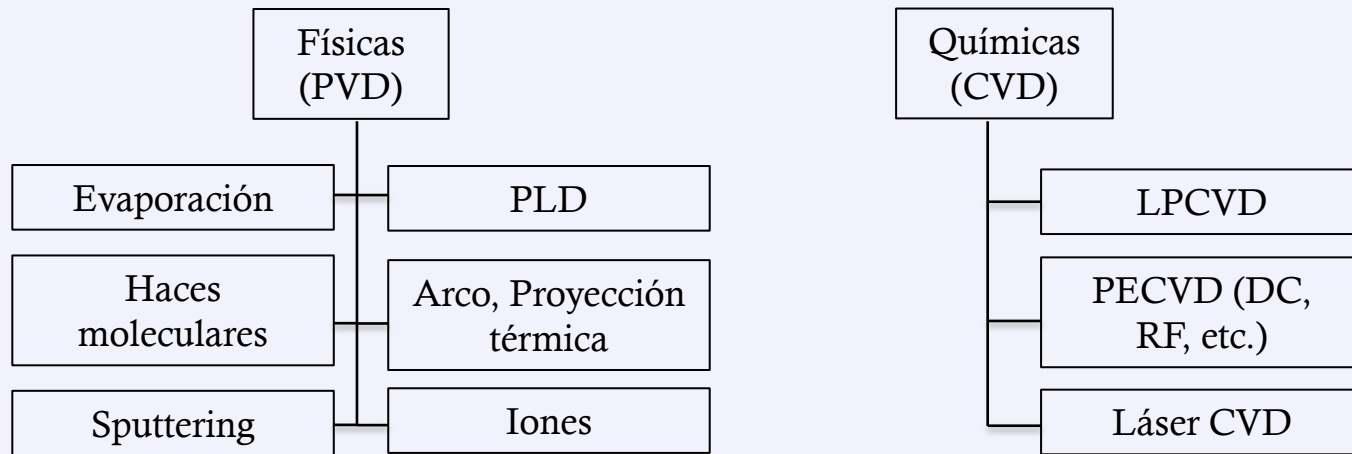
Cartagena99

0.1 NORMALIZADA (1/1 fus)

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE RECUBRIMIENTOS

Métodos físicos y químicos

Fase Vapor



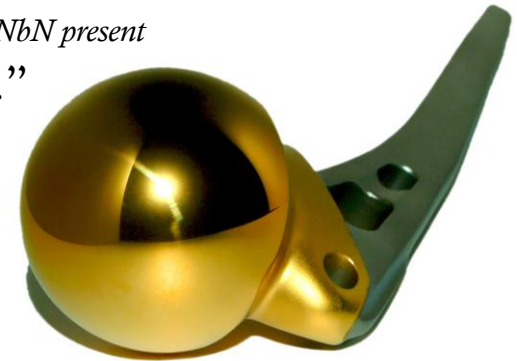
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

“PVD (Physical Vapor Deposition) coatings with TiN and TiNbN present several advantages in surgical instruments and medical devices.”



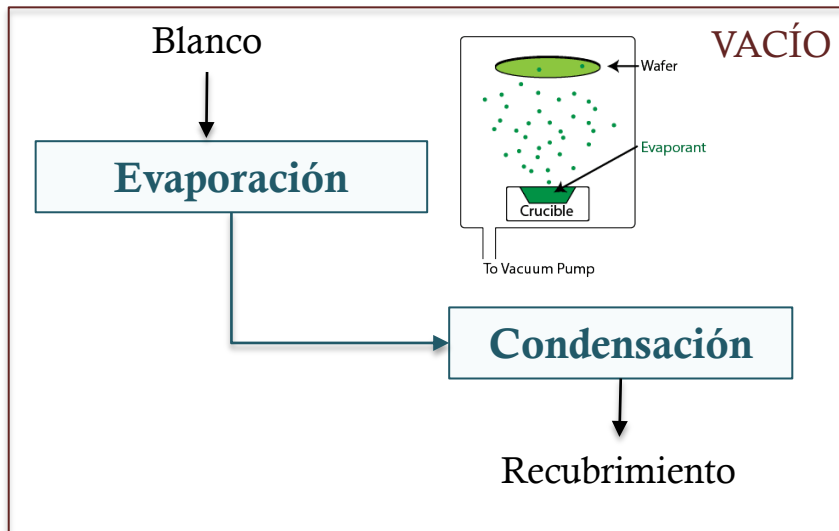
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Tecnología



Principales características:

- Temperatura del substrato < 500°C
- Espesor generalmente < 10 μm
- Gran variedad de materiales y estequiometrías
- Producción de capas de gran pureza y con espesor preciso.

El proceso implica:

Cartagena99

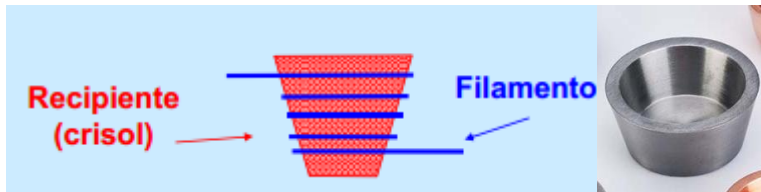
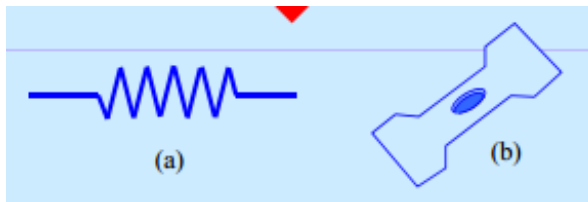
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

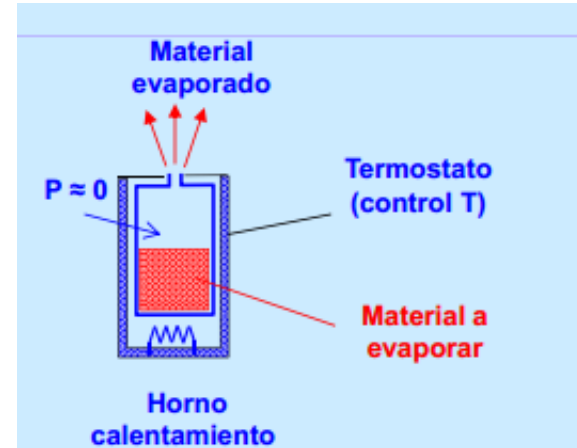
DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Métodos de evaporación térmica

1. Calentamiento resistivo



Celdas de efusión tipo Knudsen



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

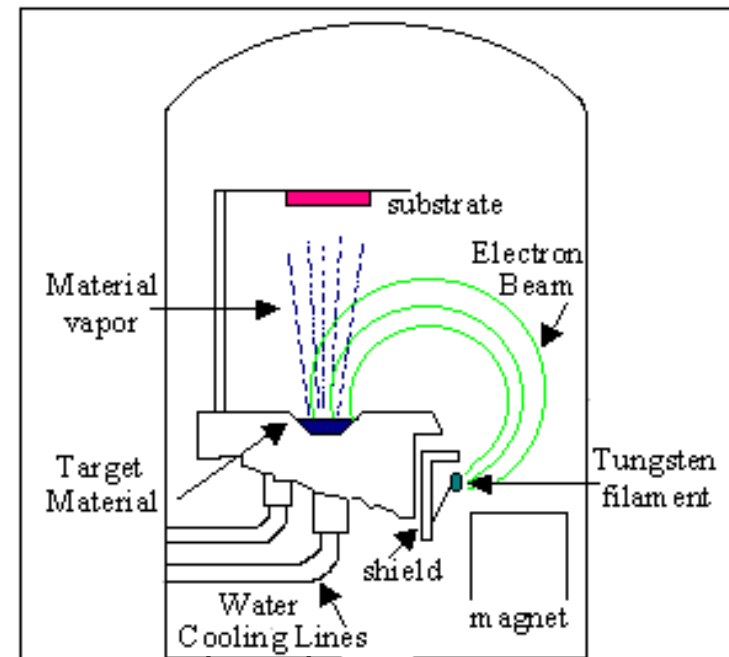
DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Métodos de evaporación térmica

2. Bombardeo de electrones

Características:

- Fuente de electrones: filamento incandescente (W)
- Haz de electrones: 5-10 KeV
- $T > 3000^{\circ}\text{C}$
- $P_{\text{residual}}: 10^{-4} \text{ mbar}$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Métodos de evaporación térmica

2. Bombardeo de electrones

Aplicaciones:

- Metales no sublimantes
- Compuestos binarios refractarios
- No para recubrimientos de composición compleja



Aluminum Target



Silicon Sputtering Target



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Métodos de evaporación térmica

*Evaporación reactiva

Compuesto	Especies predominantes en el vapor (*)	Temperatura fusión (°C)	Temperatura evaporación (°C)	Materiales de soporte
Al ₂ O ₃	Al, O, AlO, Al ₂ O, O ₂ (AlO) ₂	2030	~1800	Mo, W
SiO	SiO	-	1025	Mo, Ta
SiO ₂	SiO, SiO ₂	1730	~ 1250	Mo, Ta, W
TiO ₂	TiO, Ti, TiO ₂	1840	-	-
ZrO ₂	ZrO, O ₂	2700	-	-
ZnS	-	1830 (150 atm)	1000	Mo
CdS	S ₂ , Cd, S,	1750 (150 atm)	670	C, Mo, Ta, W, Al ₂ O ₃

La evaporación reactiva se emplea cuando las especies predominantes en estado vapor presentan diferente **estequiometría** a la del blanco y el recubrimiento que se desea fabricar.

Se introduce en el proceso una **atmósfera reactiva**.

Metal evaporado	Oxido depositado	Presión O ₂ Torr	Vel. Depos. Å/s	Temp. Substr. °C
Al	Al ₂ O ₃	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	~ 1	400-500
Cr	Cr ₂ O ₃	2x 10 ⁻⁵	~ 2	300-400

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Otros métodos

Proceso	Tecnología	Aplicación
Plateado iónico (<i>Ion plating</i>)	Evaporación asistida por la formación de una descarga eléctrica en forma de plasma entre el blanco (ánodo) y el soporte de los substratos (cátodo).	Capas densas y adherentes.
Arco catódico	Descarga en arco entre un electrodo inerte (ánodo) y el blanco (cátodo).	Capas con propiedades de densidad, dureza y adherencia mejoradas.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Otros métodos

Proceso	Tecnología	Aplicación
Pulverización catódica <i>(Sputtering)</i>	Bombardeo intenso del blanco (cátodo) con iones producidos en una descarga eléctrica en forma de plasma.	Deposición de mezclas y aleaciones manteniendo la composición del blanco. Materiales compuestos y aleaciones de de dos o más componentes.
Ablación láser	El haz láser se enfoca en el blanco produciendo la ablación,	Producción de capas de gran variedad de óxidos complejos como superconductores.

Cartagena99

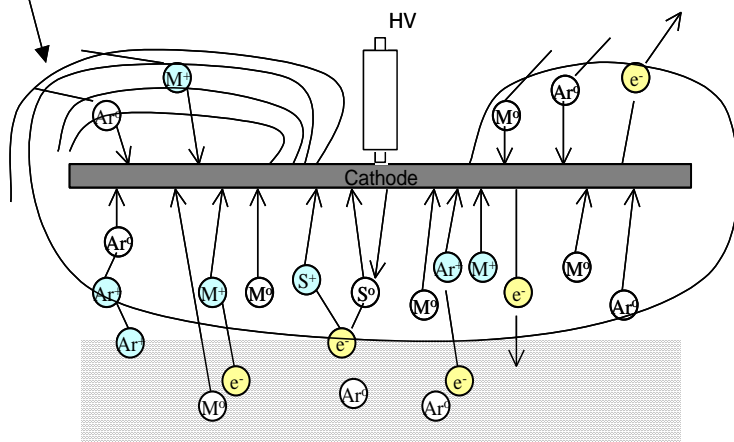
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

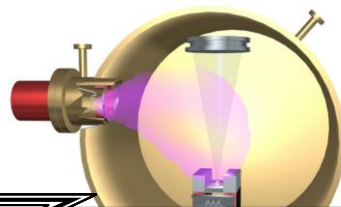
DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Plateado iónico (*Ion plating*)

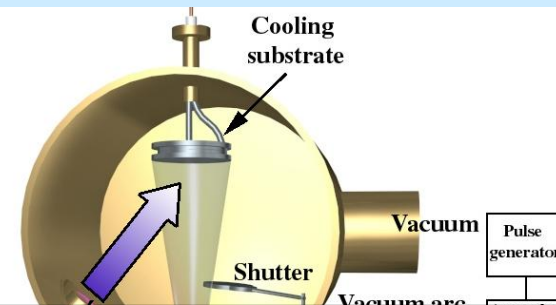
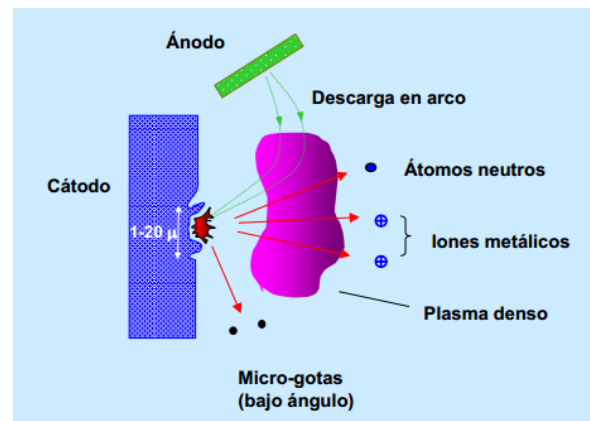
Equipotential lines



Negative glow discharge region



Arco catódico



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

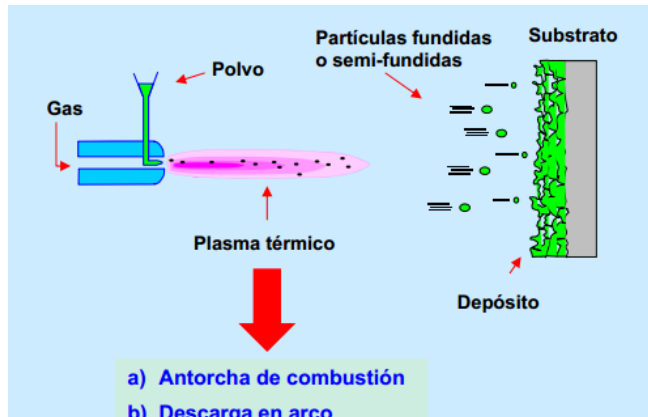
Cartagena99

Macroparticle

Cathode

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

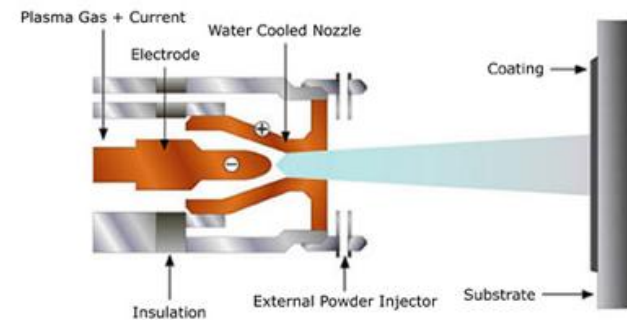
Proyección térmica



Combustión



Plasma



HVOF



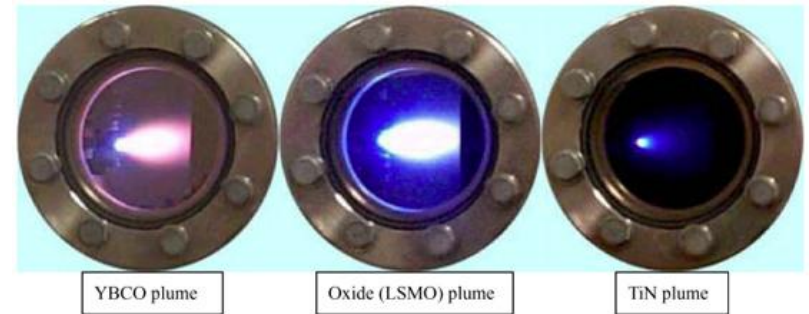
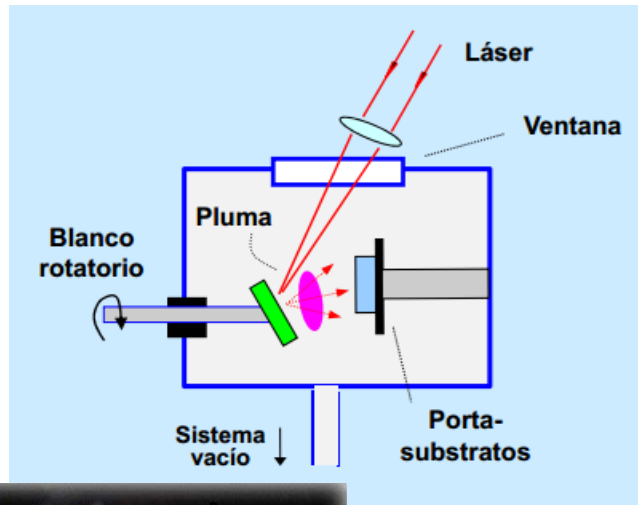
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Ablación láser



- Pulso del láser: 10-20 ns.
- Energía cinética: 10-100 eV.
- Velocidad de deposición: 0.1 mm s^{-1} (10^4 - 10^5 instantánea).



Cartagena99

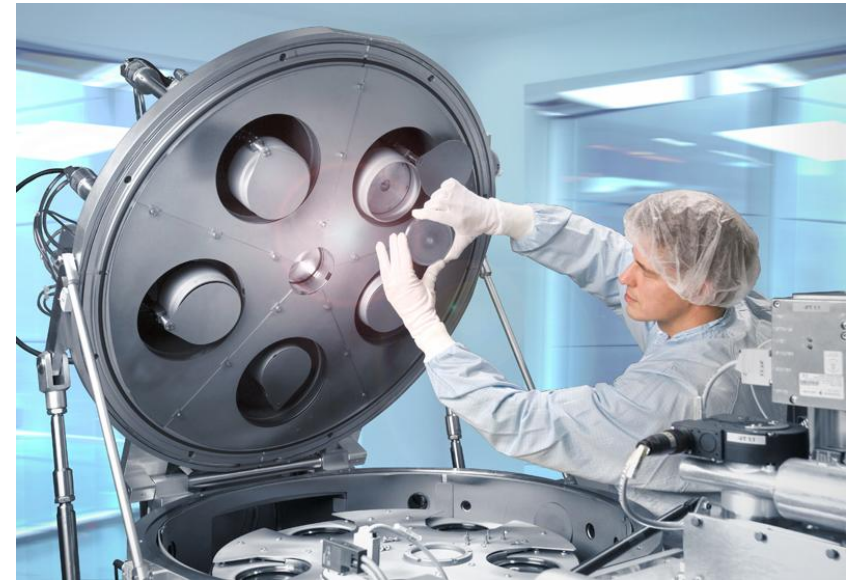
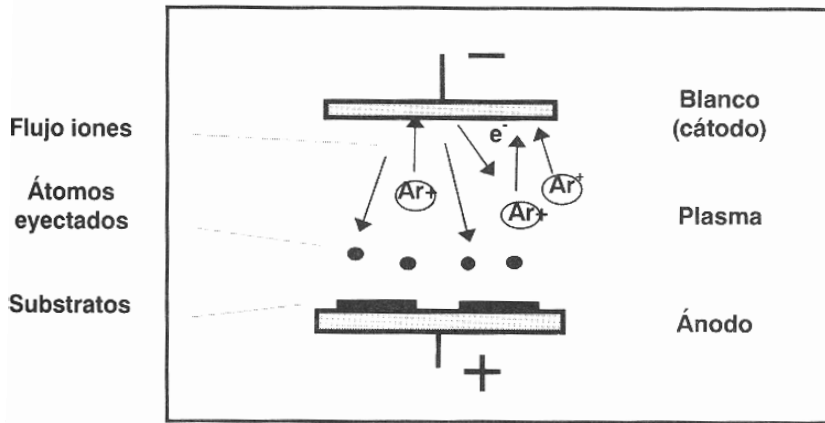
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4225 Å 6135 Å

DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

Pulverización catódica (*Sputtering*)



<http://www.plansee.com/>

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Calor de la red

Fundamentos

El material del que se pretende formar la capa se obtiene por **reacción química** de reactivos en la superficie del sustrato. Son procedimientos poco o nada direccionales. Los distintos métodos se diferencian en el modo en que se lleva a cabo la reacción y en las condiciones ambientales en que se produce.

Métodos mas importantes:

- Deposición química en fase vapor (CVD, “Chemical Vapor Deposition”)
- Derivados de Sol-Gel

Cartagena99

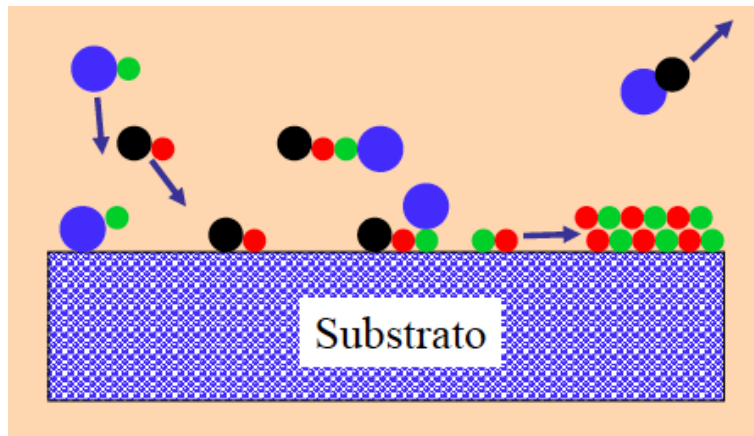
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Fundamentos

Los reactivos gaseosos volátiles reaccionan en la superficie o las proximidades del sustrato, dando lugar a un depósito sólido y a subproductos gaseosos



1. Mezcla de reactivos en fase gas
2. Difusión hasta el sustrato
3. Adsorción sobre la superficie

4. Reacción sobre la superficie
5. Difusión superficial de productos
6. Incorporación al retículo

7. Difusión de subproductos

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

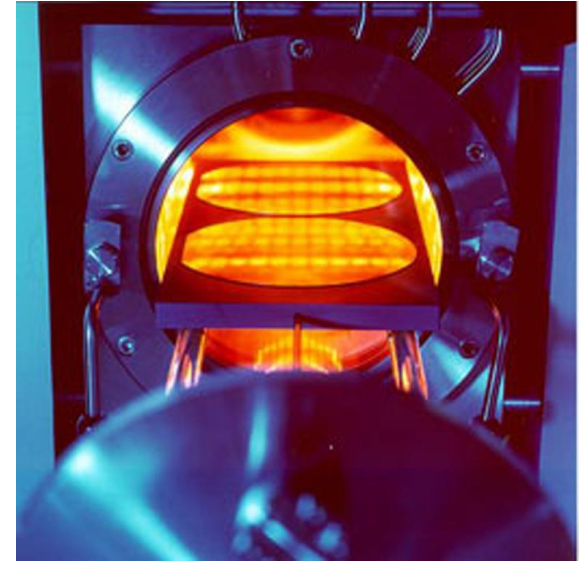
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Ventajas e inconvenientes

Ventajas principales de la CVD:

- Sencillez instrumental
- Elevada velocidad de crecimiento
- Substratos de diversa geometría y tamaño
- Versatilidad, adaptabilidad, reproducibilidad, calidad de los depósitos, productividad. bajo precio



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Ventajas e inconvenientes

Problemas que presenta la activación térmica:

- Inestabilidad térmica del substrato.
- Contaminación con impurezas del reactor, portamuestras o el substrato.

Otros **medios de activación** (que permiten rebajar la temperatura de deposición):

- Irradiación por medio de fotones UV (lámparas Hg y láseres).

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Deposición química en fase vapor (CVD)

CVD: Convencional o de alta temperatura (HTCVD), $T > 800^{\circ}\text{C}$

LTCVD: CVD a P normal y $T < 500^{\circ}\text{C}$ (SiO_2 , 1967)

Spray Pyrolysis: CVD convencional al aire (1975)

OMCVD: CVD con precursores organometálicos, a P atmosférica para compuestos III-V (1968-1977)

LPCVD: CVD a baja presión, para SiO_2 y poli-Si (1962-1973)

PECVD: CVD estimulada por plasma, baja P y T para α -Si, SiO_2 , Si_3N_4 (1965-1975)

UVCVD: CVD estimulada por luz UV, para Si y Si_3N_4 , (1961-1972)

LCVD: CVD estimulada por Láser (1973)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Parámetros del proceso

Variables de diseño del reactor:

- Ángulo de incidencia del gas
- Geometría del flujo de entrada
- Configuración sustrato / portasustrato
- Configuración sustrato / paredes del reactor
- Geometría del flujo de salida



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

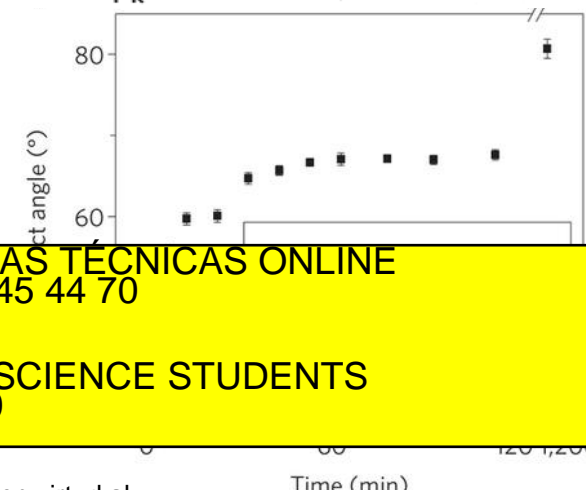
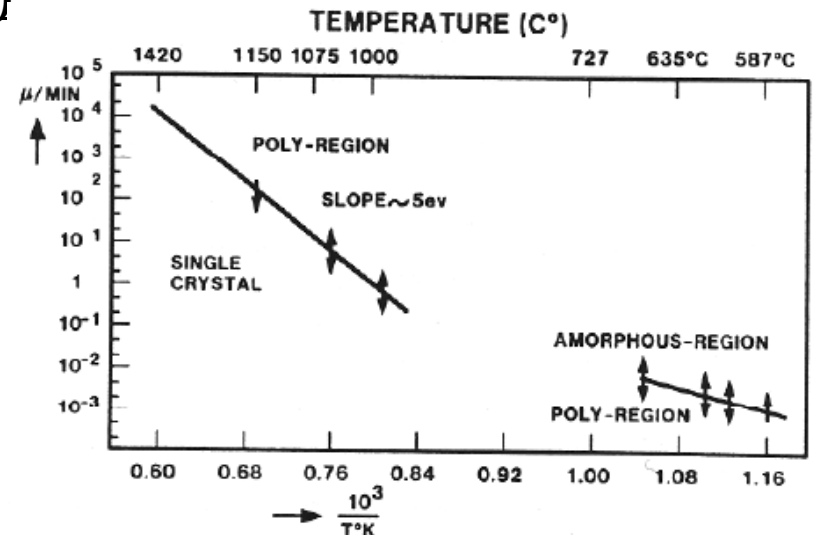
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Deposición química en fase vapor (CVD)

Variables operacionales:

- Química de la reacción
- Velocidad de flujo de gas
- Composición del gas (cuali y cuantitativa)
- Temperatura del sustrato
- Gradientes de temperatura
- Tiempo de residencia de los reactivos, etc.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Reactores

- Homogeneidad térmica
- Homogeneidad composición gas
- Homogeneidad de espesores
- Disminución de impurezas: de las paredes del reactor o del portasubstratos
- Depósitos en las paredes: polvos
- Facilidad y capacidad de carga



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

DEPOSICIÓN QUÍMICA EN FASE VAPOR (CVD)

Deposición química en fase vapor mejorada por plasma (PECVD)

Thin film deposition of silicon based materials

- Low temperature deposition
- Good step coverage
- Good adhesion
- Fast deposition rate

Deposition

- SiO₂
- SiN_x
- SiO_xN_y
- a-Si

Process gases

- Silane
- NO₂



Operation

- Pressure: 600 mT to 1 Torr
- Temp: 300 – 400 °C
- 600W 100 kHz
- Handles 8" wafers to small pieces
- Load-locked
- Touch screen automation

Deposition Rates

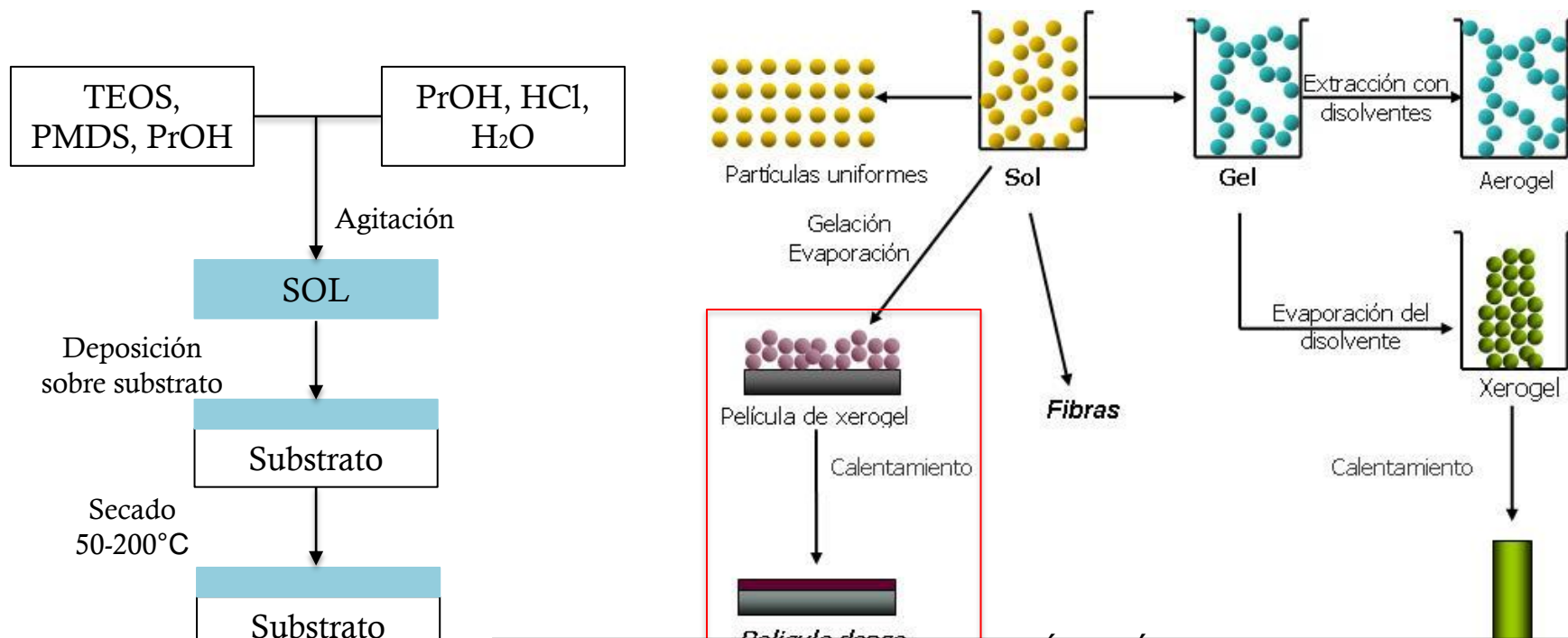
SiO₂: 100 nm/min

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Fundamentos



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

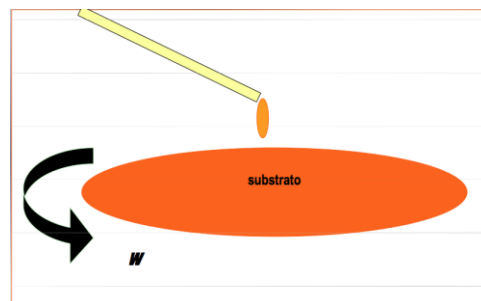
Polimerización y policondensación

Métodos de impregnación del sustrato

Inmersión y extracción lenta de la disolución
("Dip coating")

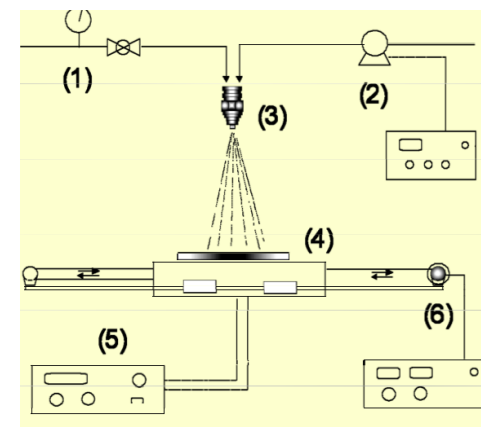


Dispersión por giro del sustrato
("Spin coating")



$$d = Cte \frac{1}{\sqrt{\omega}}$$

Nebulización sobre sustrato caliente
("Spray")



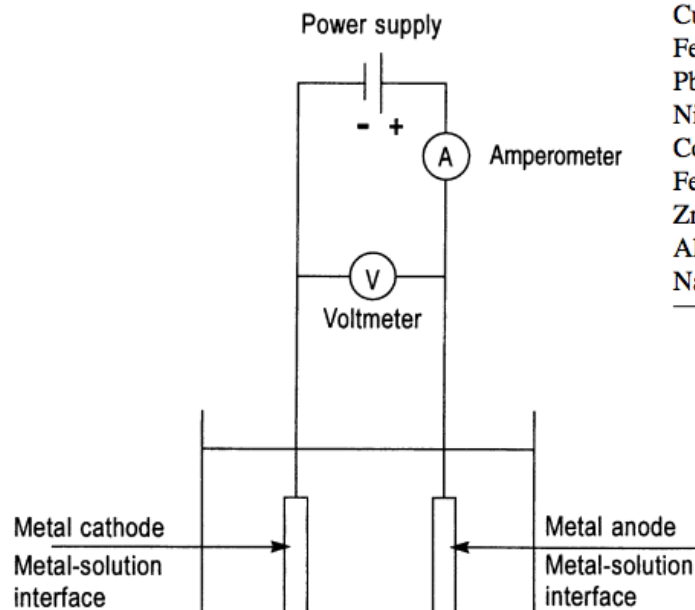
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Deposición electroquímica

Tecnología



Metal/Metal-Ion Couple	Electrode Reaction	Standard Value (V)
Au/Au ⁺	Au ⁺ + e ⇌ Au	1.692
Au/Au ³⁺	Au ³⁺ + 3e ⇌ Au	1.498
Pd/Pd ²⁺	Pd ²⁺ + 2e ⇌ Pd	0.951
Cu/Cu ⁺	Cu ⁺ + e ⇌ Cu	0.521
Cu/Cu ²⁺	Cu ²⁺ + 2e ⇌ Cu	0.3419
Fe/Fe ³⁺	Fe ³⁺ + 3e ⇌ Fe	-0.037
Pb/Pb ²⁺	Pb ²⁺ + 2e ⇌ Pb	-0.1262
Ni/Ni ²⁺	Ni ²⁺ + 2e ⇌ Ni	-0.257
Co/Co ²⁺	Co ²⁺ + 2e ⇌ Co	-0.28
Fe/Fe ²⁺	Fe ²⁺ + 2e ⇌ Fe	-0.447
Zn/Zn ²⁺	Zn ²⁺ + 2e ⇌ Zn	-0.7618
Al/Al ³⁺	Al ³⁺ + 3e ⇌ Al	-1.662
Na/Na ⁺	Na ⁺ + e ⇌ Na	-2.71

Deposición de Cu sobre una pieza de Zn

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

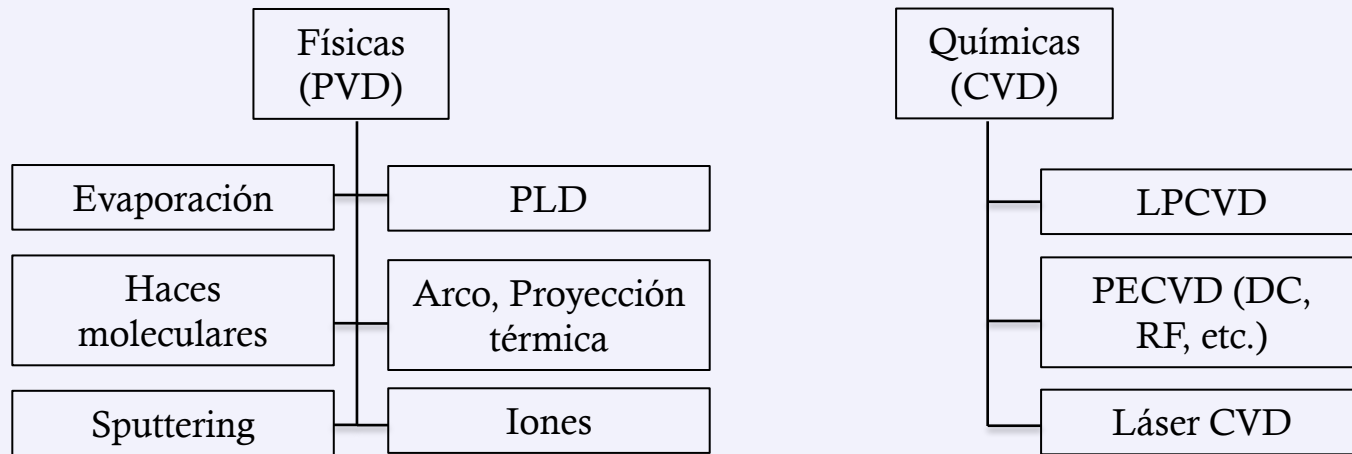
e.g., a(Cu²⁺) = 1

Cartagena99

PROCESOS DE OBTENCIÓN DE RECUBRIMIENTOS

Métodos físicos y químicos

Fase Vapor



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70