



## BLOQUE II. OPERACIONES SECUNDARIAS

### Tema 6. Ingeniería de Superficies



**Cartagena99**

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

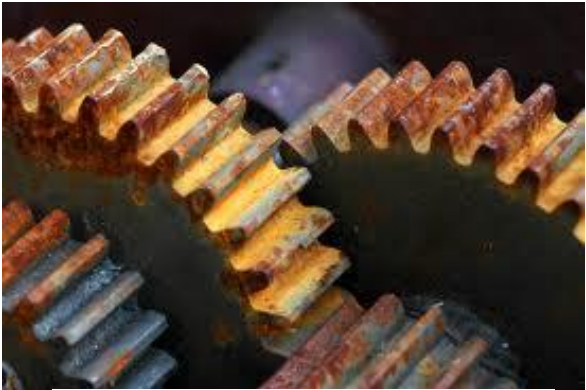
---

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

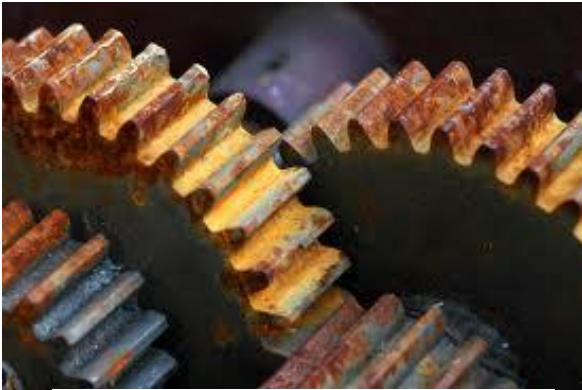
<http://www.lakesprecision.com/physical-vapor-deposition-pvd-coating.html>

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

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

**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"> <li>• Resistencia al desgaste</li> <li>• Reducción de la fricción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C(diamante), BN, SiC, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub></li> <li>• C(grafito), MoS<sub>2</sub>, Ag, Pt</li> </ul>
QUÍMICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección a la corrosión</li> <li>• Pasivación, membranas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>• SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub></li> </ul>
ELÉCTRICAS Y MAGNÉTICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capas conductoras y superconductoras</li> <li>• Capas semiconductoras</li> <li>• Capas aislantes</li> <li>• Capas ferroeléctricas</li> <li>• Capas magnéticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si(poli), Al, Cu, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiSi<sub>2</sub>, YBaCuO</li> <li>• Si, GaAs</li> <li>• SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub></li> <li>• Titanatos, Niobatos</li> <li>• Fe, Fe/Co, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> </ul>
ÓPTICAS Y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capas selectivas</li> <li>• Guías de onda de luz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CdS, BaF<sub>2</sub>/ZnS</li> <li>• SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub></li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección térmica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZrO<sub>2</sub>, MgO, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Ca<sub>2</sub>Si<sub>4</sub></li> </ul>

**Cartagena99**

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

---

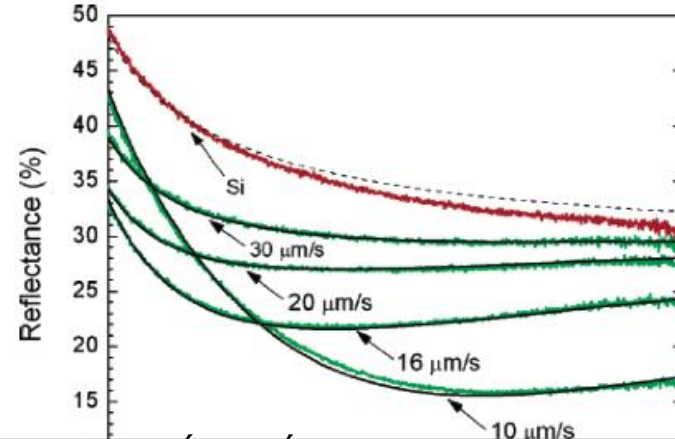
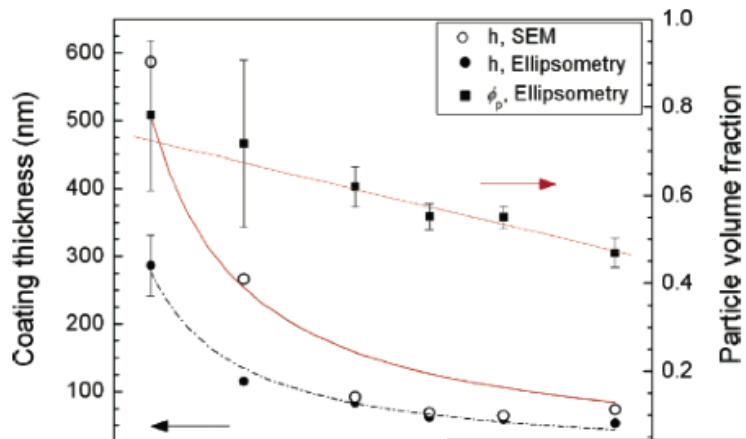
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# TECNOLOGÍA 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

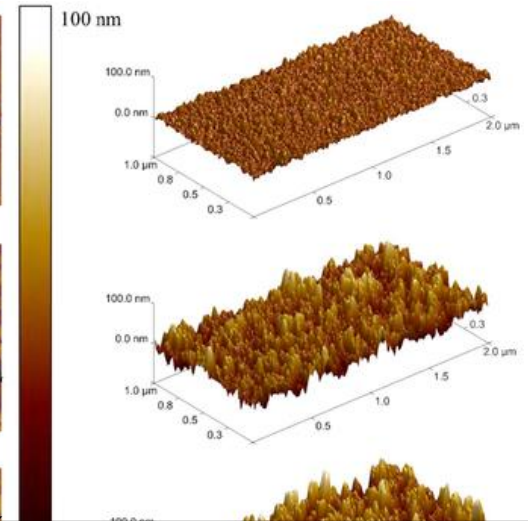
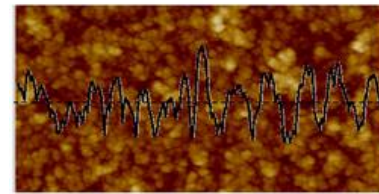
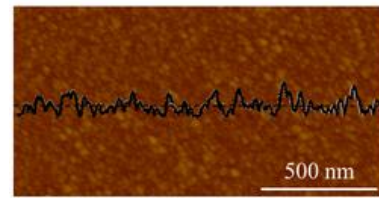
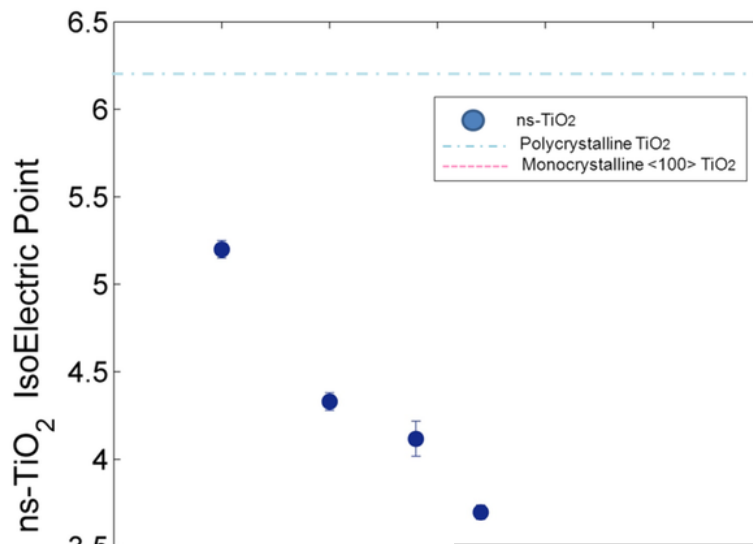
Prevo BG et al. 2005]



# 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

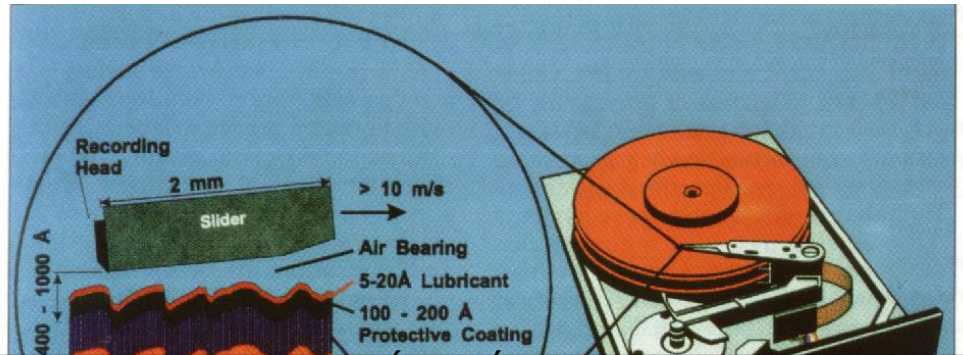




# APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

## Modificación de propiedades superficiales

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



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



Estructura de la hoja de loto:  
Pequeños gránulos de 5-10  $\mu\text{m}$  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

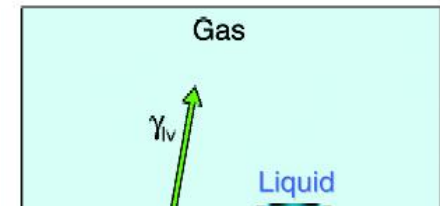


# APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

## 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  $\gamma$  = 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

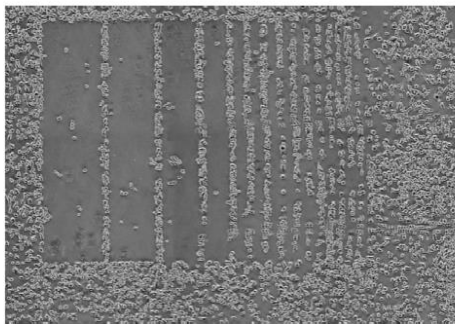
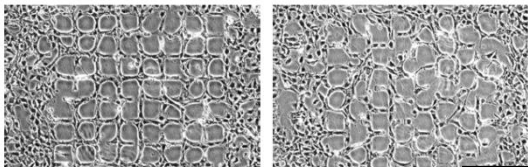


Fig. 2. Micropatterned growth of epithelial cells (KB nasopharyngeal carcinoma cell line) on a logarithmic stripes pattern. The width of the bars is 50  $\mu\text{m}$ . Their distance varies between 30  $\mu\text{m}$  and 500  $\mu\text{m}$ .



#### Deformación celular

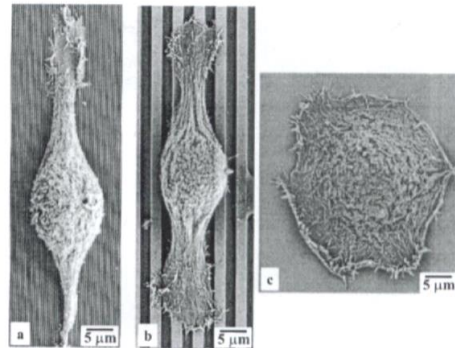
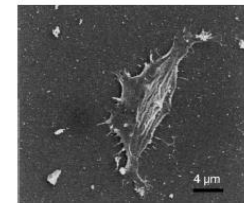
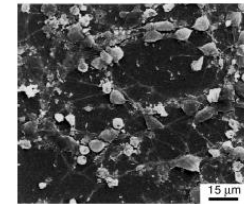


FIG. 3. HCEC align and elongate along grooves and ridges. (a) SEM of a cell aligned along grooves and ridges on a 400 nm pitch. (b) Cell aligned along grooves and ridges on a 4000 nm pitch. (c) On the smooth substrates, cells are mostly round.

#### 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

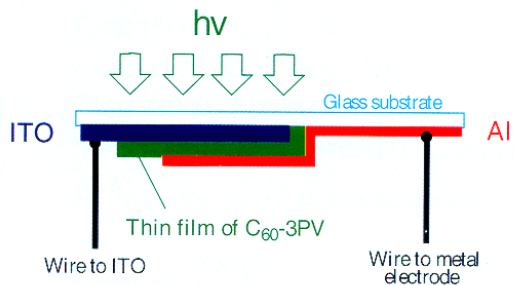
2h: (a) on the surface of untreated silicon with  $R_q = 2 \text{ nm}$ ; (b) on an etched surface with  $R_q = 2.5 \text{ nm}$ ; (c) on the etched surface as shown in (b). A magnified image of growth cone protruded from the axon of a cell.



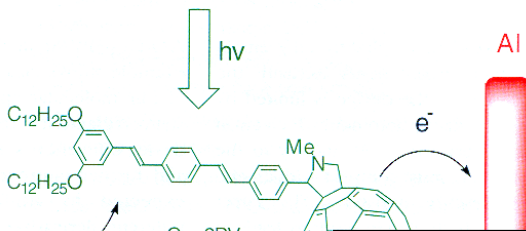
# APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DE SUPERFICIES

## Modificación de propiedades superficiales

### 8. Celdas fotovoltaicas



ITO



**Cartagena99**

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

---

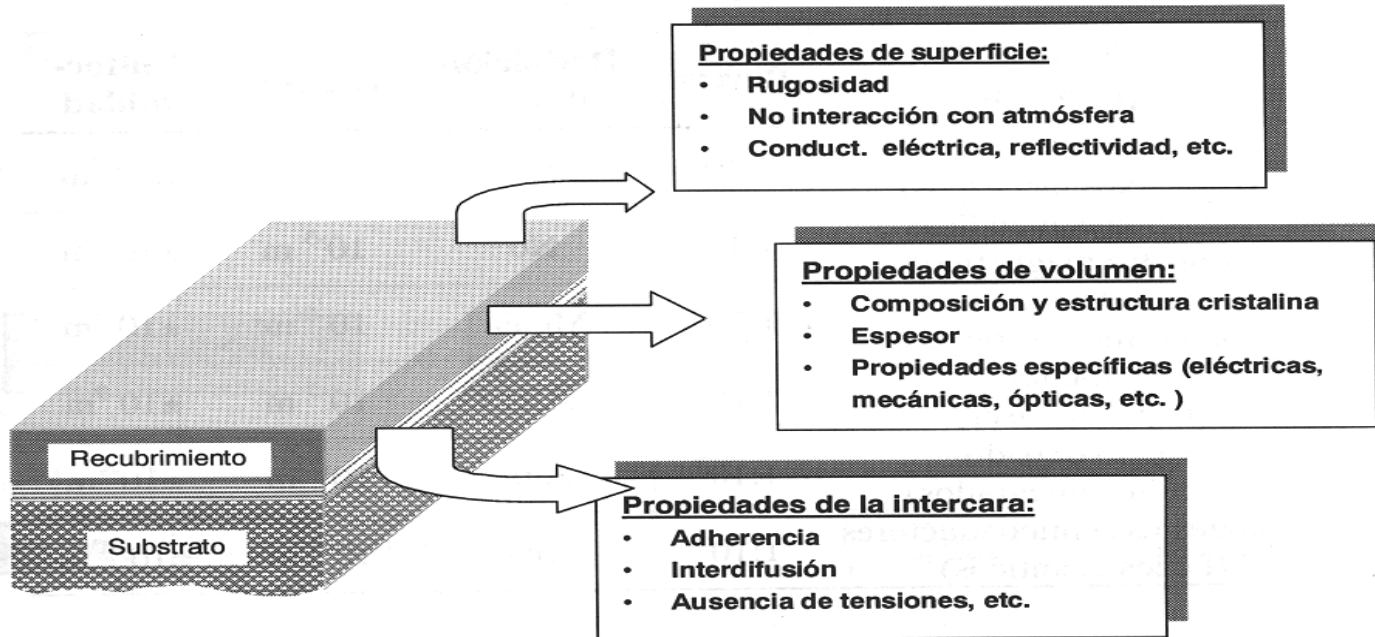
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

*Esquema de celda fotovoltaica basada en C<sub>60</sub> 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

# 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**

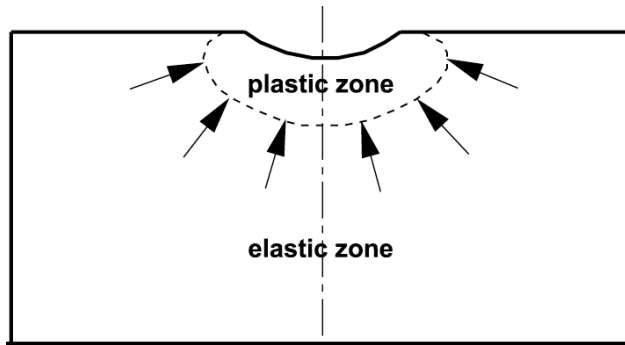
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

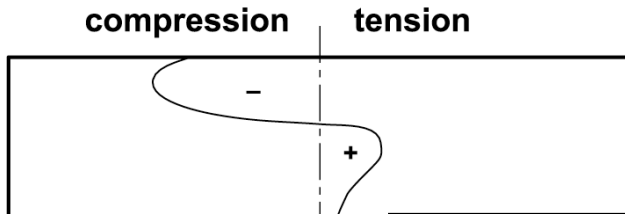
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Tecnología

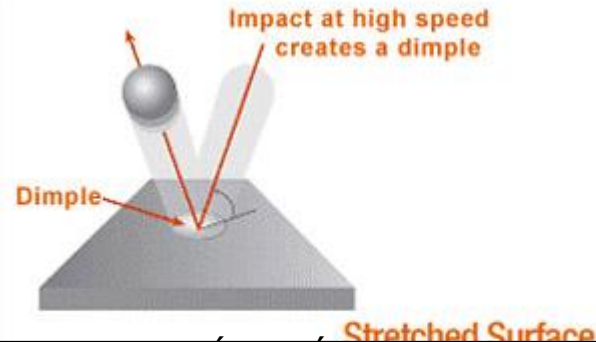


(a)



(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.

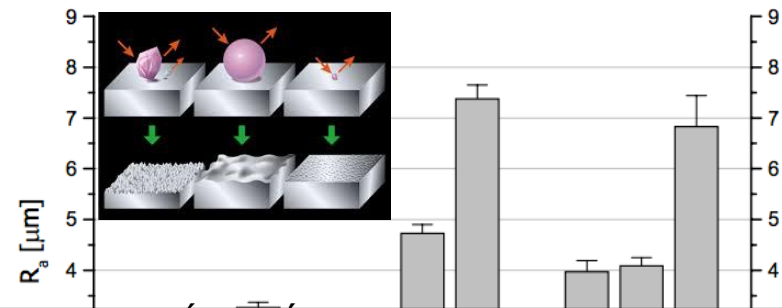
## Parámetros

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

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



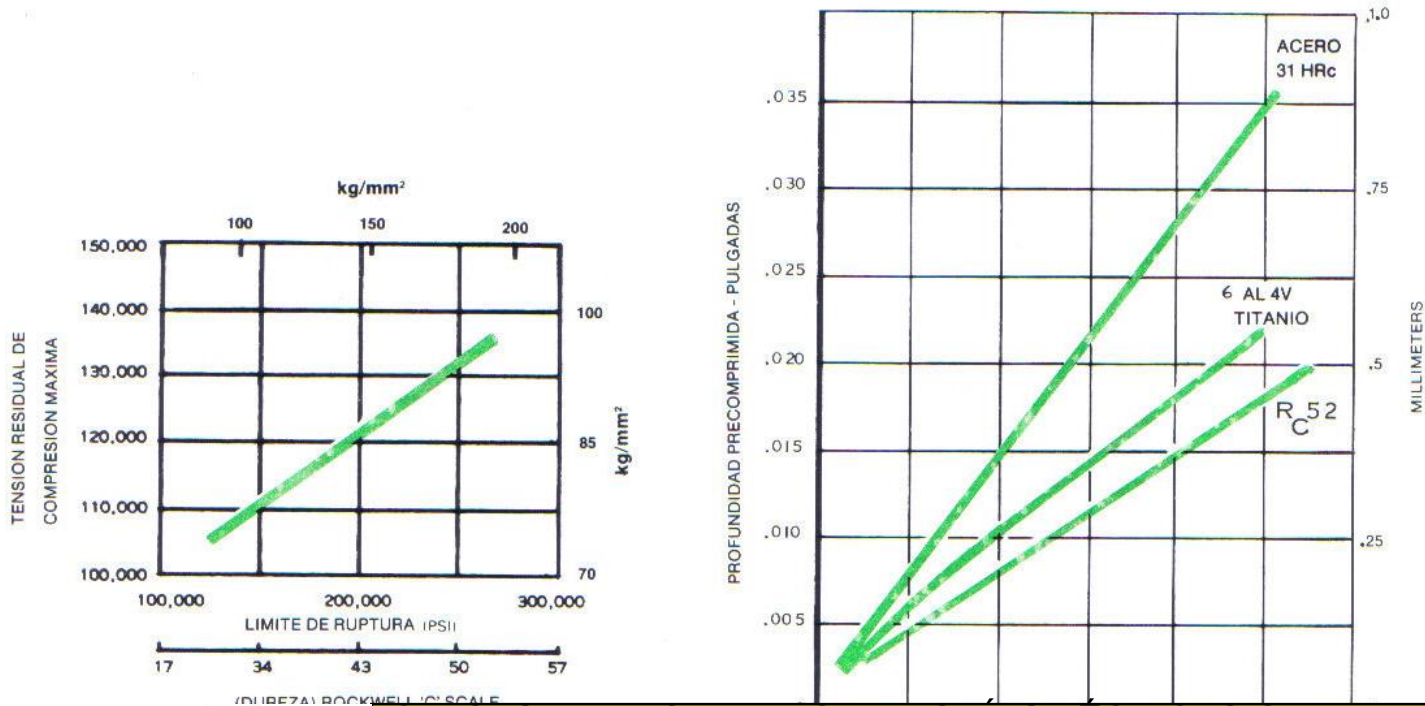
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

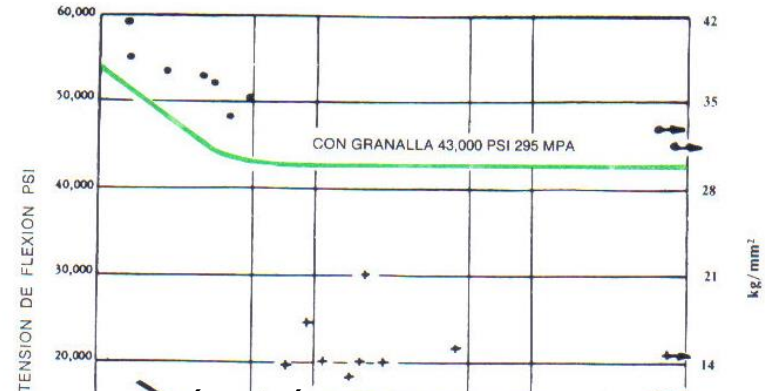
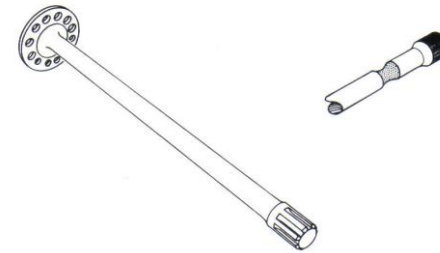
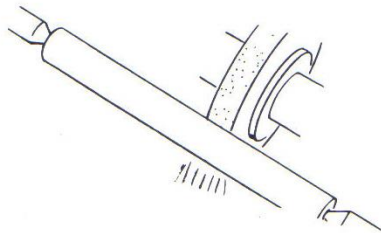
---

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

AL MEN EN LA PROFUNDIDAD RECOMPRIMIDA PARA EL ACERO Y EL TITANIO.

## 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.

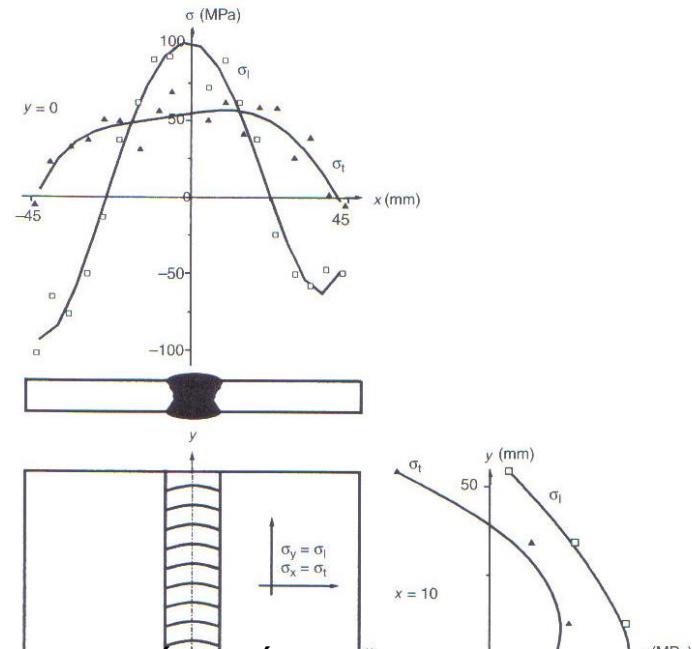
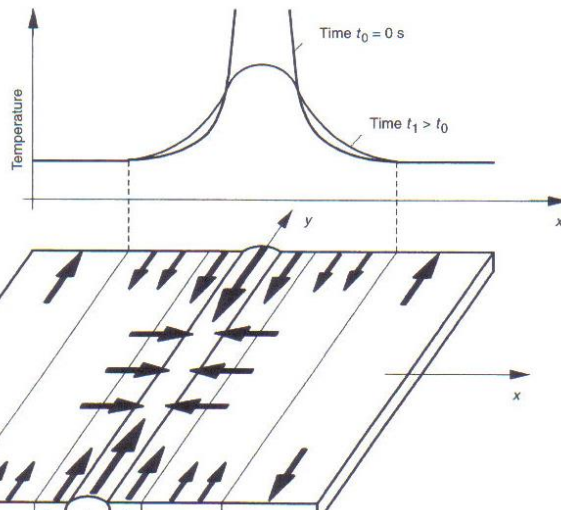
Fig. 12. PRUEBAS DE FATIGA EN EJES TRASEROS.

**Ejemplos**

**Soldadura**

**Contracción tras soldadura**

**Tensiones residuales**



**Cartagena99**

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

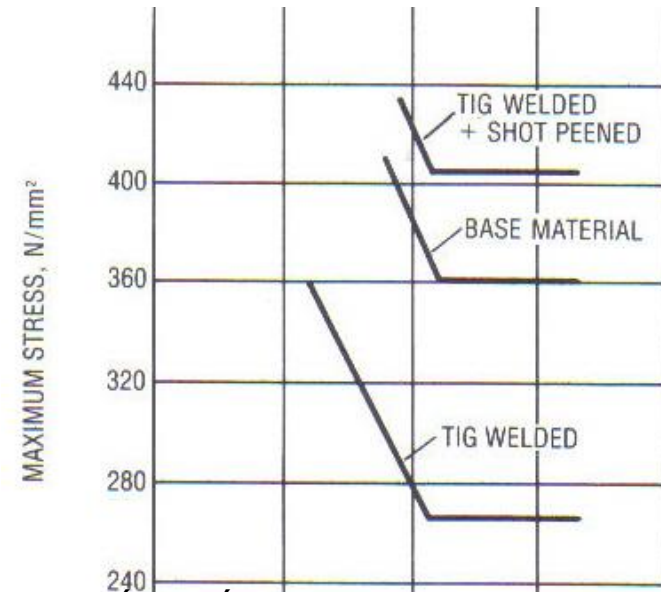
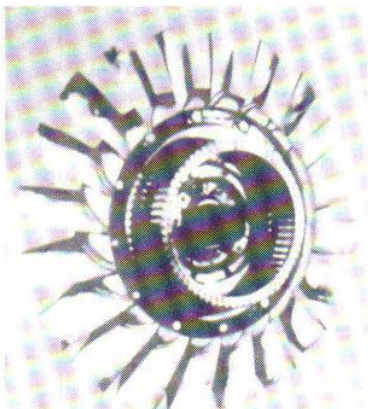
---

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

## Ejemplos

### Soldadura

Efecto del granallado tras la soldadura



# Cartagena99

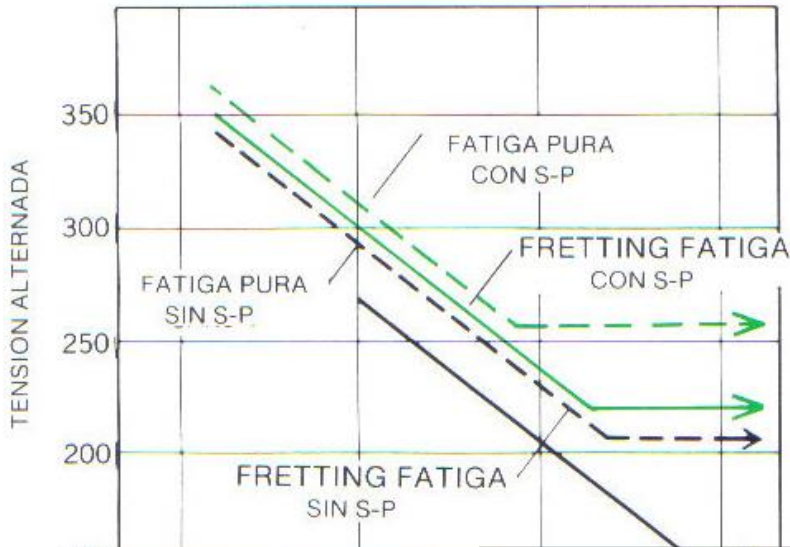
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

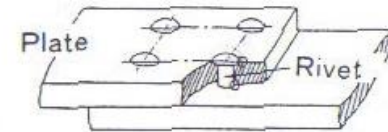
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Ejemplos

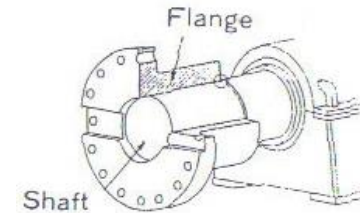
### Fretting fatiga



### 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

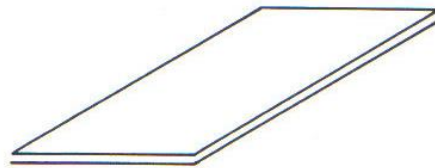




# GRANALLADO

## Ejemplos

*Peen forming*



ANTES DEL GRANALLADO

SUPERFICIE GRANALLADO



DESPUES DEL GRANALLADO



# Cartagena99

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

---

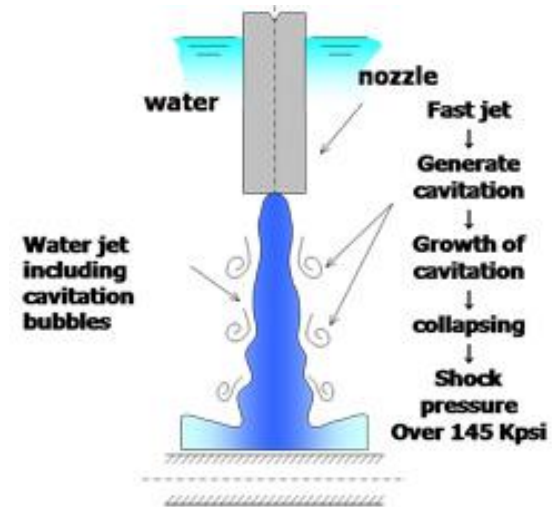
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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

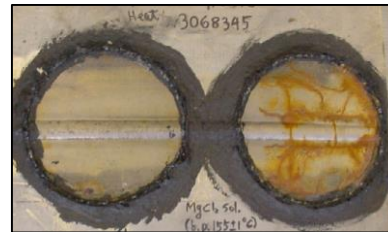
Cartagena99

# IMPACTO CON LÁSER

## Tecnología

- Intensidad: 100-300 J/cm<sup>2</sup>
- Pulso: 10-30 ns

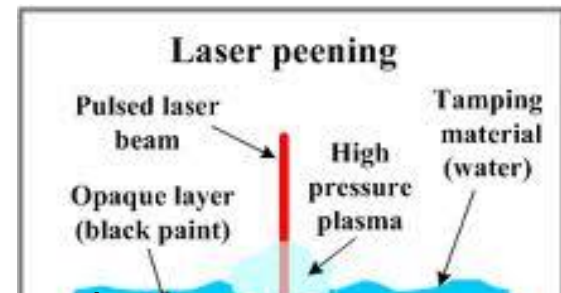
Acero 316: Corrosión bajo tensión



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

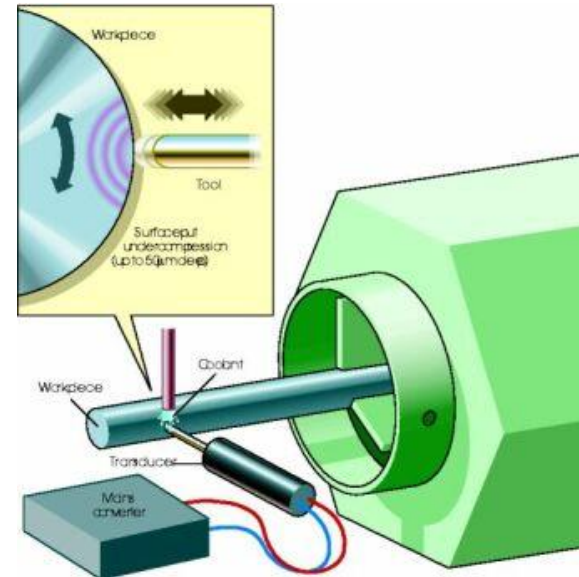
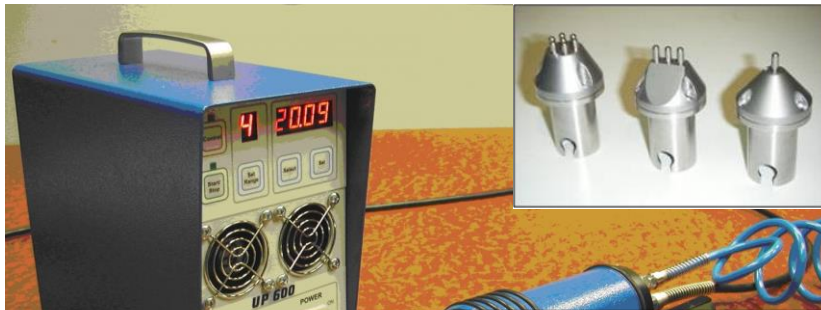
[www.substech.com](http://www.substech.com)

Cartagena99

# IMPACTO CON ULTRASONIDOS

## Tecnología

- Transductor piezoeléctrico
- Frecuencia: 22 KHz
- Rugosidad final: 0.2-0.4  $\mu\text{m}$



Cartagena99

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

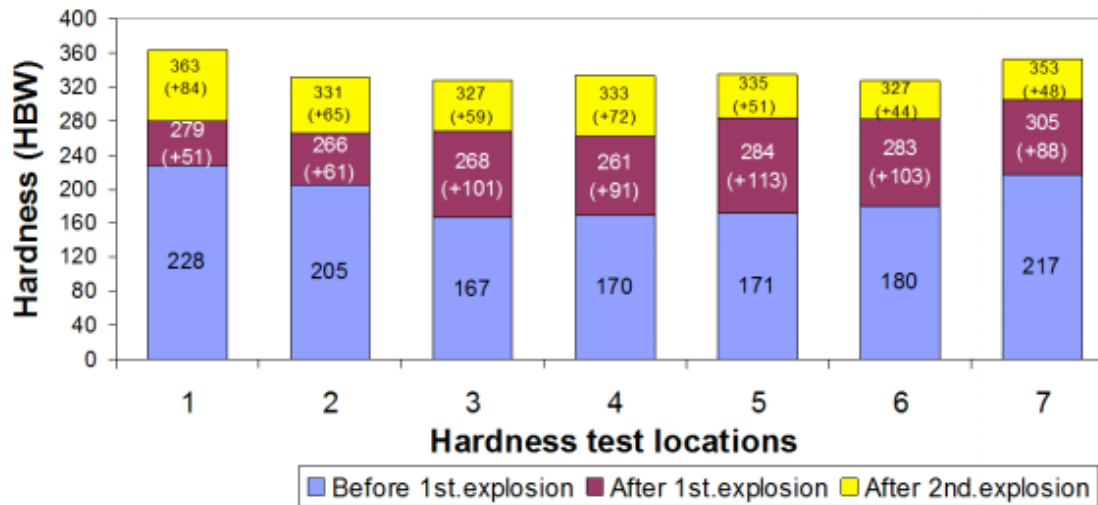
---

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

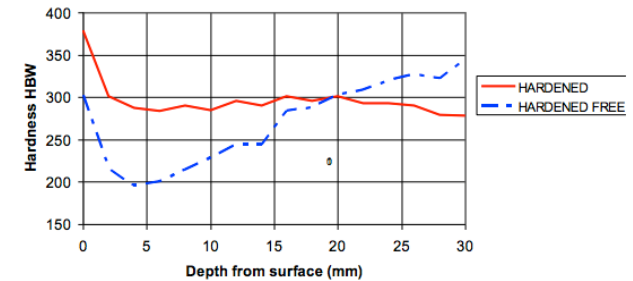
Vibration Amplitude ( $\mu\text{m}$ )

# ENDURECIMIENTO POR EXPLOSIVOS

## Tecnología



- Presión: hasta 35 GPa
- Tiempo: 2-3  $\mu$ s



Cartagena99

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

---

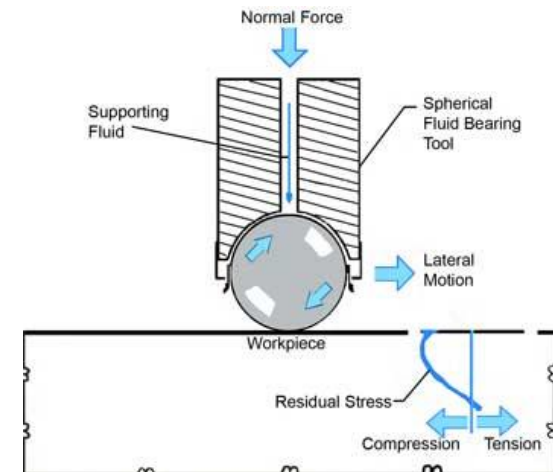
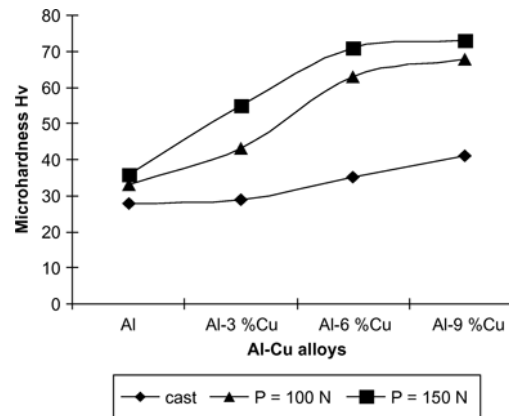
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 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

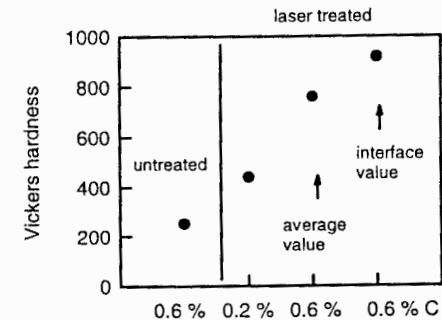
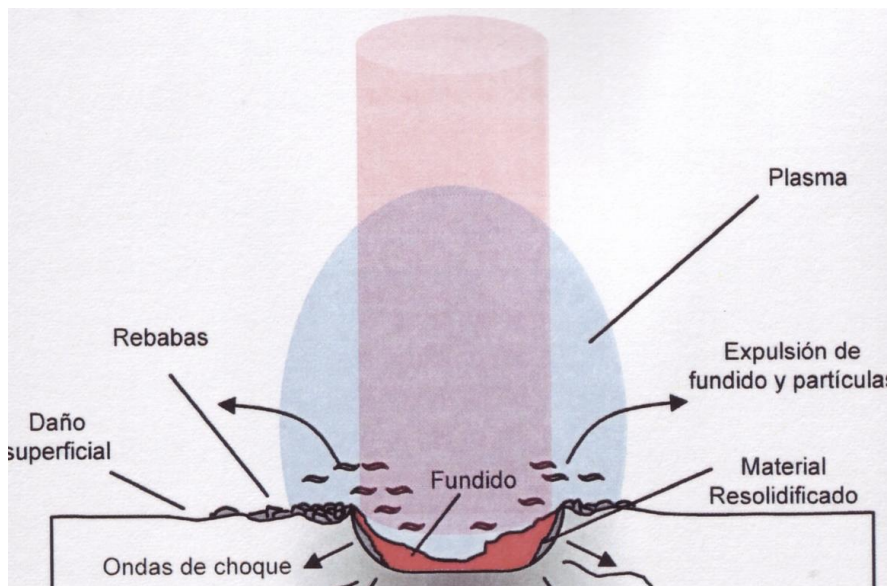
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

<b>Transformación estructural</b>	<b>Ablación</b>	<b>Fusión superficial</b>
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

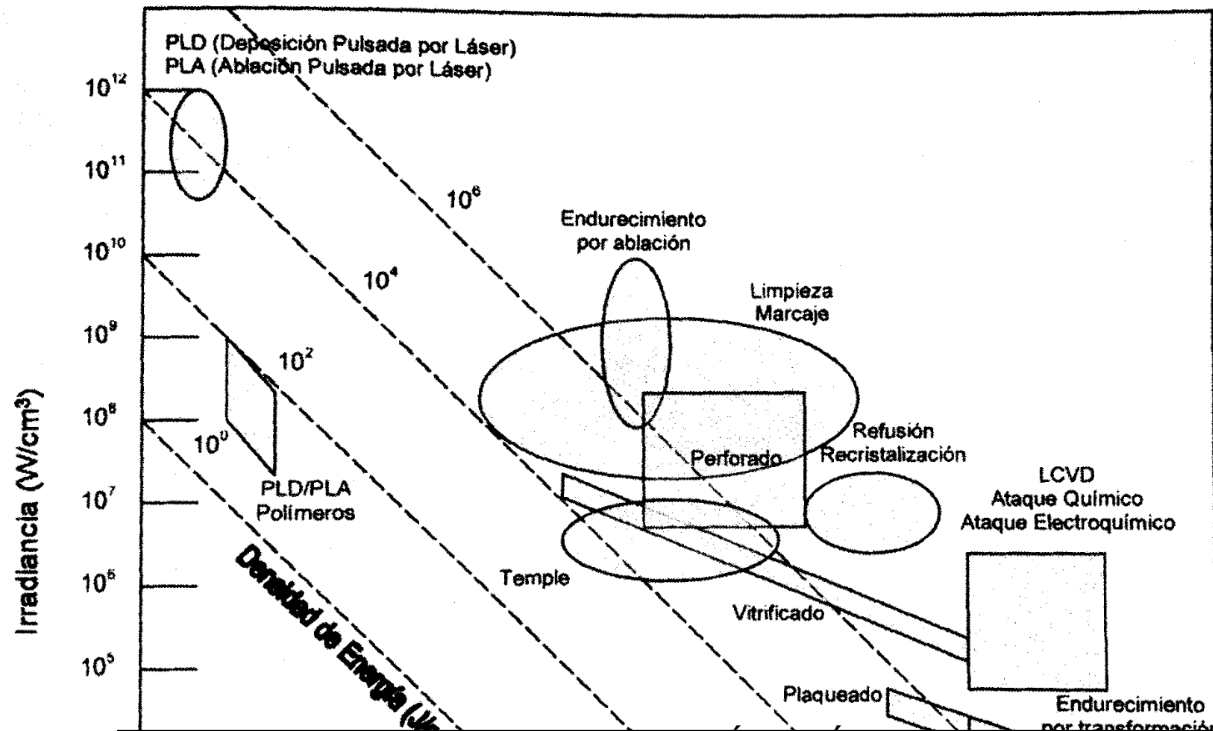
---

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



# TÉCNOLOGÍA LÁSER APLICADA A MATERIALES

## Aplicaciones



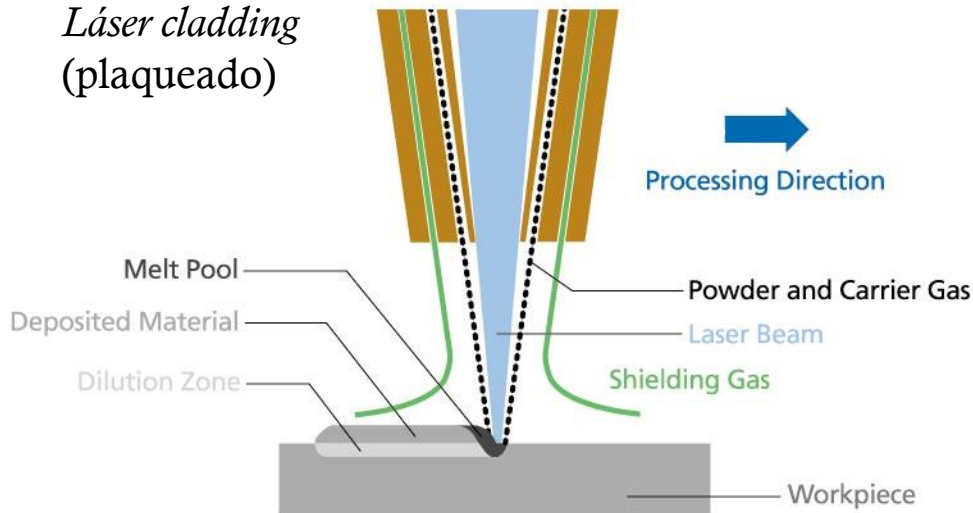
Cartagena99

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

## Transformación estructural

### *Láser cladding* (plaqueado)



Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating with a thickness of ca. 200 μm, deposited using a CO<sub>2</sub> laser and treated with a Nd-YAG laser.

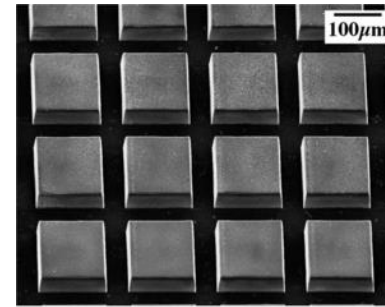
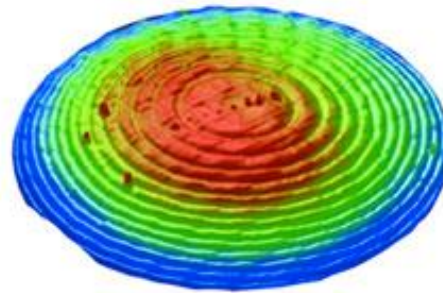


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

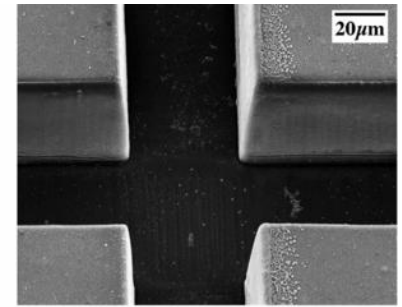
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

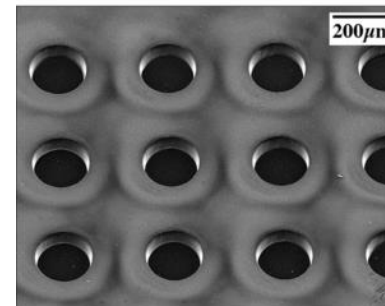
## Ablación Láser



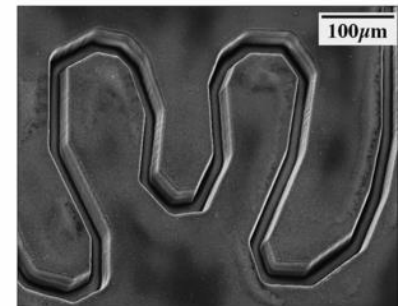
(a)



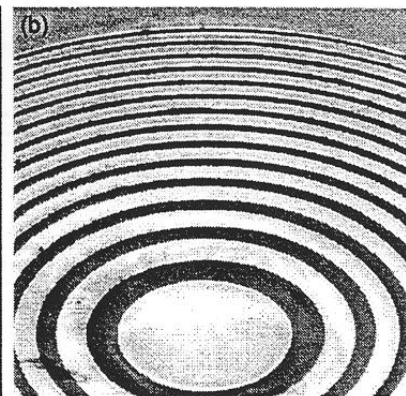
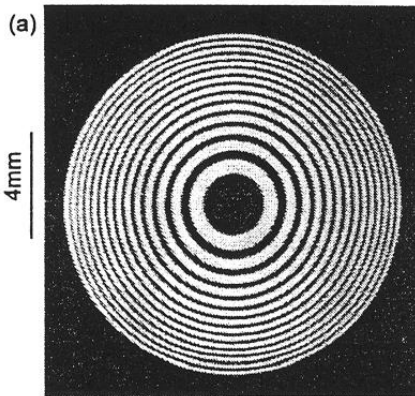
(b)



(c)



(d)



# Cartagena99

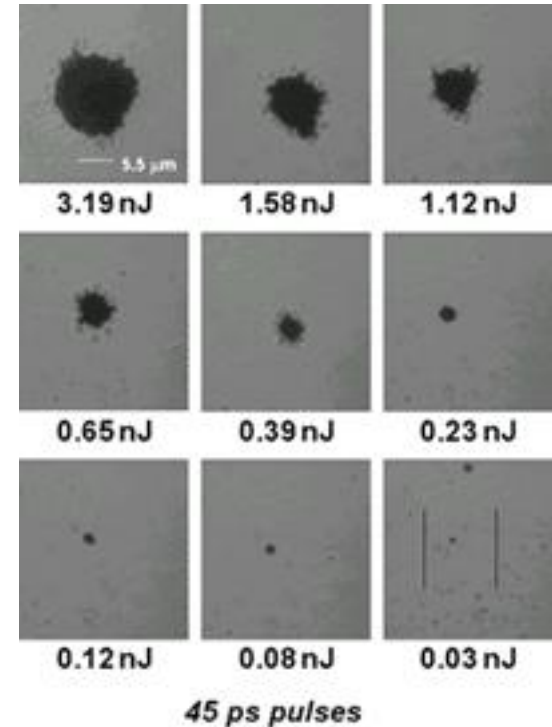
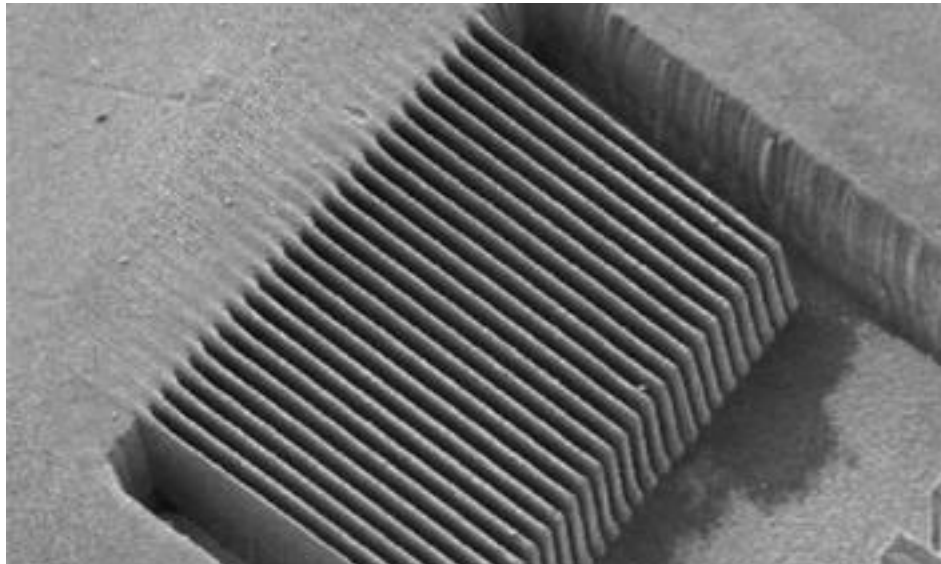
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

Cartagena99, private communication, 1998.)

## Ablación Láser



# Cartagena99

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

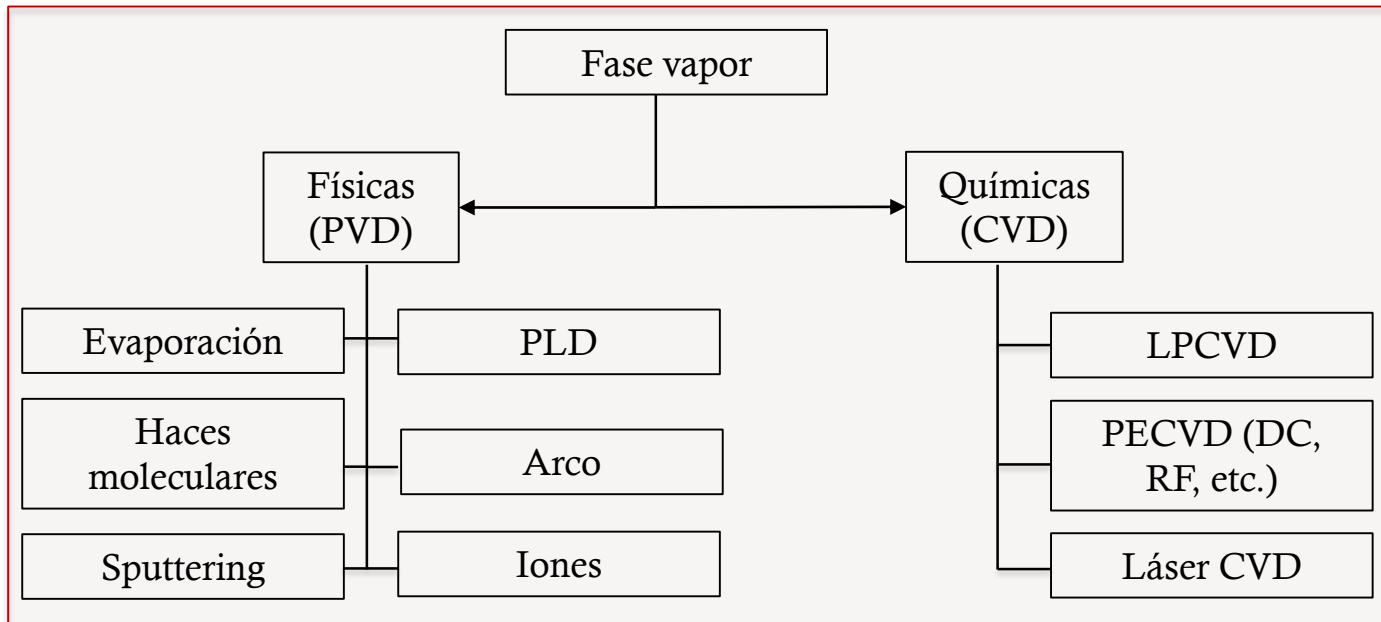
---

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

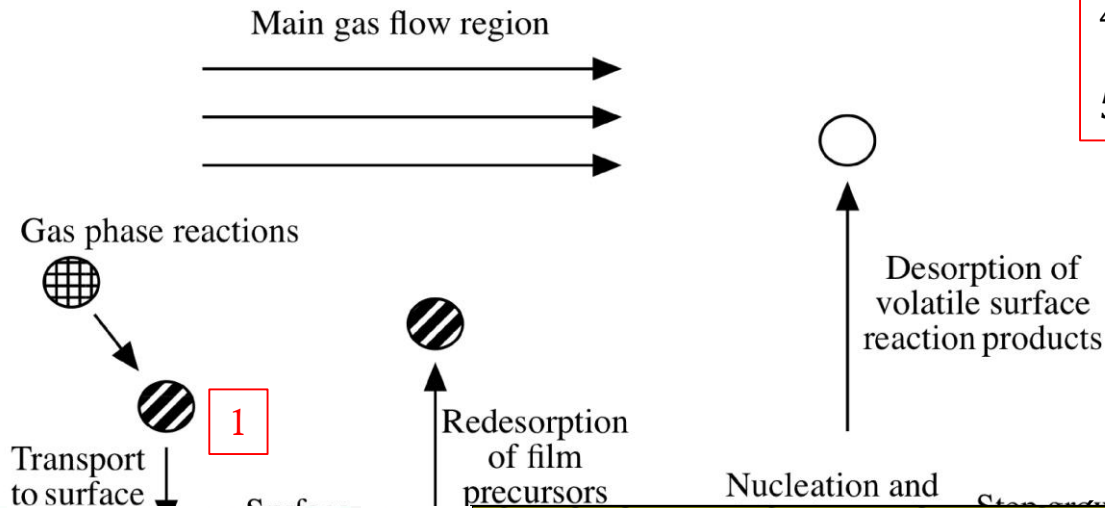
---

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

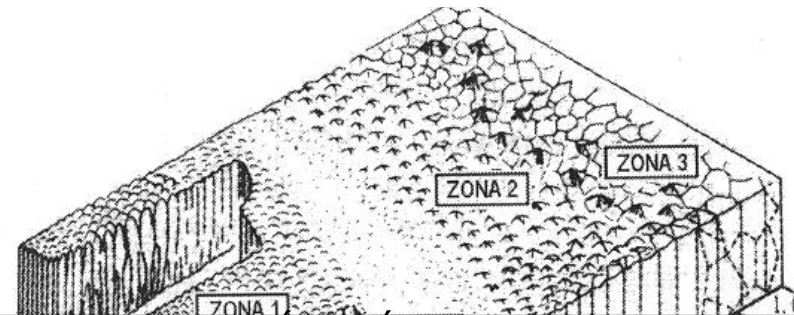
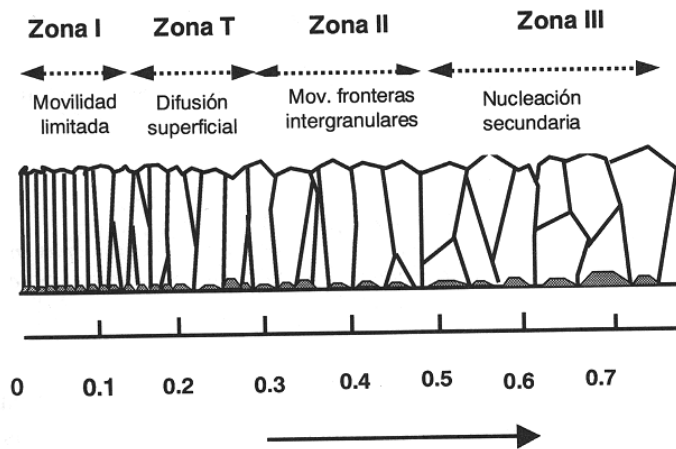
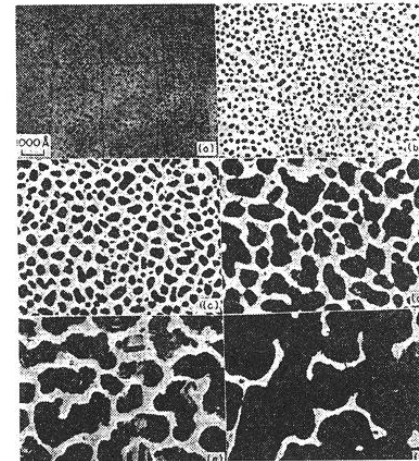
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---  
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 TECNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

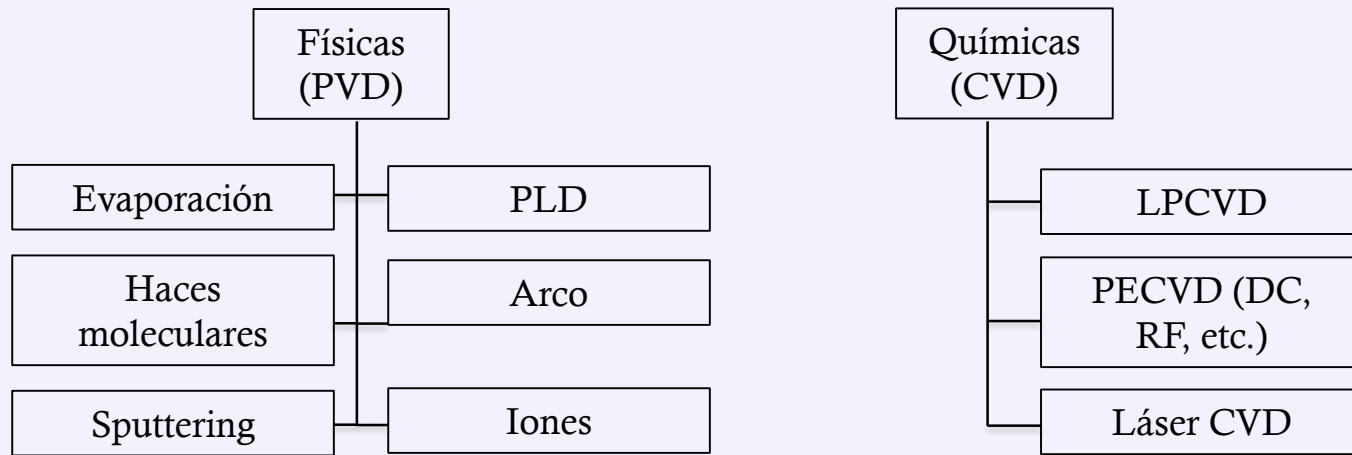
Cartagena99

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

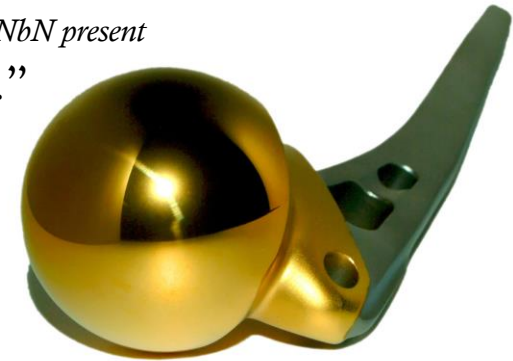
---

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

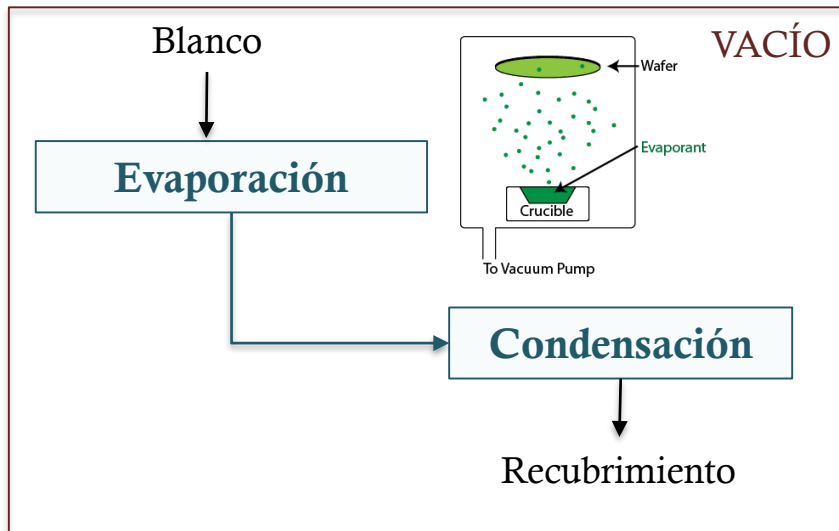
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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  $\mu\text{m}$
- 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

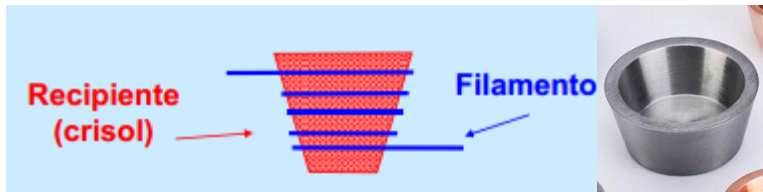
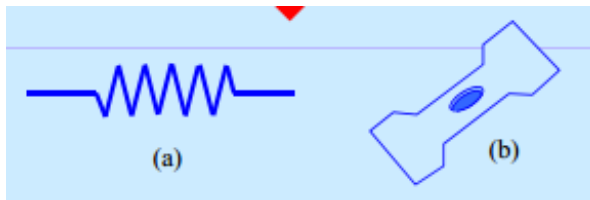
---

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

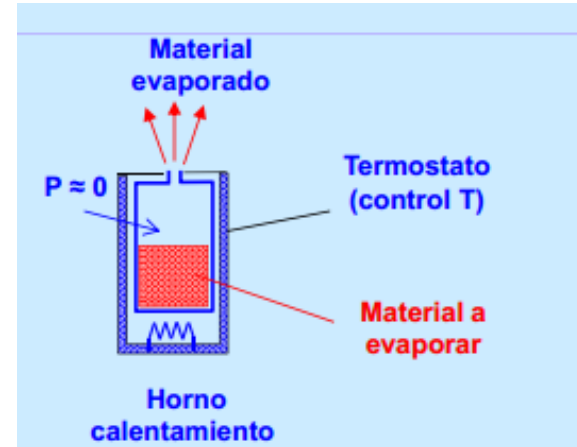
# DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

## 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

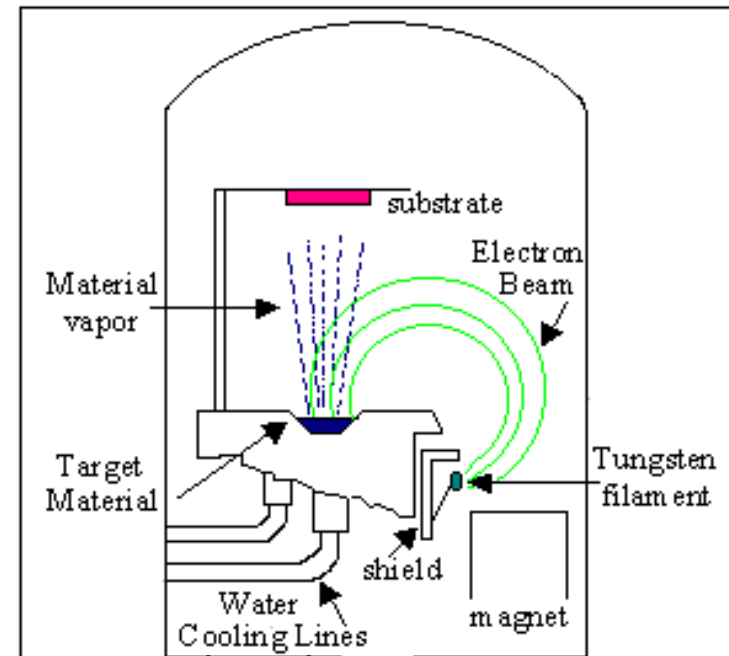
# DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

## Métodos de evaporación térmica

### 2. Bombardeo de electrones

Características:

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



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

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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al, O, AlO, Al <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> (AlO) <sub>2</sub>	2030	~1800	Mo, W
SiO	SiO	-	1025	Mo, Ta
SiO <sub>2</sub>	SiO, SiO <sub>2</sub>	1730	~ 1250	Mo, Ta, W
TiO <sub>2</sub>	TiO, Ti, TiO <sub>2</sub>	1840	-	-
ZrO <sub>2</sub>	ZrO, O <sub>2</sub>	2700	-	-
ZnS	-	1830 (150 atm)	1000	Mo
CdS	S <sub>2</sub> , Cd, S,	1750 (150 atm)	670	C, Mo, Ta, W, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

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 <sub>2</sub> Torr	Vel. Depos. Å/s	Temp. Substr. °C
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-4</sup>	~ 1	400-500
Cr	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2x 10 <sup>-5</sup>	~ 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
<b>Plateado iónico (<i>Ion plating</i>)</b>	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.
<b>Arco catódico</b>	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
<b>Pulverización catódica</b> <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.
<b>Ablación láser</b>	El haz láser se enfoca en el blanco produciendo la ablación,	Producción de capas de gran variedad de óxidos complejos como superconductores.

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

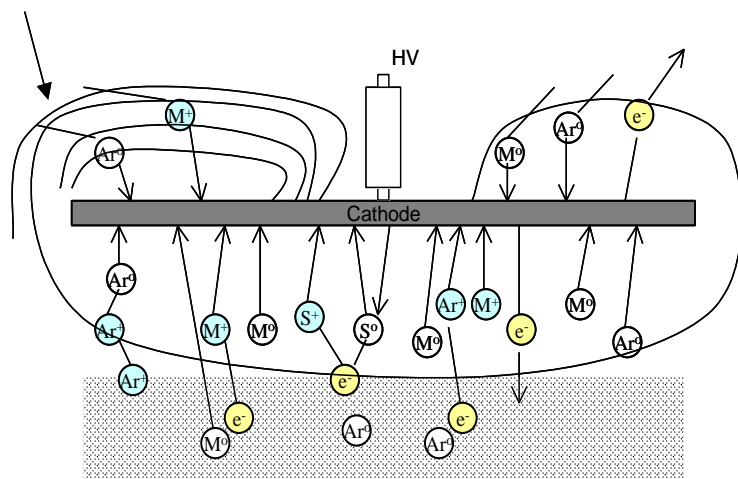
Cartagena99



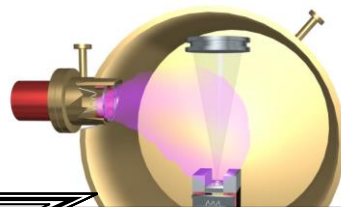
# DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

## Plateado iónico (*Ion plating*)

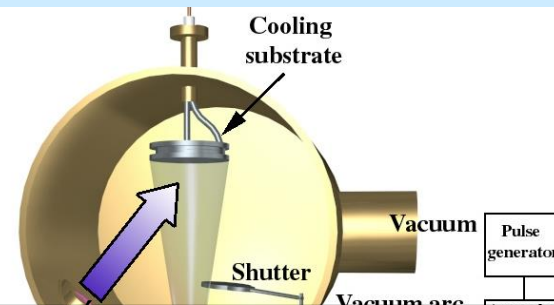
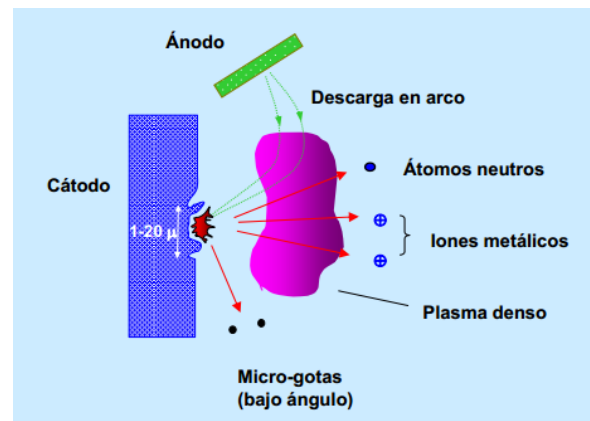
Equipotential lines



Negative glow discharge region



## Arco catódico



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

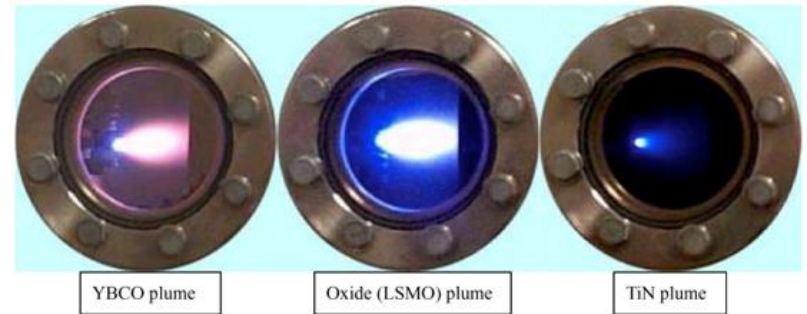
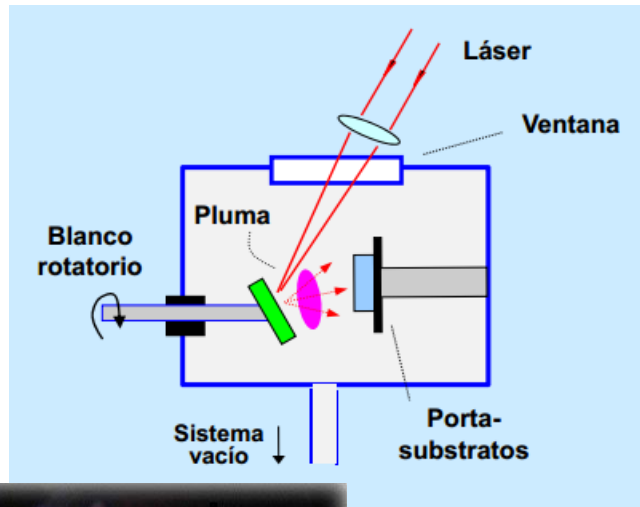
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

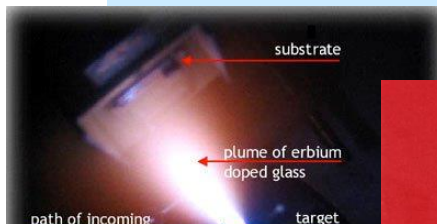
Macroparticle Cathode

# DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

## Ablación láser



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



Cartagena99

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

---

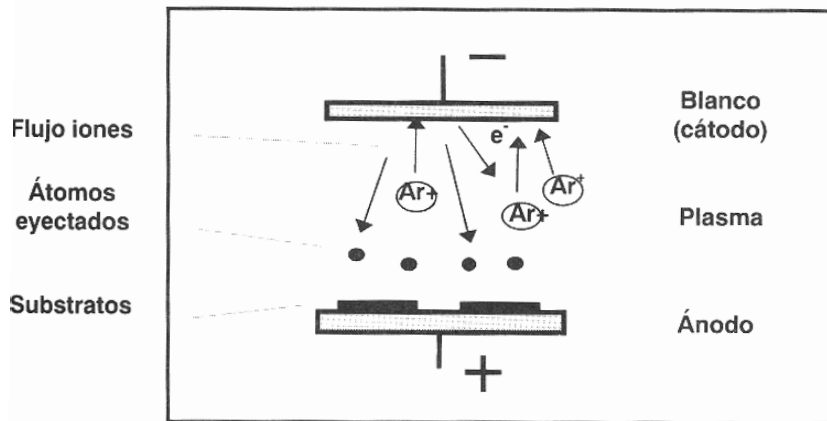
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

4225 Å

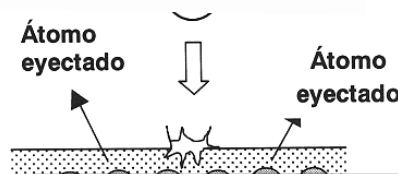
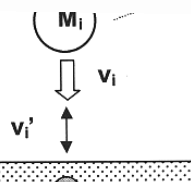
6135 Å

# DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR (PVD)

## Pulverización catódica (*Sputtering*)



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



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

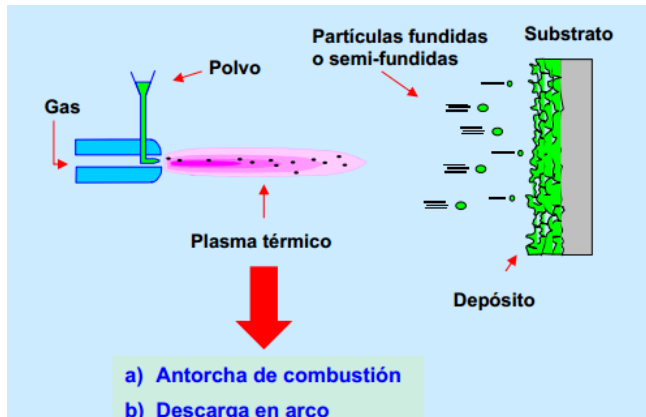
---  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Cartagena99

Calor de la red

# PROYECCIÓN TÉRMICA

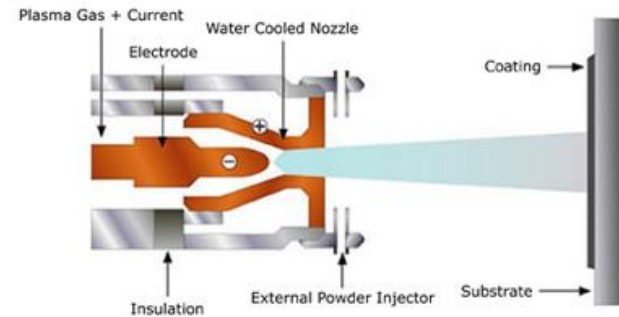
## Proyección térmica



## 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

## 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

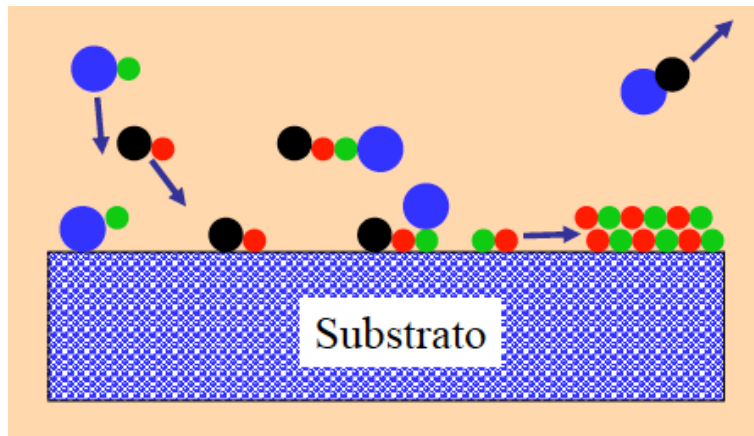
---

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 reactantes 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

---

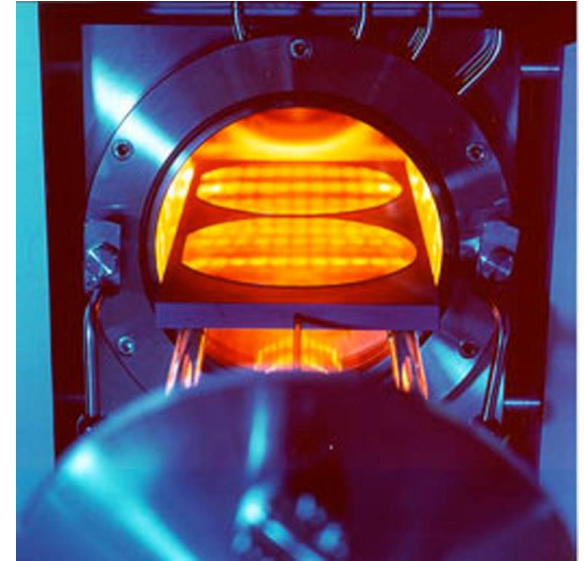
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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  $T < 500^{\circ}\text{C}$  ( $\text{SiO}_2$ , 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  $\text{SiO}_2$  y poli-Si (1962-1973)

**PECVD:** CVD estimulada por plasma, baja P y T para  $\alpha$ -Si,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (1965-1975)

**UVCVD:** CVD estimulada por luz UV, para Si y  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , (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

---

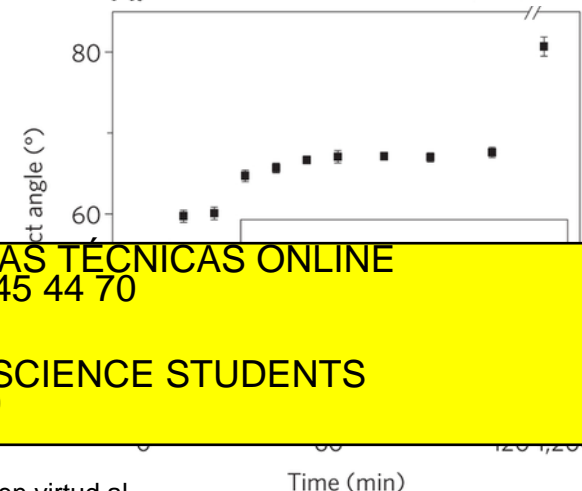
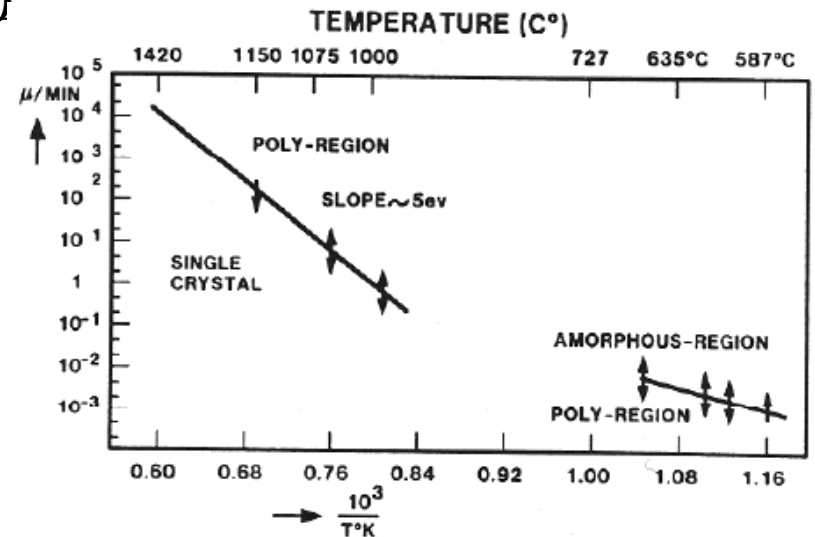
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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**

- SiO<sub>2</sub>
- SiN<sub>x</sub>
- SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>
- a-Si

**Process gases**

- Silane
- NO<sub>2</sub>



**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**

SiO<sub>2</sub>: 100 nm/min

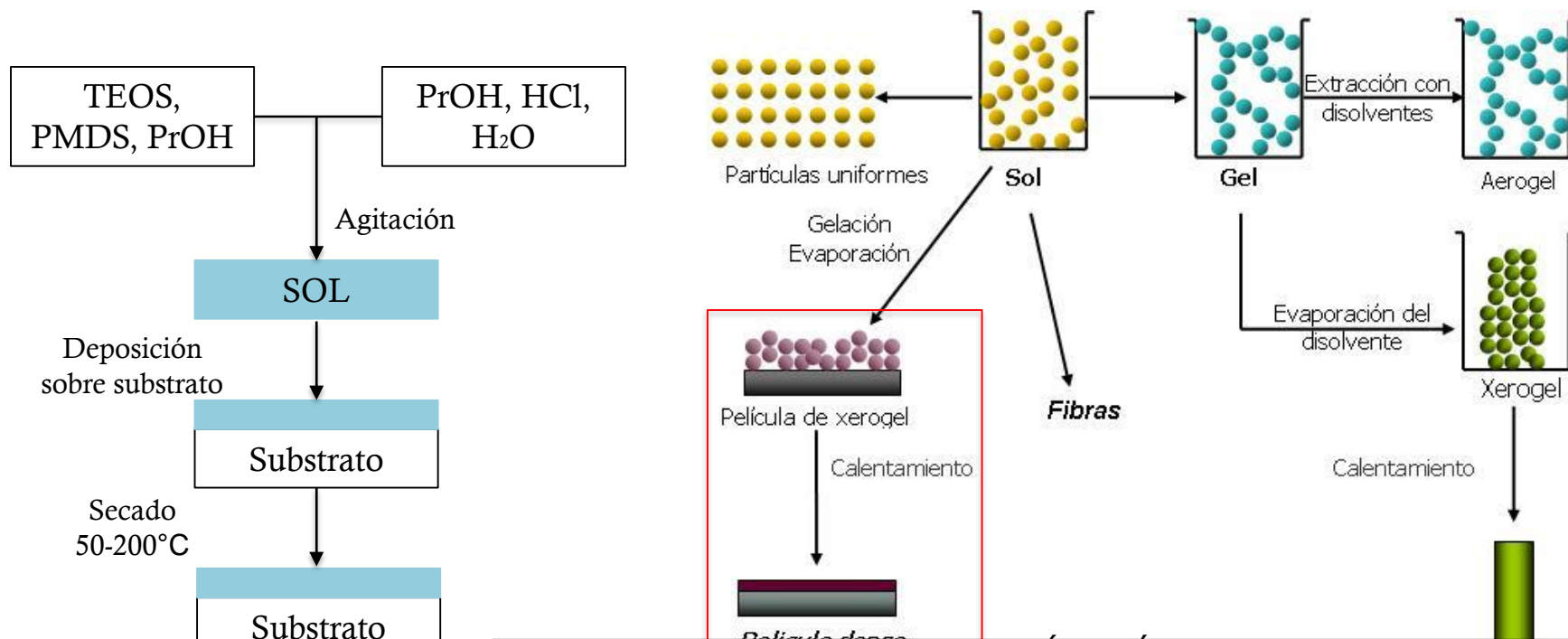
Cartagena99

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

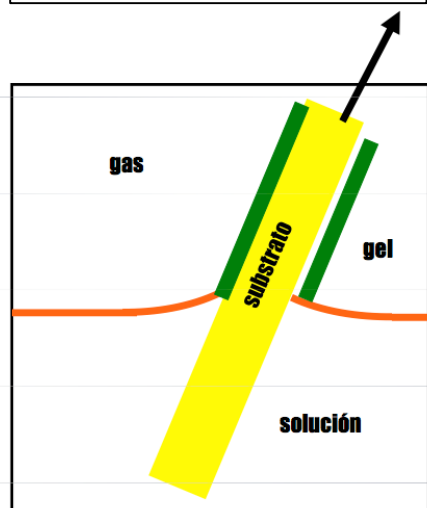
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

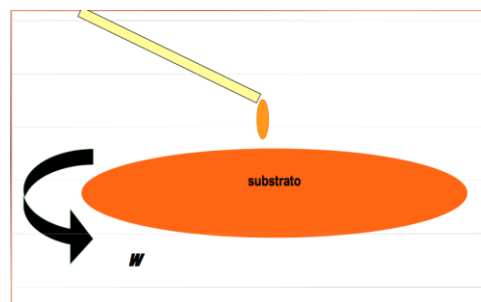
**nanofiltración y policondensación**

## Métodos de impregnación del sustrato

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

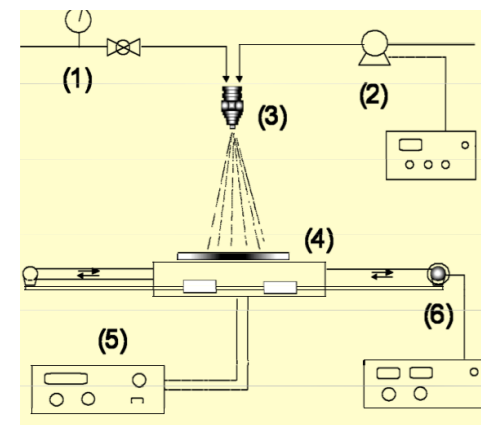


Dispersión por giro del sustrato  
("Spin coating")



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

Nebulización sobre sustrato caliente  
("Spray")



# Cartagena99

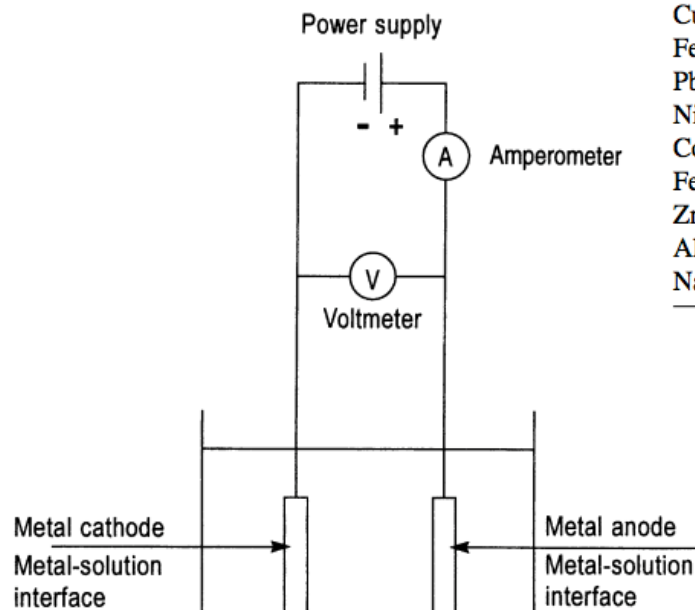
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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 <sup>+</sup>	Au <sup>+</sup> + e ⇌ Au	1.692
Au/Au <sup>3+</sup>	Au <sup>3+</sup> + 3e ⇌ Au	1.498
Pd/Pd <sup>2+</sup>	Pd <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Pd	0.951
Cu/Cu <sup>+</sup>	Cu <sup>+</sup> + e ⇌ Cu	0.521
Cu/Cu <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Cu	0.3419
Fe/Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>3+</sup> + 3e ⇌ Fe	-0.037
Pb/Pb <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Pb	-0.1262
Ni/Ni <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Ni	-0.257
Co/Co <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Co	-0.28
Fe/Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Fe	-0.447
Zn/Zn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup> + 2e ⇌ Zn	-0.7618
Al/Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup> + 3e ⇌ Al	-1.662
Na/Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> + 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(Cu<sup>2+</sup>) = 1

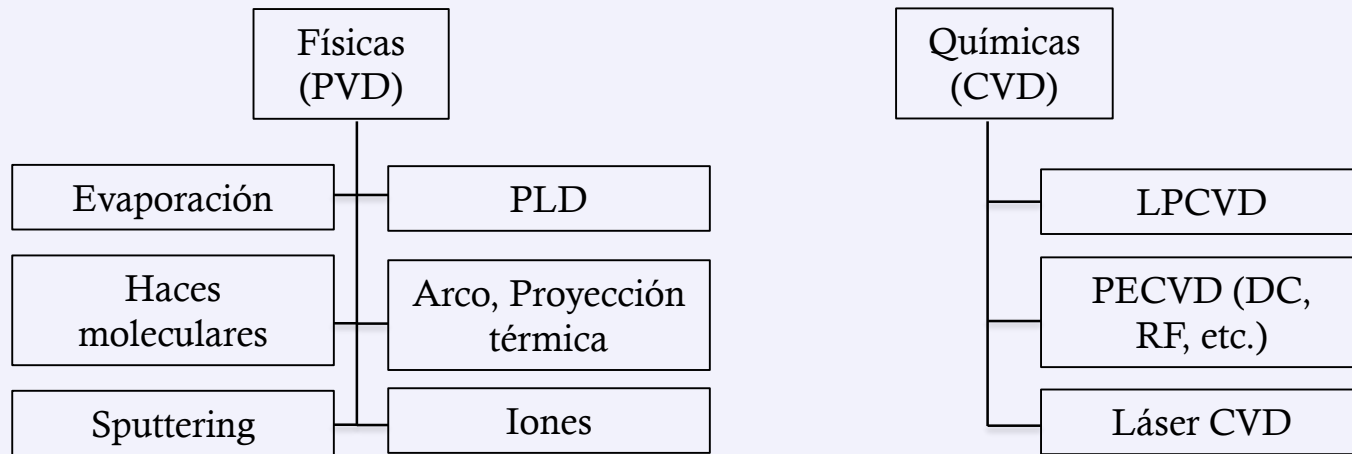
Cartagena99



# 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