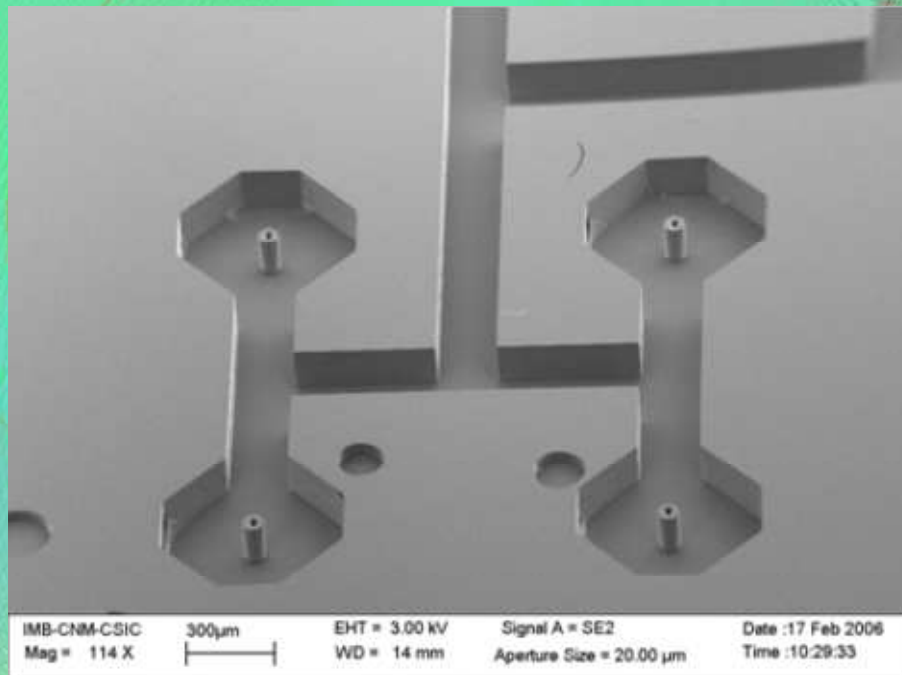


# Microfluídica



José Manuel Quero Reboul  
Dpto. Ingeniería Electrónica  
Universidad de Sevilla

# Indice

- Motivación.
- Comportamiento de los fluidos a microescala.
- Ejemplos:
  - Lab-on-Chip.
  - Nebulizador.
- Proceso de fabricación.
- Caso práctico: caudalímetro.
- Resumen.

# Motivación

## **Definición:**

Tecnología de fabricación multidisciplinar (física, química, biología, ingeniería) que manipula fluidos a escala micrométrica .

## **Fabricación de dispositivos que manejan fluidos a escalas micrométricas:**

- Inyectores.
- Nebulizadores.
- Lab on a Chip (LoC) o Total Analysis System (uTAS).
- Micropropulsores.
- Pilas de combustible.

## **Casos de éxito:**

- Cabezal de inyección de tinta.
- Chips ADN.

# Motivación

## **Ventajas competitivas:**

- Coste producción.
- Repetitividad.
- Precisión.
- Pequeños volúmenes de muestras y reactivos
- Mayor velocidad de reacción y análisis
- Mejor control de procesos.
- Paralelización (fábricas del futuro)
- Seguridad (contaminación química, biológica, radioactiva...)
- Bajo consumo.

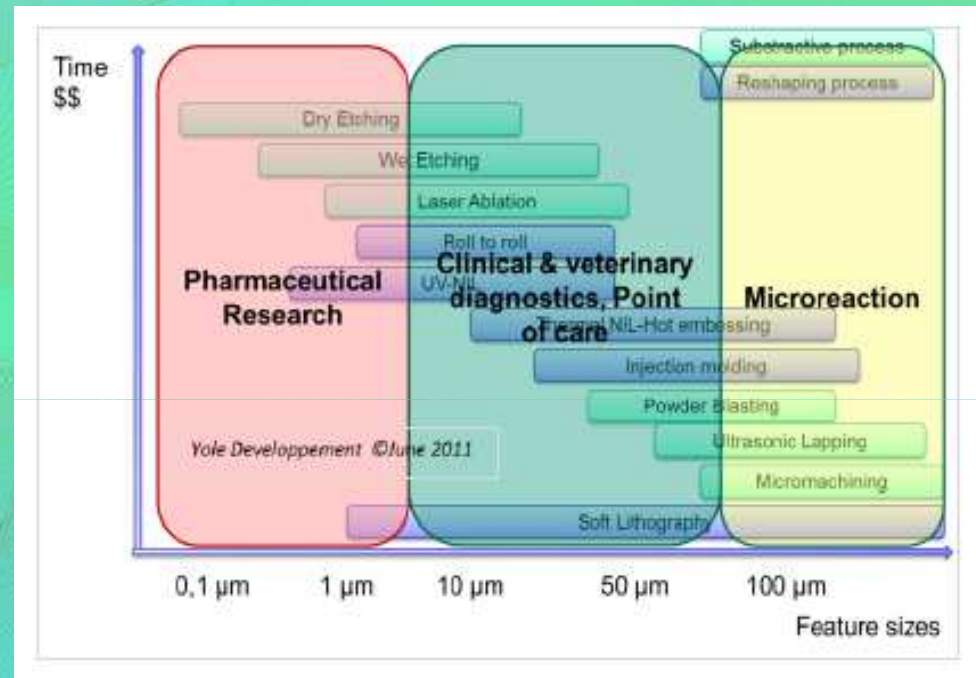
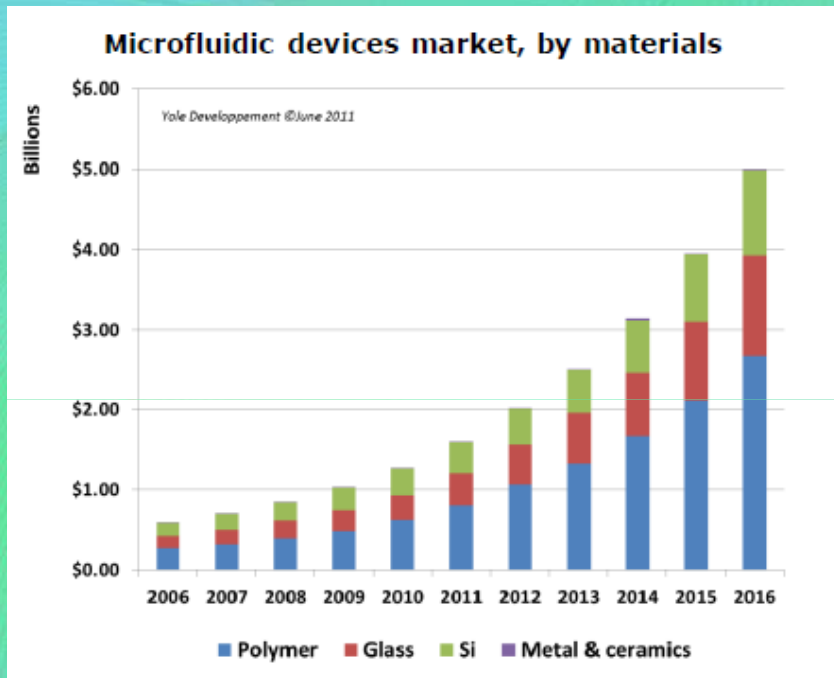
## **Inconvenientes:**

- Tecnologías poco desarrolladas
- Efectos de escala adversos.
- Elevada razón señal/ruido en los detectores al escalarlos.
- Relativa baja precisión de las geometrías a microescala

**FABRICACION DE NUEVOS DISPOSITIVOS**

# Motivación

## Mercado de la Microfluídica:



Mercado por tecnologías

Elección del proceso óptimo

# Indice

- Motivación.
- Comportamiento de los fluidos a microescala.
- Ejemplos:
  - Lab-on-Chip.
  - Nebulizador.
- Proceso de fabricación.
- Caso práctico: caudalímetro.
- Resumen.

# Comportamiento

## Ecuaciones de Navier-Stokes:

Leyes de conservación de:

- masa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

- cantidad de movimiento

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = \nabla \cdot \tau + \rho \vec{f}_m$$

- energía

$$\rho \left( \frac{\partial e}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla e \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) - p \nabla \cdot \vec{v} + \Phi_v + Q_r + Q_q$$

**SIMULACION NUMÉRICA**

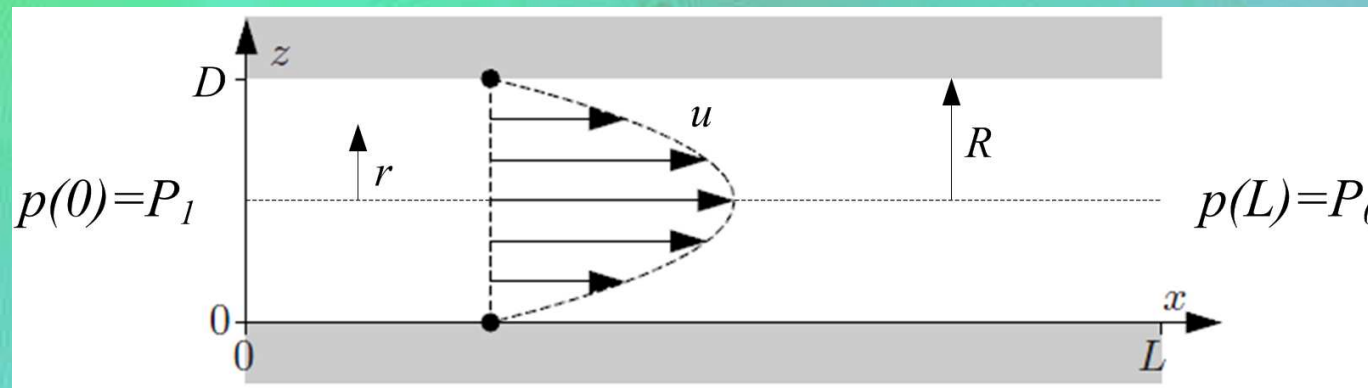
# Comportamiento

## Números adimensionales:

- Reynolds: Fuerzas inerciales/viscosas

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \propto L^2$$

Si  $\text{Re} < 2000$  dominado viscosas



Flujo laminar



# Comportamiento

## Números adimensionales:

- Péclet: Transporte por convección/difusión

$$Pe = \frac{vL}{D} \propto L^2$$

$D$  = Difusividad

Si  $Pe$  próximo a 1, domina la difusión:

En un conducto con flujo laminar, en dirección de conducto se produce convección, en dirección perpendicular se produce difusión.

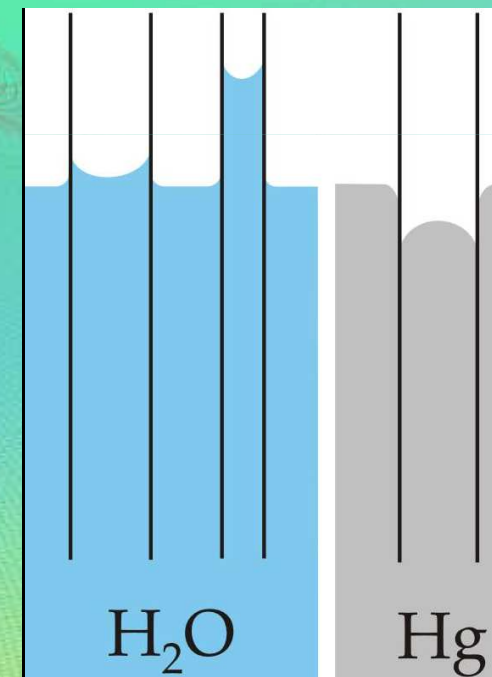
# Comportamiento

## Números adimensionales:

- Capilaridad: Fuerzas viscosas/ tensión superficial

$$Ca = \frac{\mu v}{\sigma} \propto L$$

Si  $Ca < 10^{-5}$  dominado por capilaridad



# Comportamiento

## Números adimensionales:

- Weber: Fuerzas inerciales/tensión superficial

$$We = \frac{\rho v^2 L}{\sigma} \propto L$$

Importante para la atomización: cuanto mayor Weber menor tamaño de gota.

# Comportamiento

## Leyes de Escala:

Magnitudes y fuerzas físicas	Ley de escala
Masa	$L^3$
Volumen	$L^3$
Gravedad	$L^3$
→ Tensión superficial	$L^1$
Fuerza electrostática	$L^2$
Fuerza elástica	$L^2$
Fuerza magnética	$L^3 / L^4 (*)$
→ Fricción viscosa	$L^1$
→ Velocidad de flujo	$L^1$
→ Tiempo de difusión	$L^2$

(\*) Esta fuerza depende de si existe un campo exterior o no, siendo  $L^3$  y  $L^4$

# Comportamiento

## Modelos eléctricos equivalentes:

- Resistencia fluídica: Ley de Hagen-Poiseuille

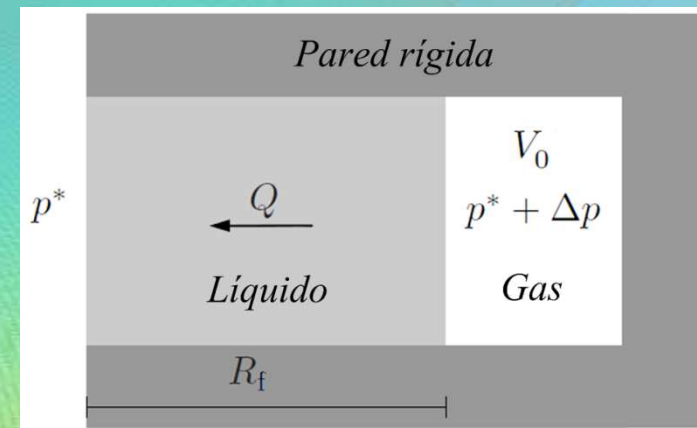
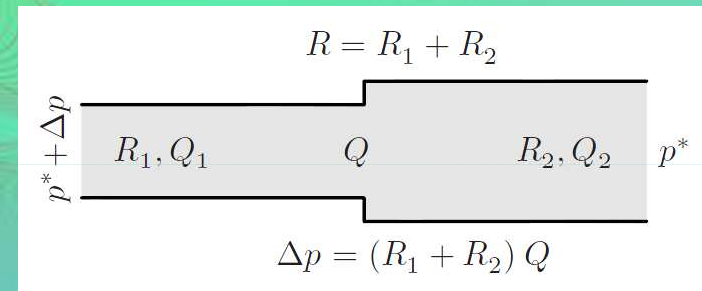
$$\Delta P = R_f Q$$

con  $R_f = \frac{128\mu L}{\pi D^4}$  para conducto circular.

- Capacidad fluídica:

$$\Delta P = \frac{V}{C_f}$$

con  $C_f = \frac{V_0}{P_0}$

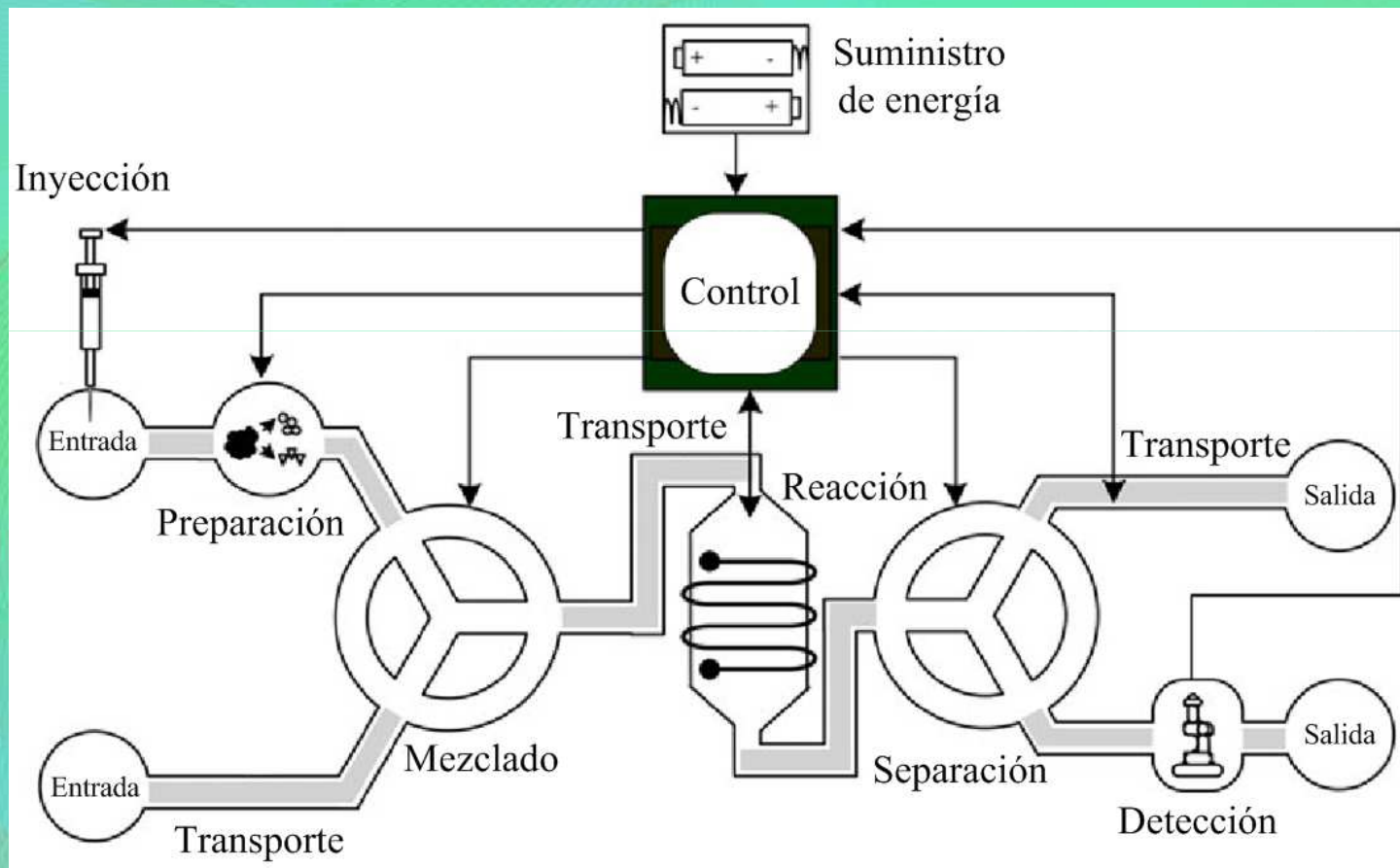


# Indice

- Motivación.
- Comportamiento de los fluidos a microescala.
- Ejemplos:
  - Lab-on-Chip.
  - Nebulizador.
- Proceso de fabricación.
- Caso práctico: caudalímetro.
- Resumen.

# Lab-on-Chip

## Esquema general:



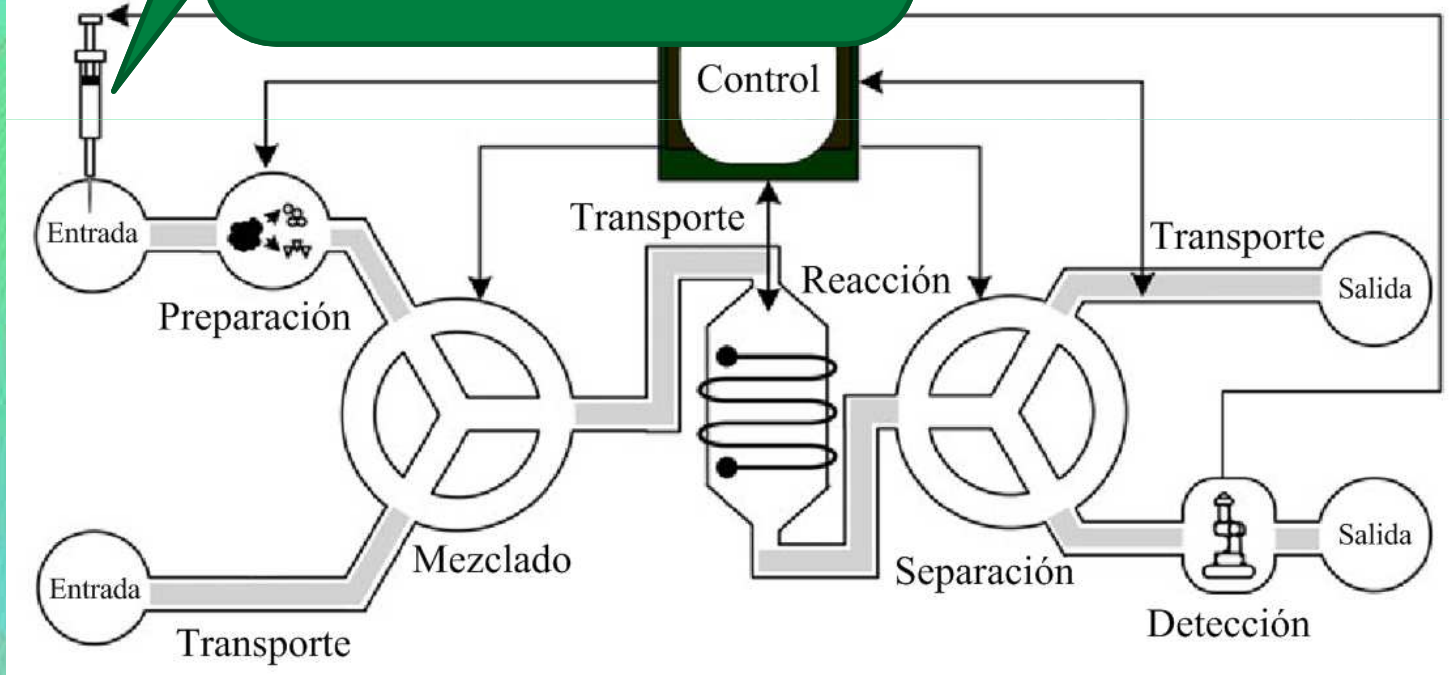
# Lab-on-Chip

Esque

Externa	Bombas de jeringa
	Pipetas automáticas
Interna	Electrocinética
	Bombas integradas

ministro  
energía

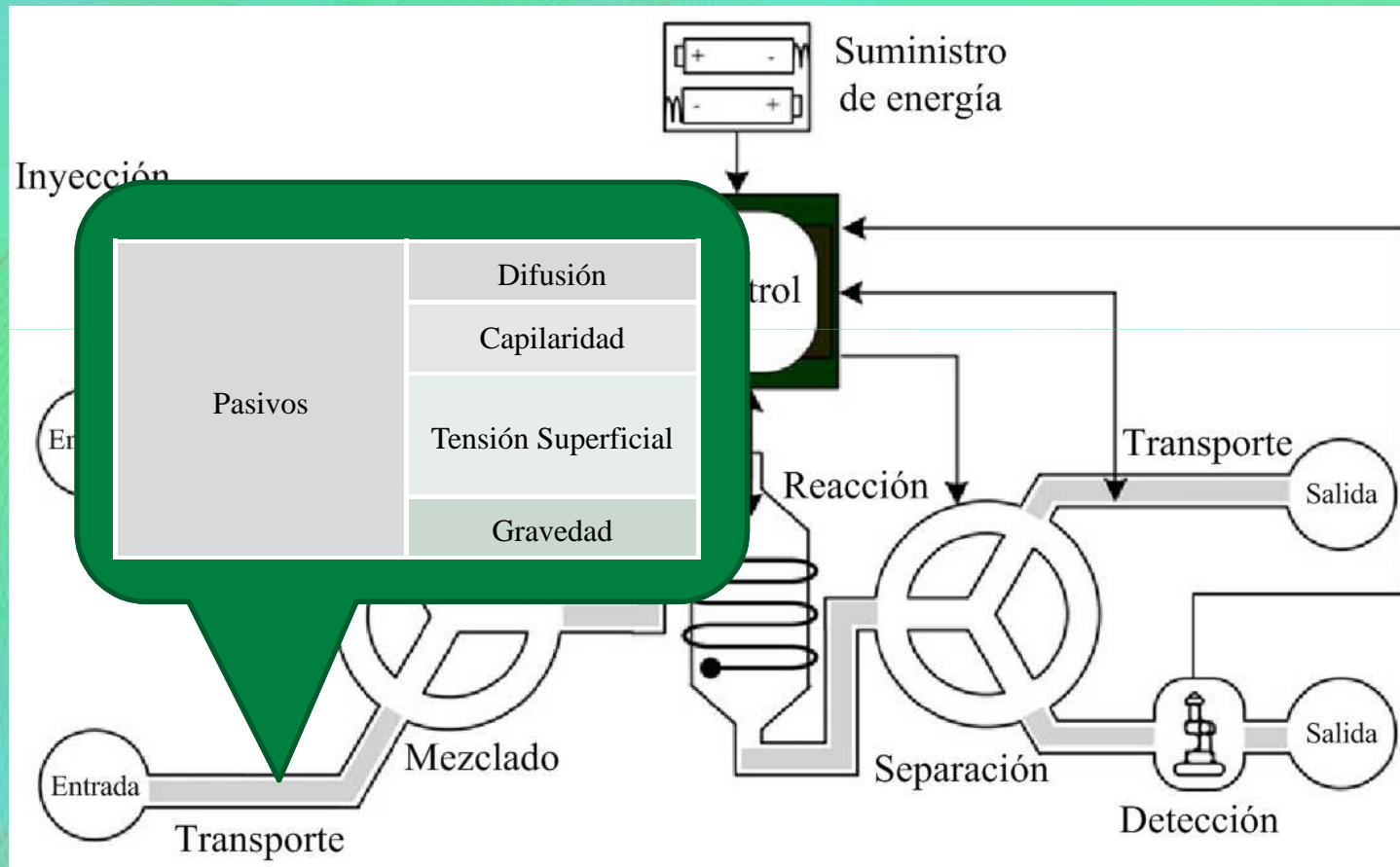
Inyección





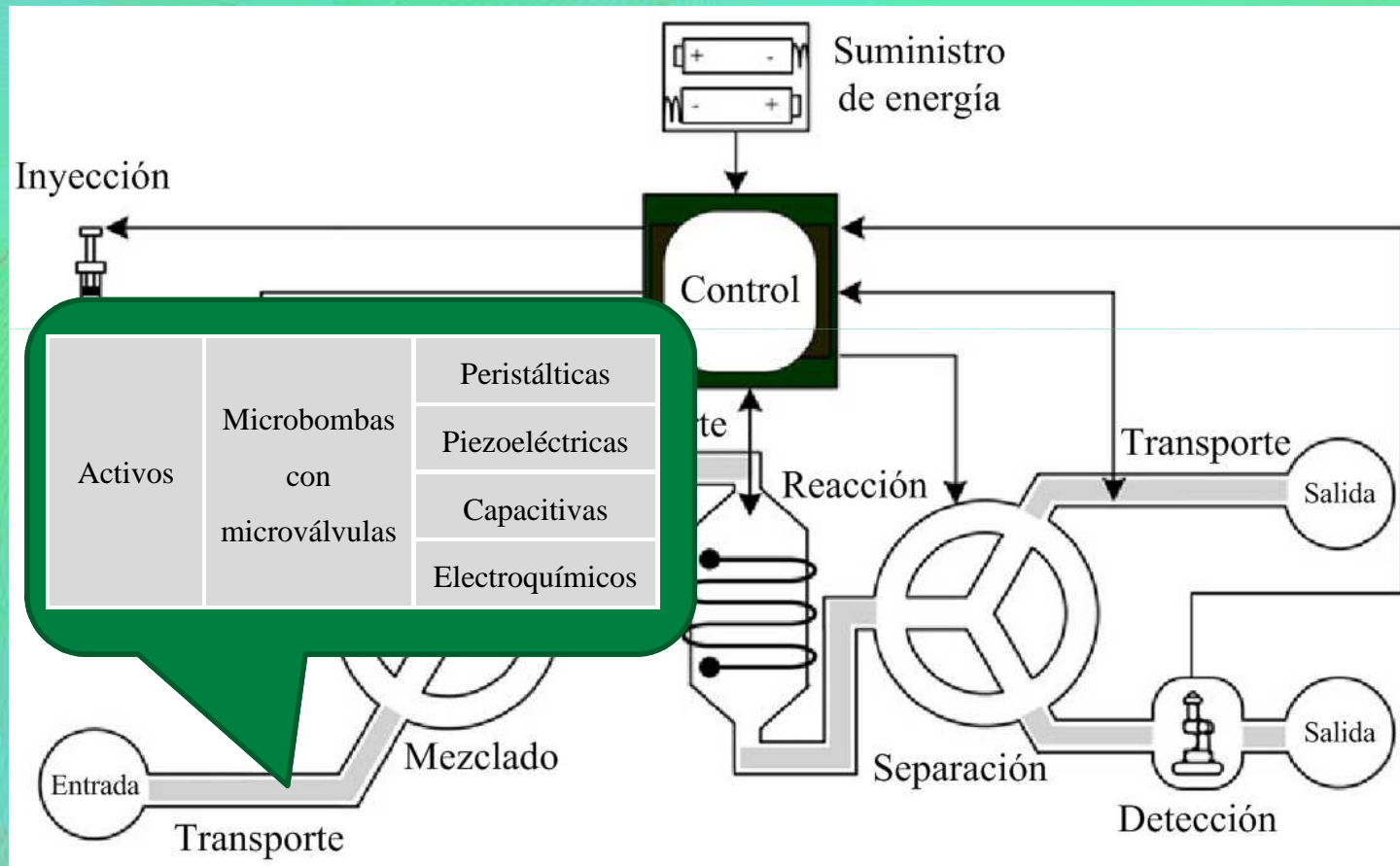
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



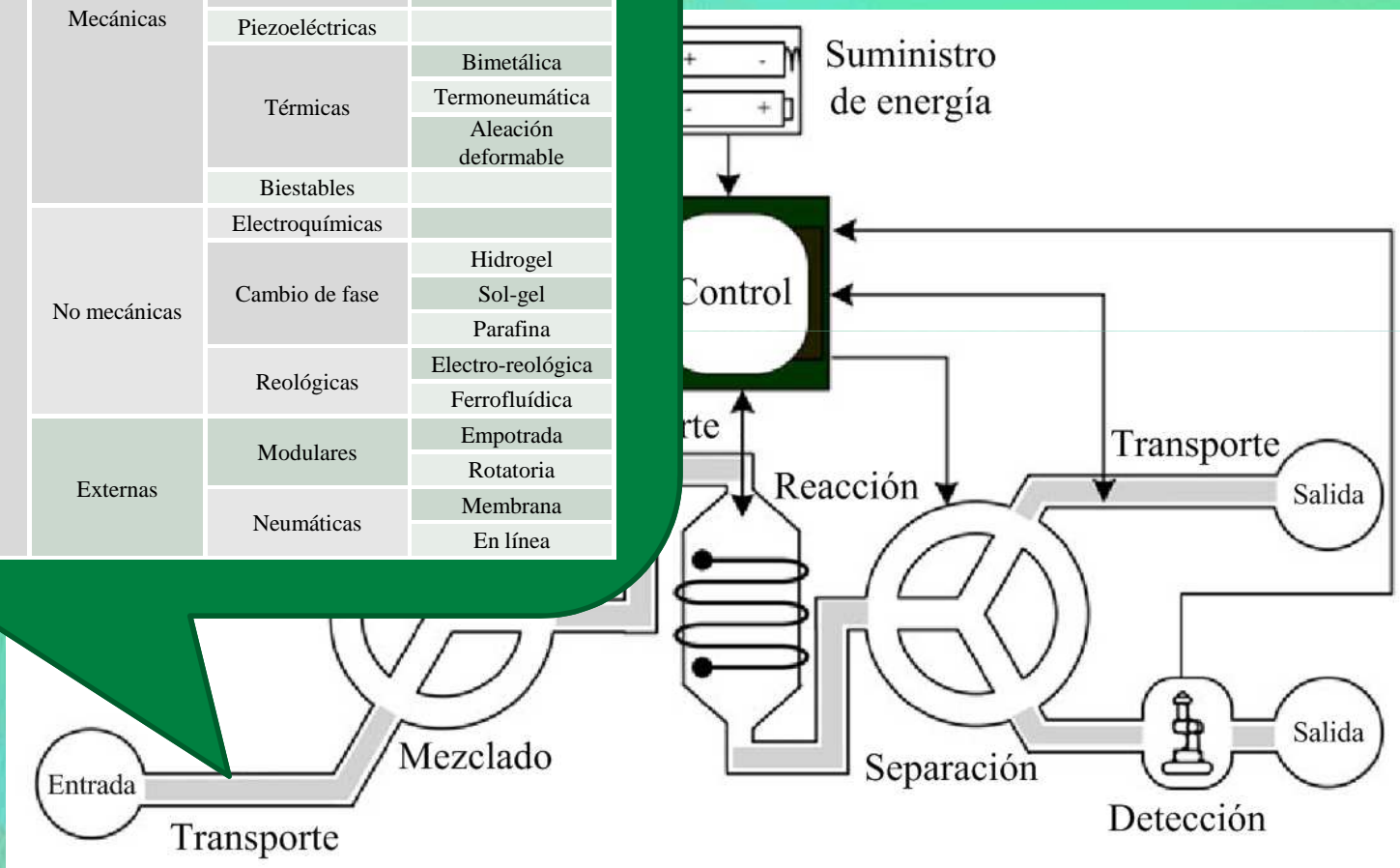
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



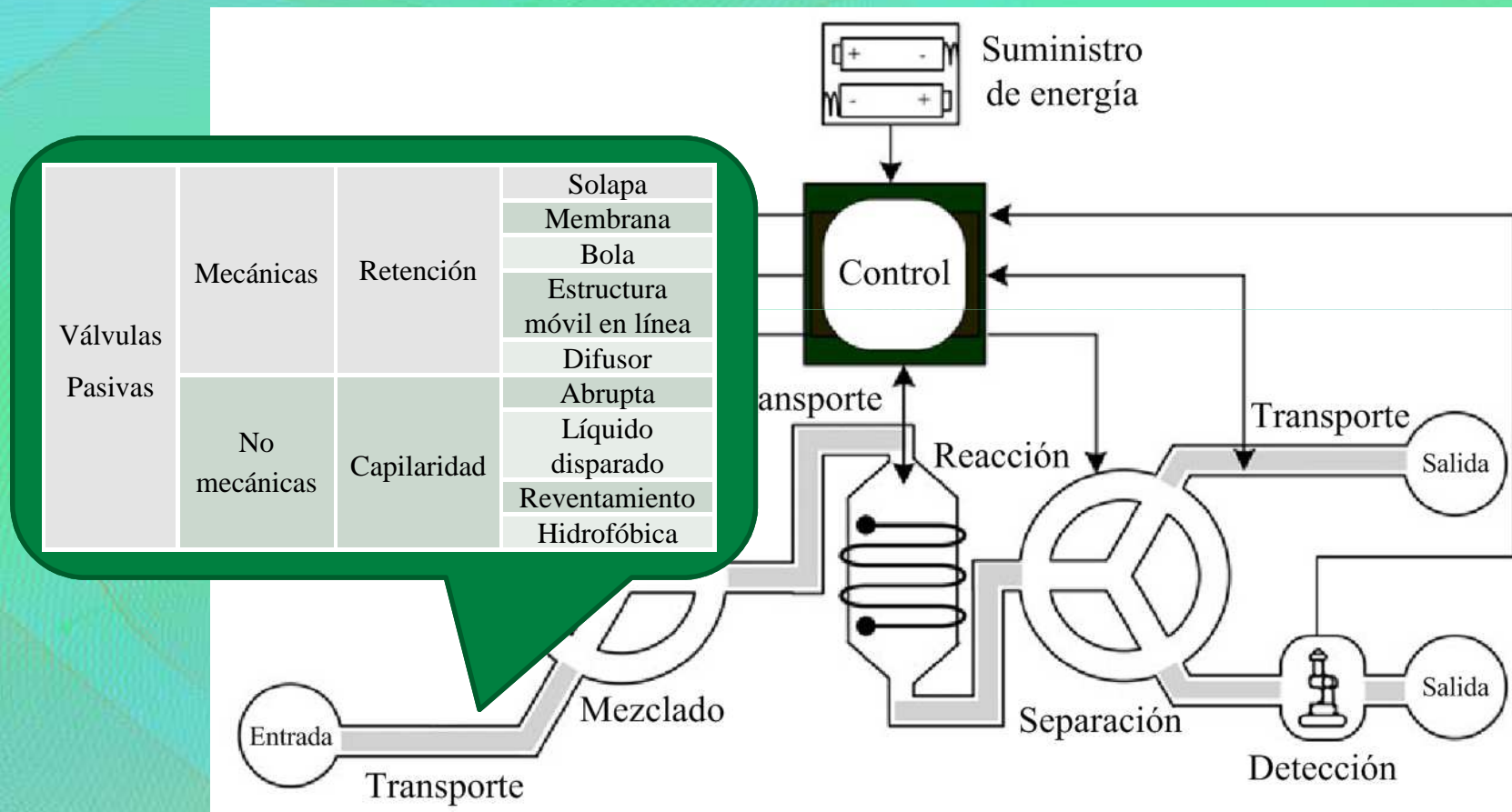
# on-Chip

Válvulas activas	Mecánicas	Magnéticas	Campo magnético externo Inductores magnéticos	
		Eléctricas	Electrostática Electrocinética	
			Piezoeléctricas	
		Térmicas	Bimetálica Termoneumática Aleación deformable	
			Biestables	
			Electroquímicas	
	No mecánicas	Cambio de fase	Hidrogel Sol-gel Parafina	
		Reológicas	Electro-reológica Ferrofluídica	
		Externas	Modulares	Empotrada Rotatoria Membrana
			Neumáticas	En línea



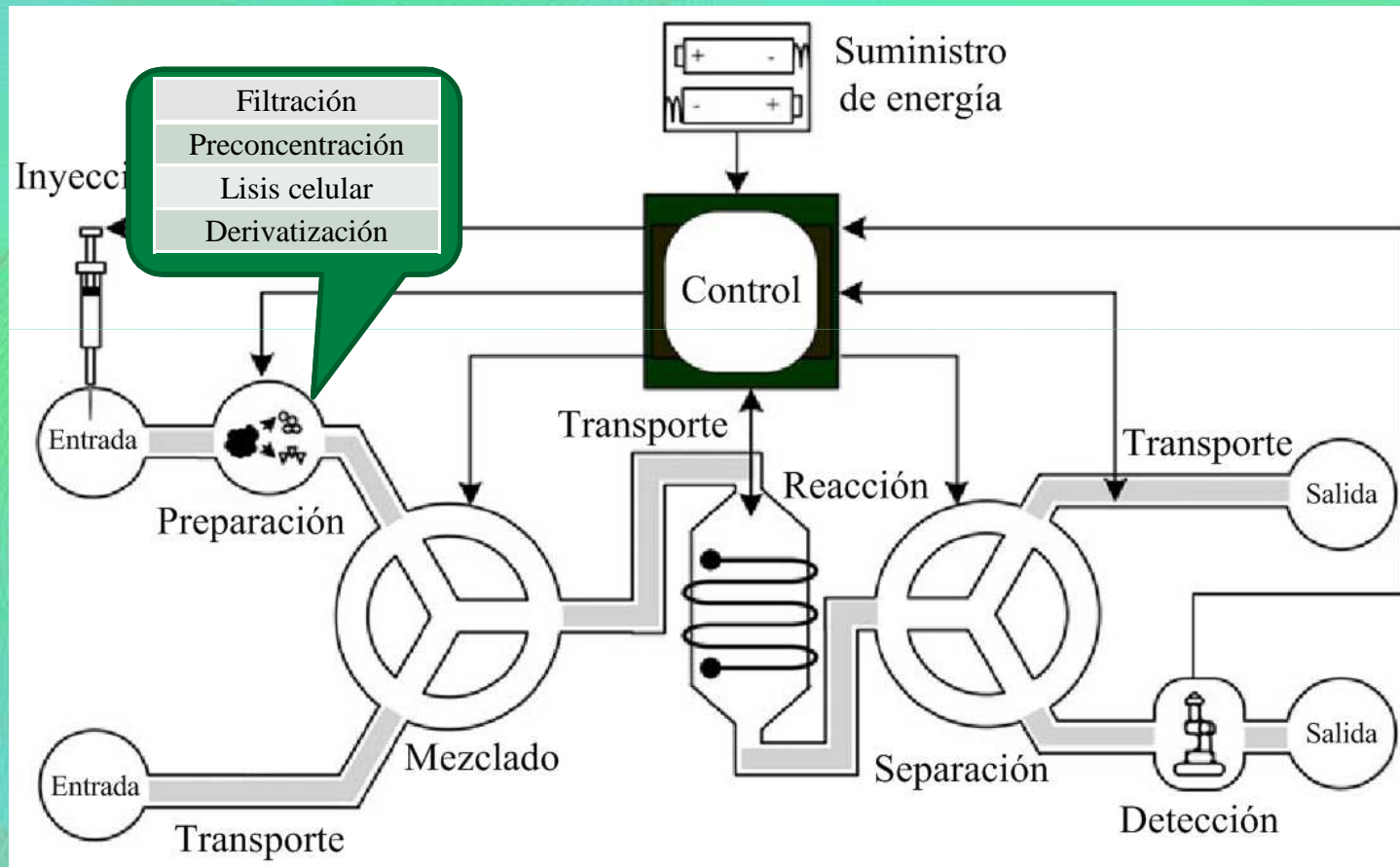
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



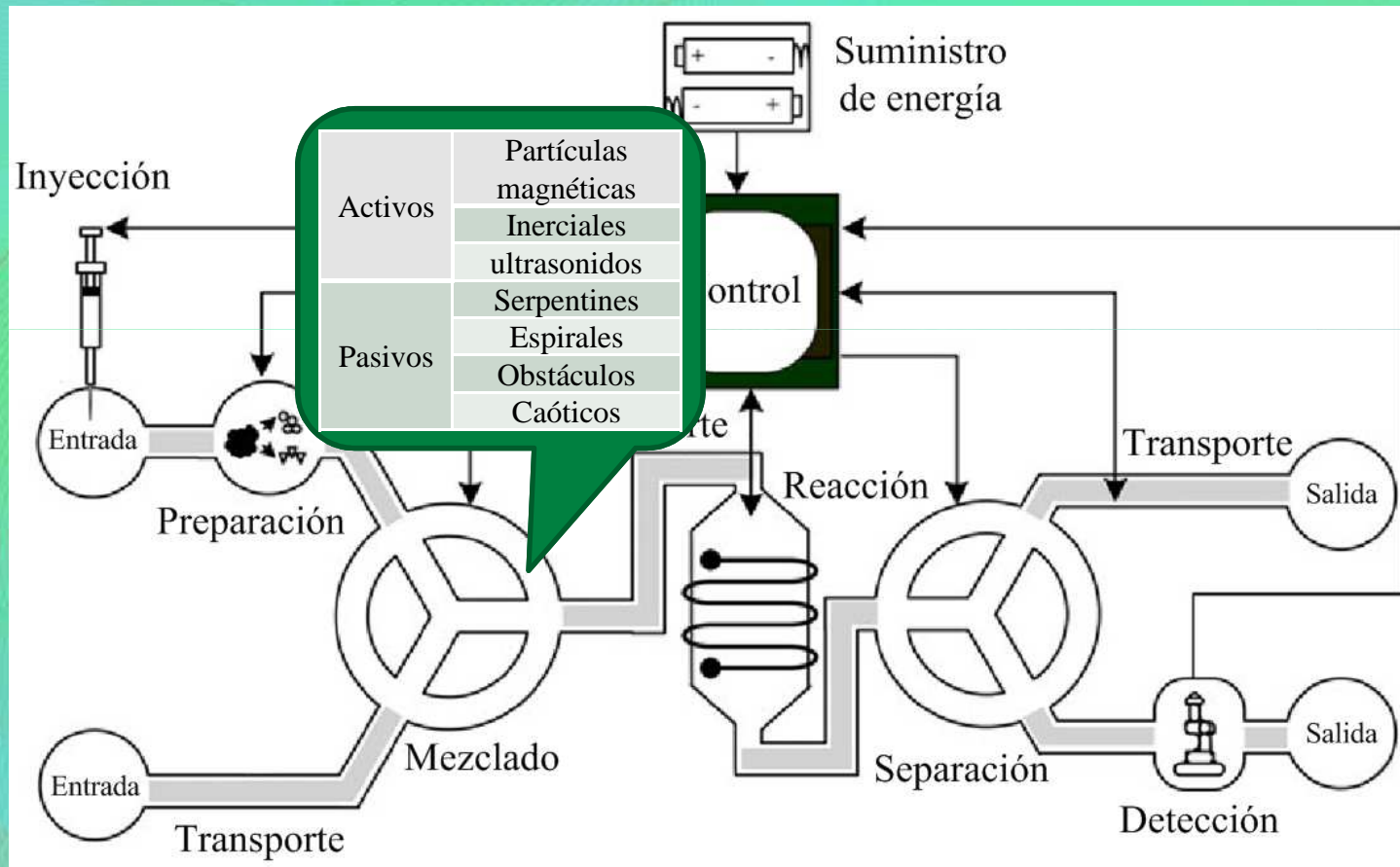
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



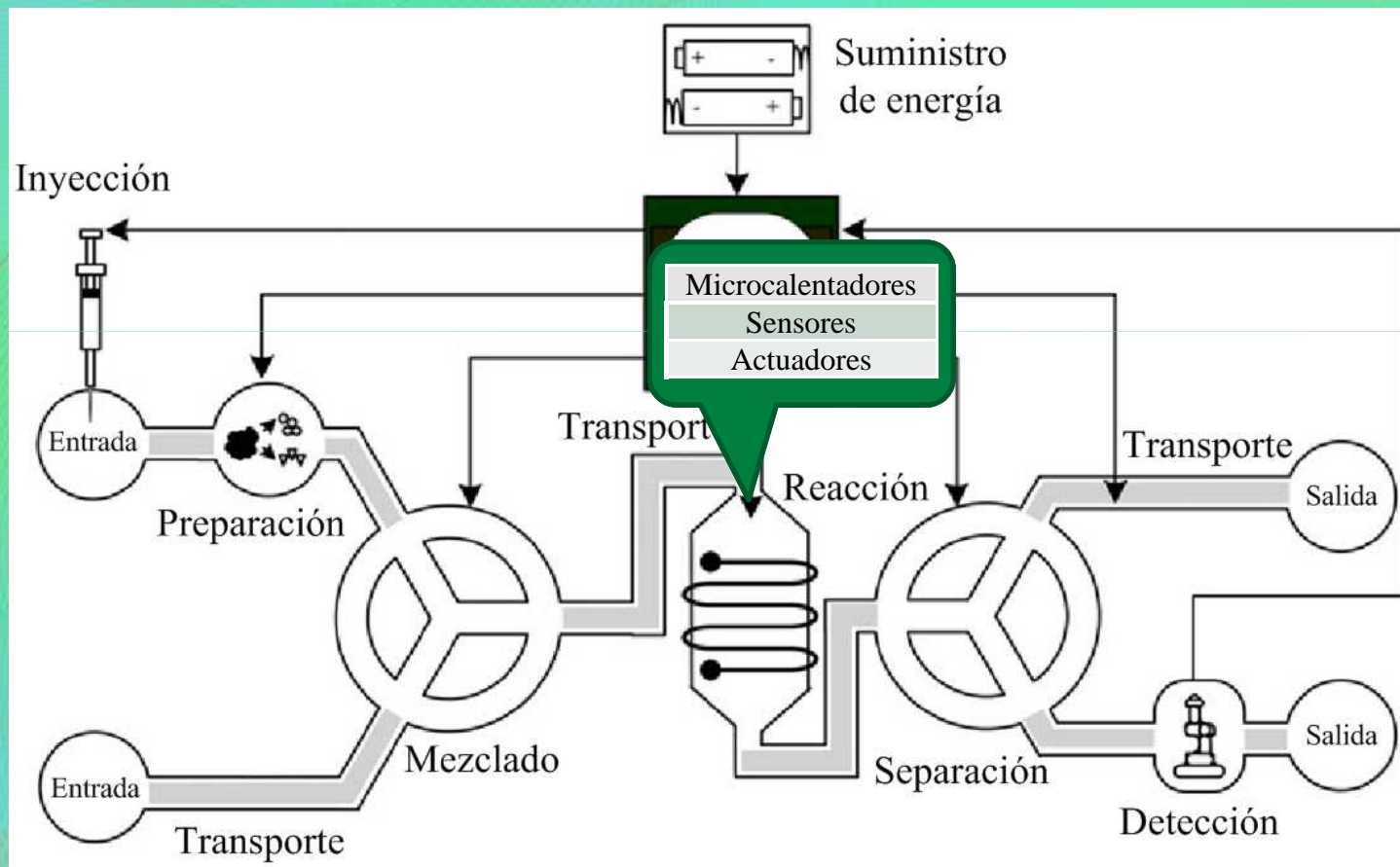
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



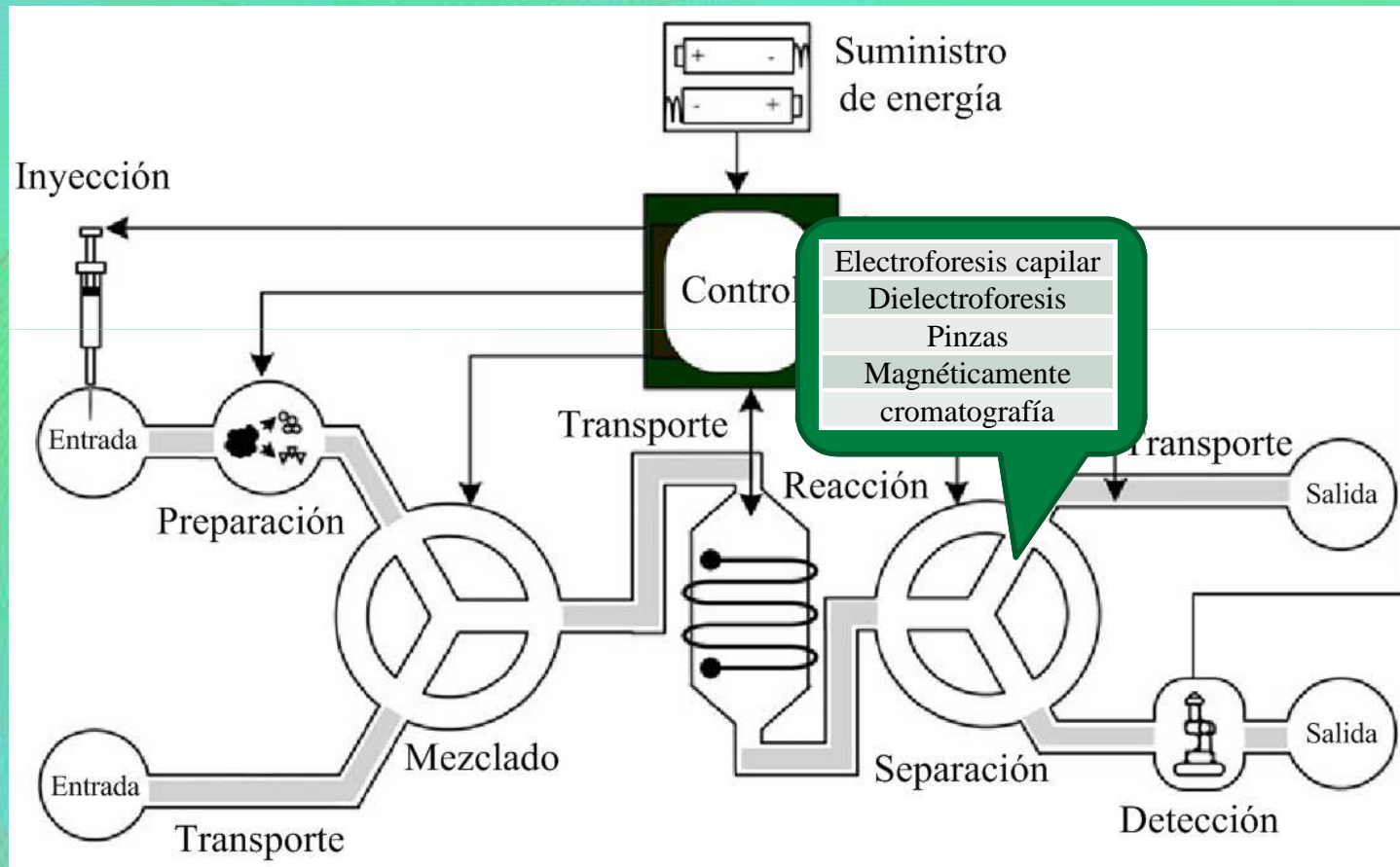
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



# Lab-on-Chip

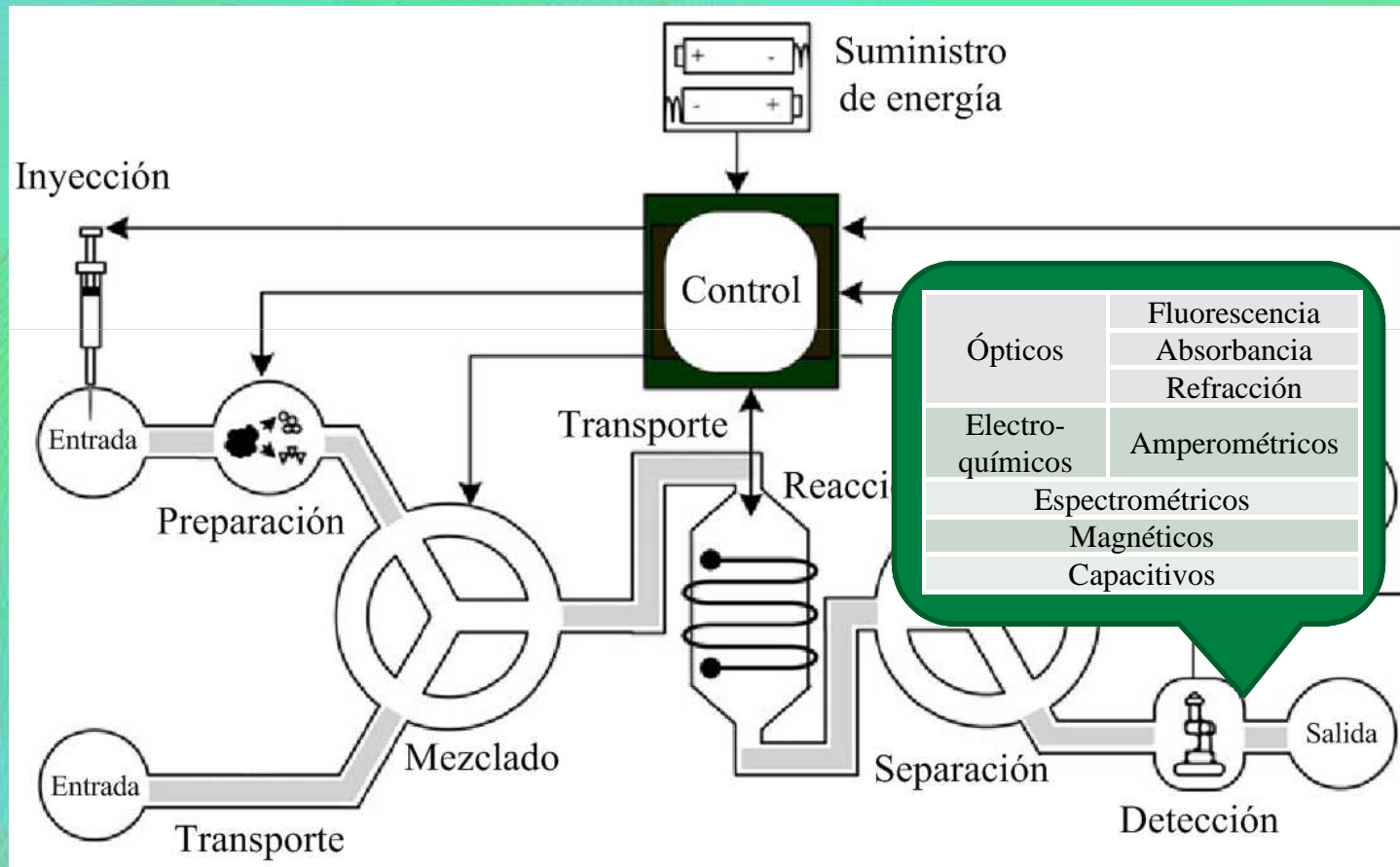
## Esquema general:





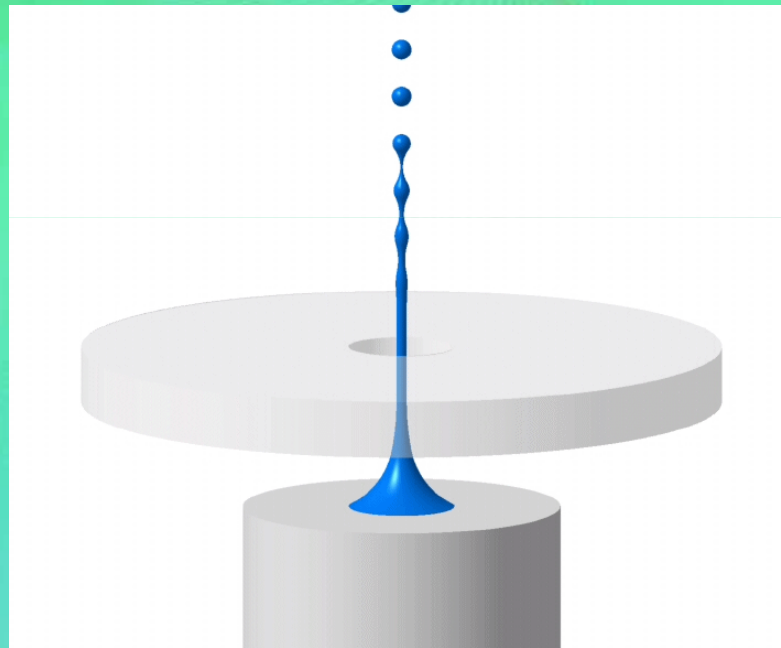
# Lab-on-Chip

## Esquema general:



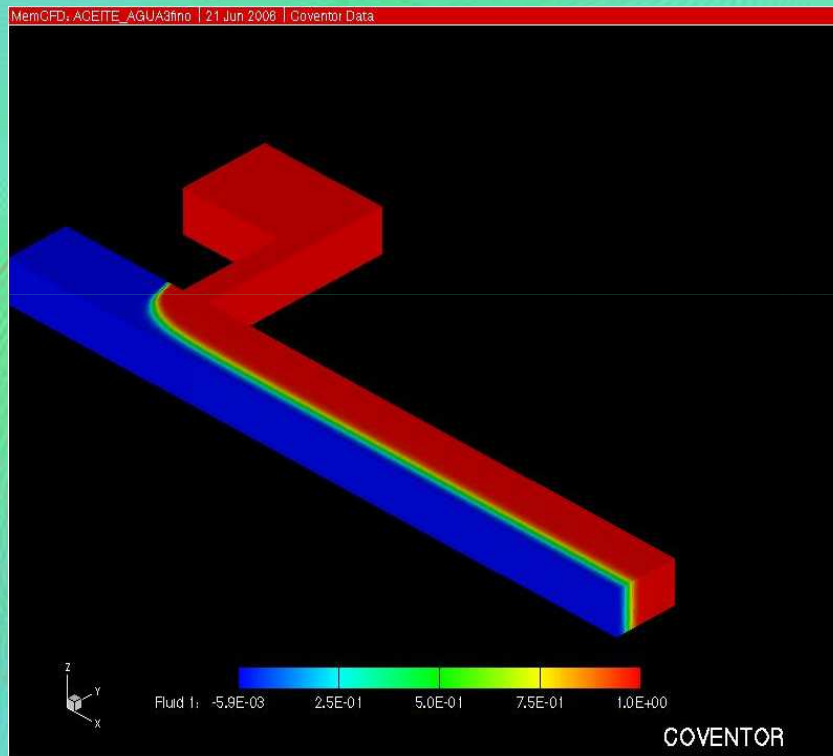
# Nebulizadores

## Esquema general Flow Focussing:



# Nebulizadores

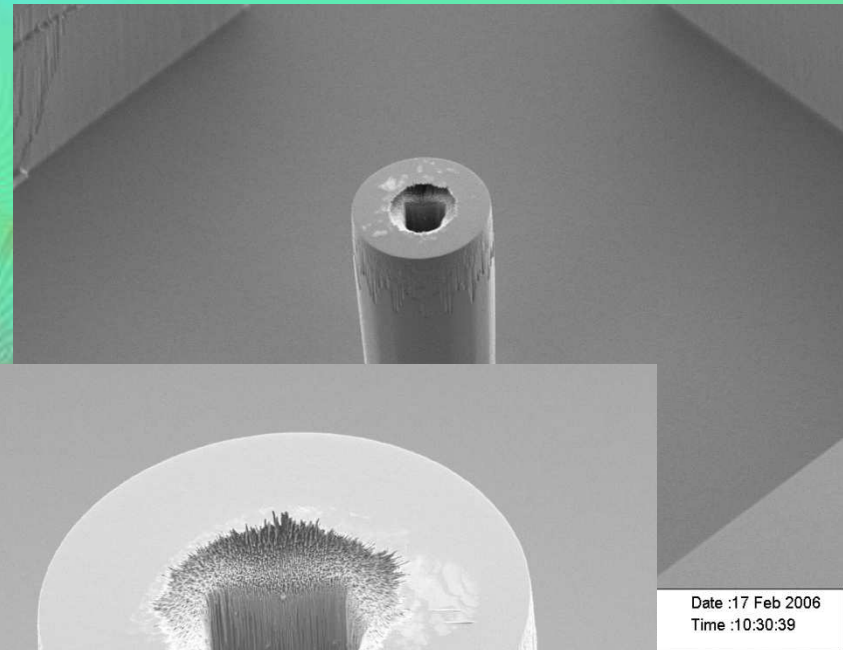
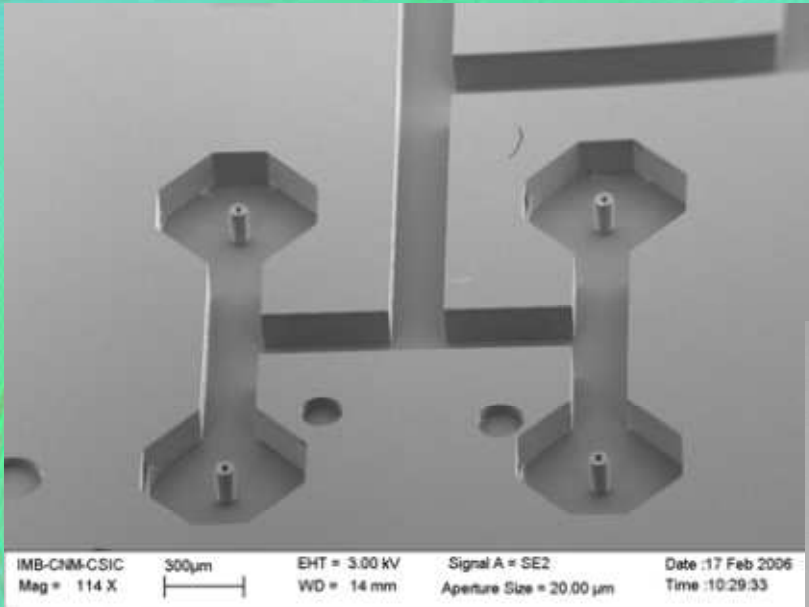
## Simulación en Coventor:



- Microemulsión.
- Agua-aceite.
- Modelo axilsimétrico.

# Nebulizadores

## Fabricación en silicio (CNM):



# Nebulizadores

## Fabricación en silicio (CNM):

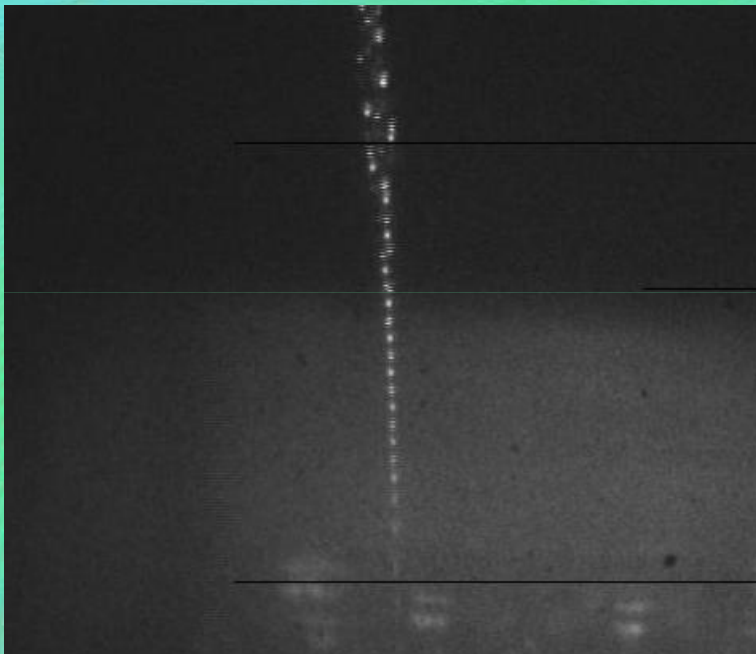
### Chip Flow focusing

- Tamaño total (12 x 12x 1.04 mm), con 64 salidas
- Diámetro salidas = 50  $\mu\text{m}$

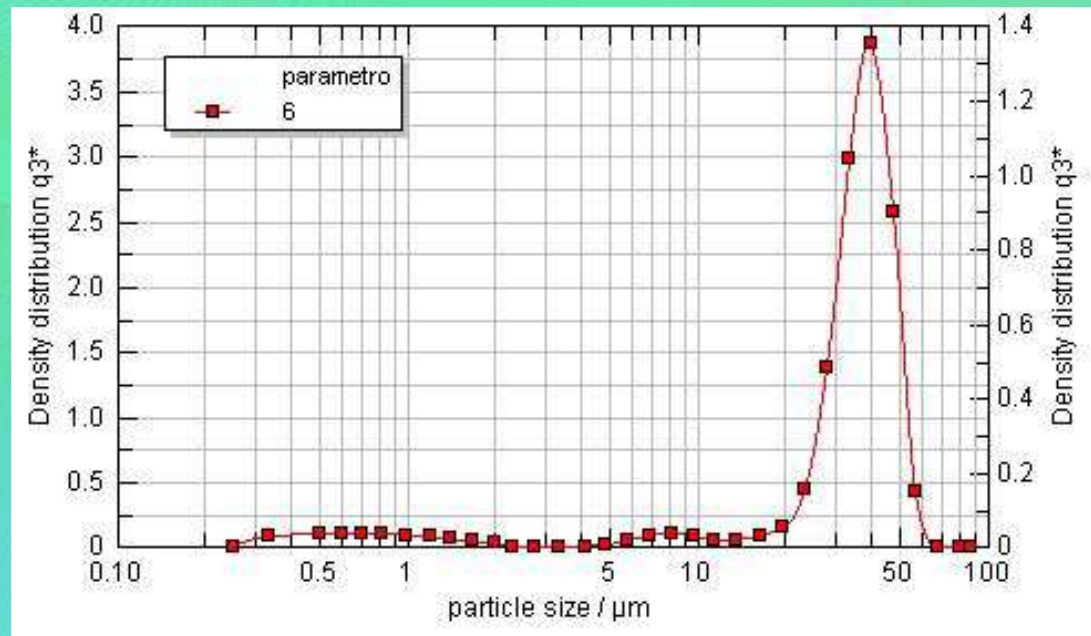


# Nebulizadores

## Caracterización:



Generación de microburbujas

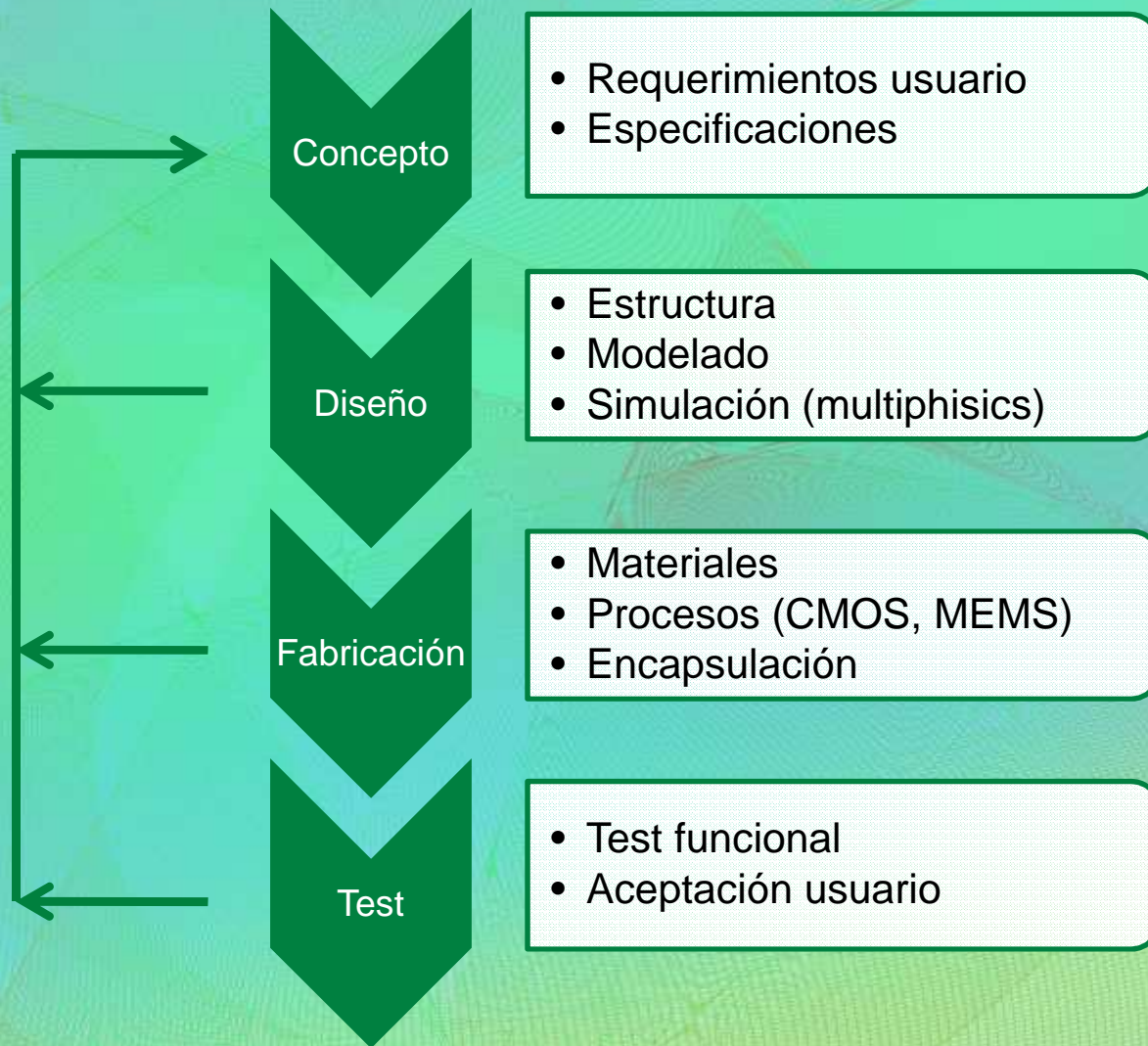


Monodispersión

# Indice

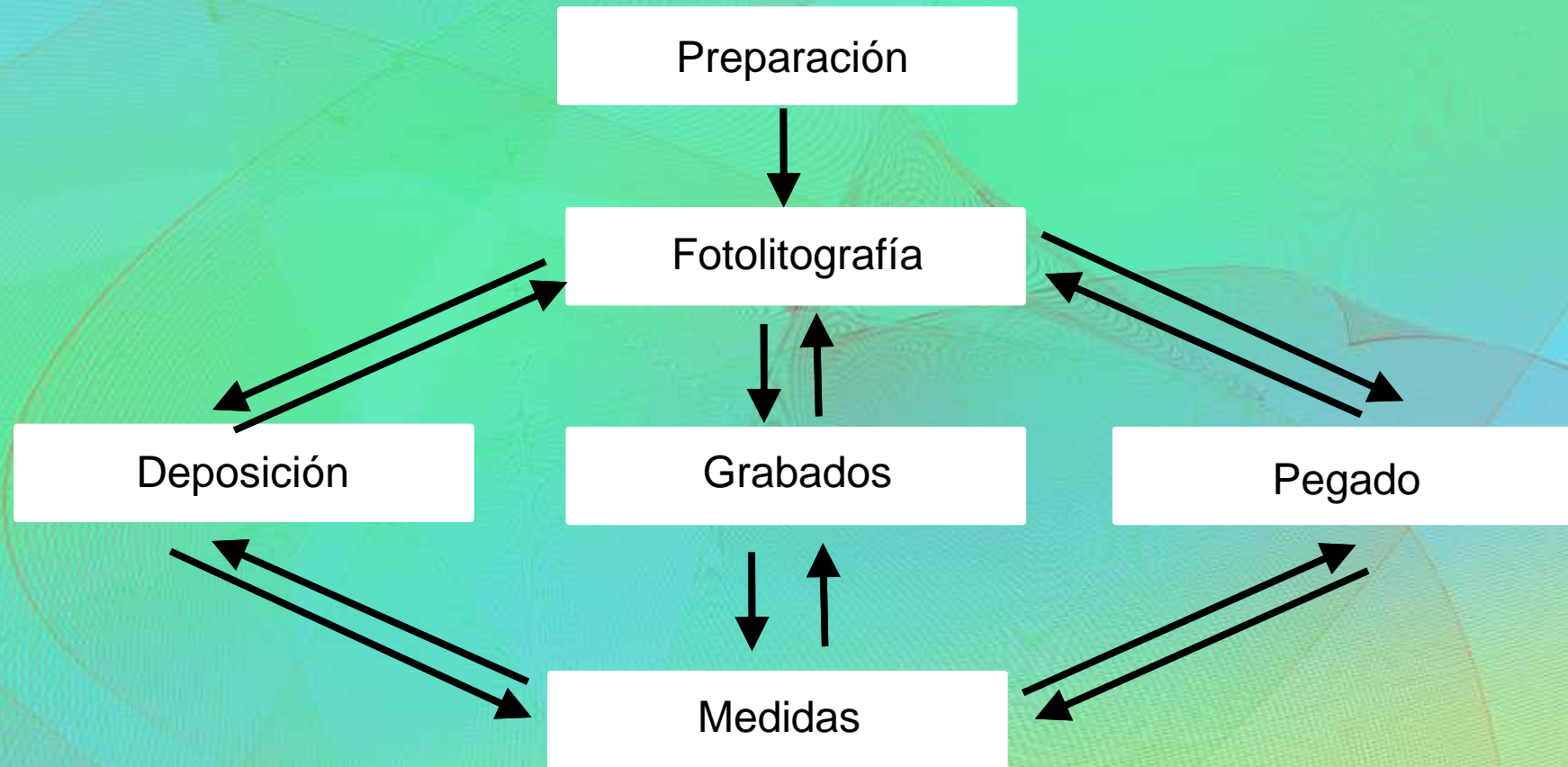
- Motivación.
- Comportamiento de los fluidos a microescala.
- Ejemplos:
  - Lab-on-Chip.
  - Nebulizador.
- Proceso de fabricación.
- Caso práctico: caudalímetro.
- Resumen.

# Procesos

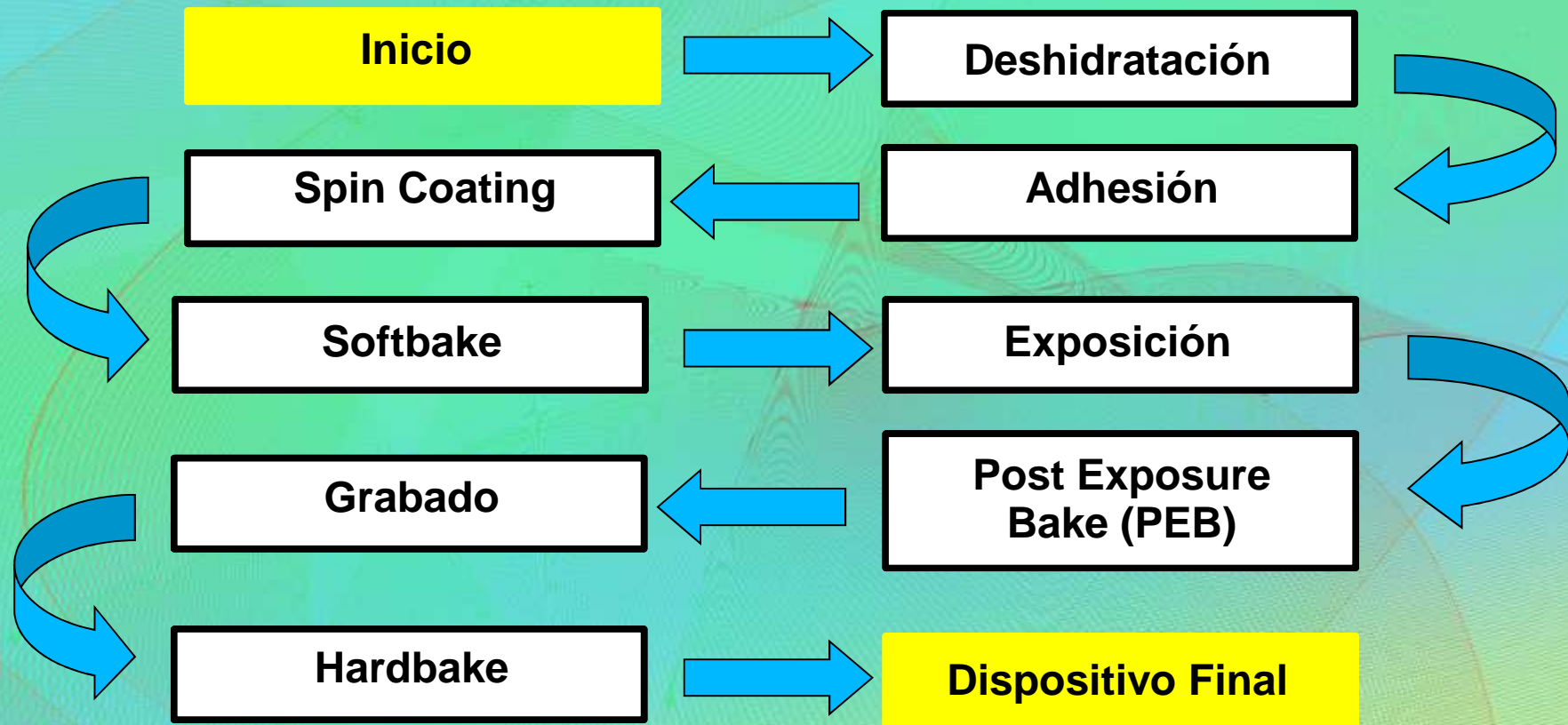




# Procesos



# Proceso con SU8



# Caso Práctico

## Caudalímetro. Concepto:

### Objetivo:

Caudalímetro para medir flujo de líquidos en el rango de decenas de microlitros.

### Criterios de diseño:

- Máximo rango y precisión.
- Fiabilidad.
- Biocompatible.
- Mínimo consumo.
- Electrónica auxiliar reducida.
- Mínimo coste.

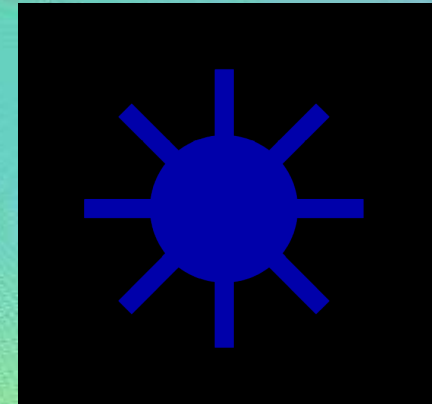


**PCB MEMS**

# Caso Práctico

## Caudalímetro. Principio físico:

- Presión diferencial.
- Tubo Pitot
- Efecto Doppler
- Transferencia de calor.
- Mecánico.



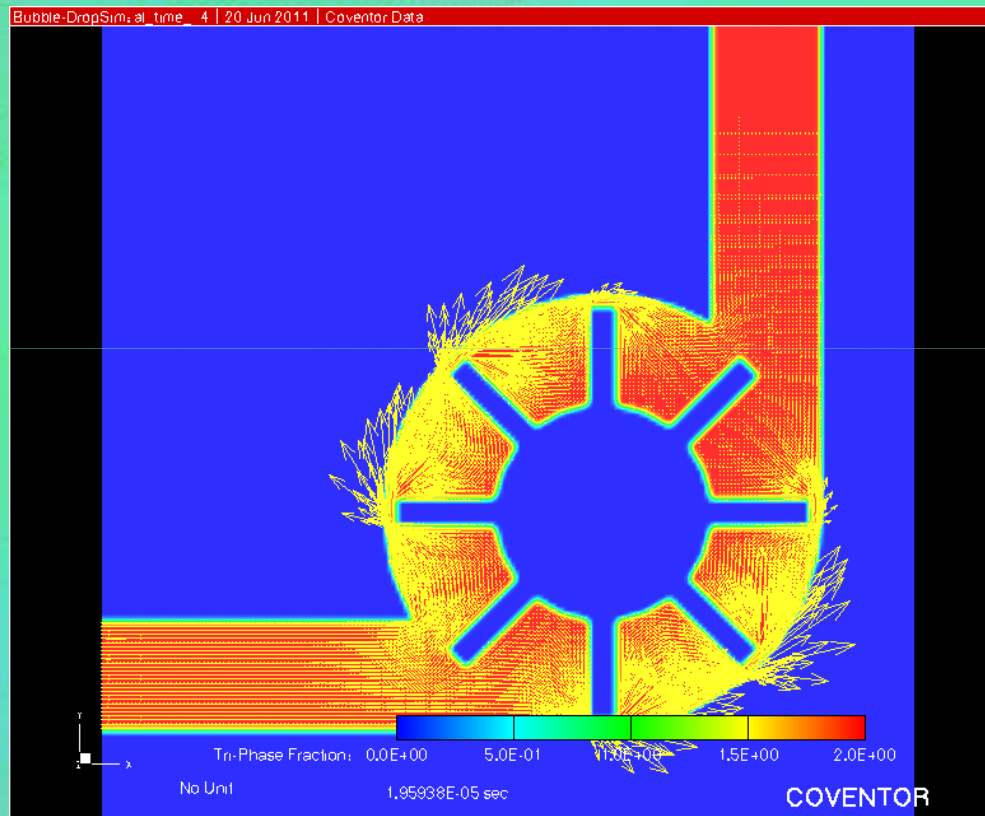
# Caso Práctico

## Caudalímetro. Modelado:

Caudal	Caudal	Altura	Anchura	Radio Medio	Número de	Sección	V lineal	Relación Vol	V lineal	V angular	V angular	Pulsos/s
	(m <sup>3</sup> /s)	canal (m)	canal (m)	Alabe (m)	Alabes	canal (m <sup>2</sup> )	canal (m/s)	rueda/canal	rueda (m/s)	rueda (rad/s)	rueda (rps)	(Hz)
1 nL/s	1,00E-12	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E-06	0,80	3,125E-06	1,042E-03	1,658E-04	1,326E-03
10 nL/s	1,00E-11	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E-05	0,80	3,125E-05	1,042E-02	1,658E-03	1,326E-02
100 nL/s	1,00E-10	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E-04	0,80	3,125E-04	1,042E-01	1,658E-02	1,326E-01
1 uL/s	1,00E-09	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E-03	0,80	3,125E-03	1,042E+00	1,658E-01	1,326E+00
10 uL/s	1,00E-08	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E-02	0,80	3,125E-02	1,042E+01	1,658E+00	1,326E+01
100 uL/s	1,00E-07	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E-01	0,80	3,125E-01	1,042E+02	1,658E+01	1,326E+02
1000 uL/s	1,00E-06	2,00E-04	2,00E-03	3,00E-03	8	4,000E-07	2,500E+00	0,80	3,125E+00	1,042E+03	1,658E+02	1,326E+03

# Caso Práctico

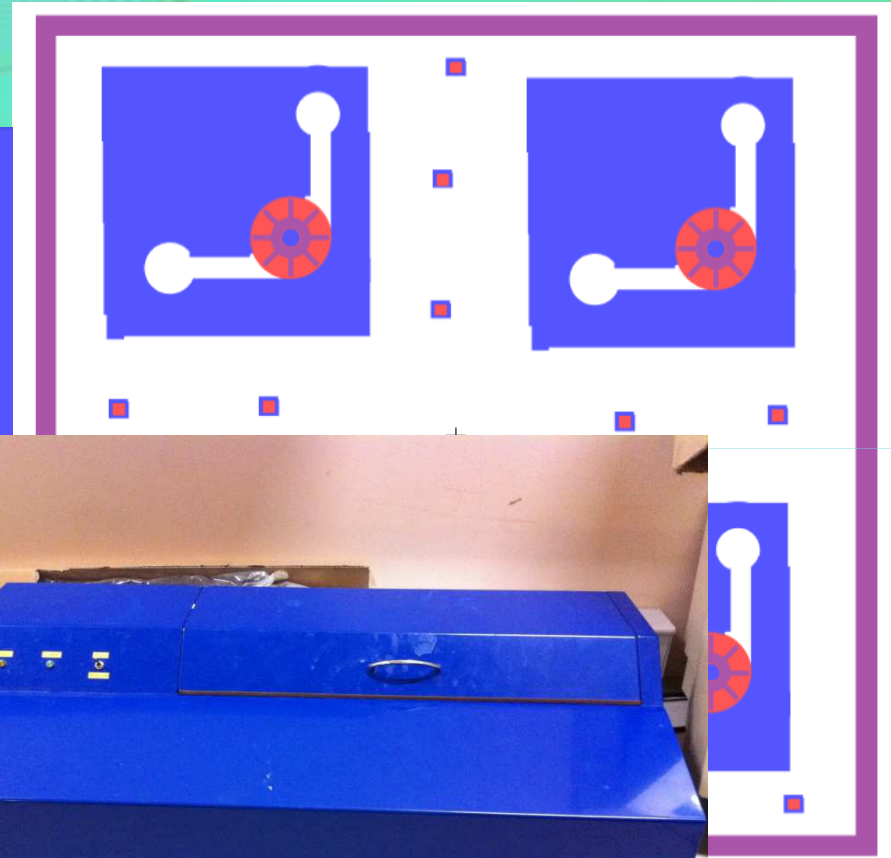
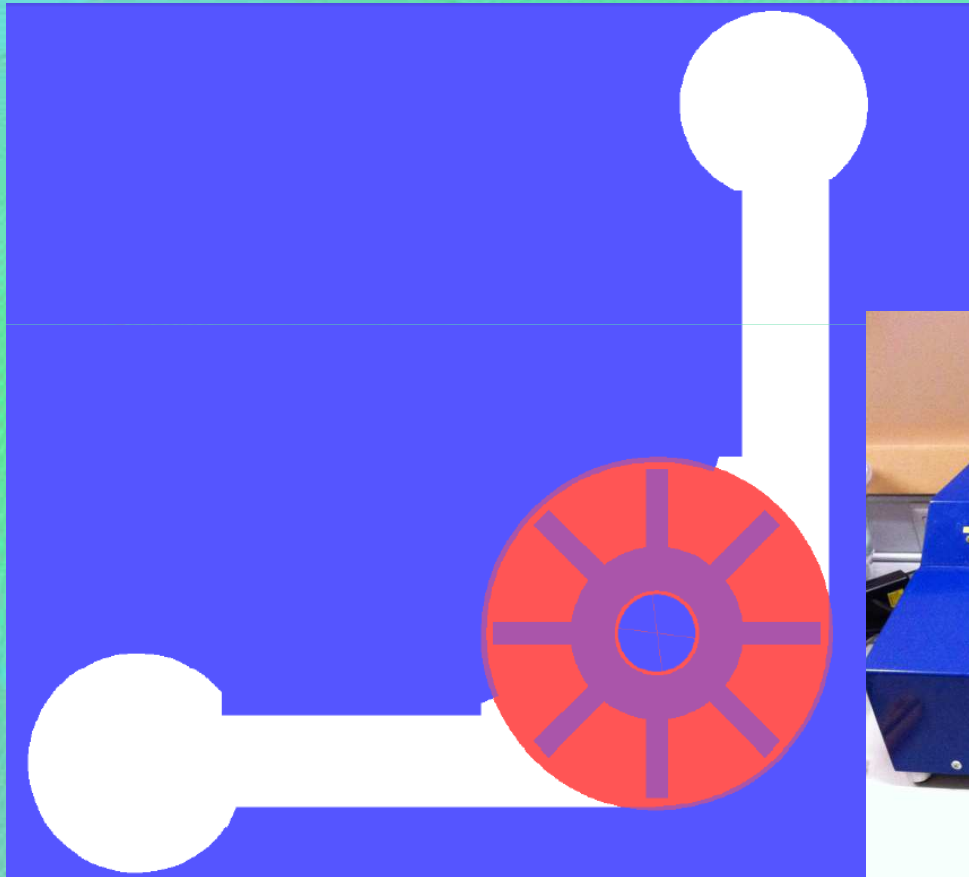
## Caudalímetro. Simulación en Coventor:



Campo de velocidades

# Caso Práctico

Caudalímetro. Máscaras:



# Caso Práctico

## Caudalímetro. Run card (1):

### Medidor de flujo por giro de rueda

Diseñado por: A. Luque

Creado: 28 abril 2011

Sustratos: PCB, Cu 35um 1 cara

Niveles: copper, wheel

Modificado: 10 junio  
2011

#### 1-3: CAPA SACRIFICIO

Paso	Descripción	Equipo	Parámetros	Objetivo	Actual	Observaciones
<b>1 Sustratos</b>						
1,1	Obtención					
1,2	Corte	Sierra		7x7cm2		
<b>2 Fotolitografía PCB</b>						
2,1	Limpieza					
2,2	Exposición UV	Insoladora tubos	2min30s, <b>máscara copper</b>			
2,3	Revelado	Banco húmedo	<4 min			
2,4	Limpieza	Banco húmedo	Agua corriente			
<b>3 Grabado cobre</b>						
3,1	Grabado Cu	Banco húmedo	1:1:2 H2CIO3:H2O2:H2O, 3 min			
3,2	Limpieza	Banco húmedo	Agua corriente			
3,3	Eliminación fotorresina	Banco húmedo	Acetona			



# Caso Práctico

## Caudalímetro. Run card (2):

### 4-6: RUEDA Y CANAL

4-6: RUEDA Y CANAL						
<b>4 Deposición SU8</b>						
4,1	Spin coating SU8	Spin coater	700 rpm, 1 min	100um		
4,2	Soft bake	Hot plate	2min 65°C, 45min 90°C			
4,1	Spin coating SU8	Spin coater	700 rpm, 1 min	200um total		
4,2	Soft bake	Hot plate	2min 65°C, 60min 90°C			
<b>5 Fotolitografía SU8</b>						
5,1	Exposición UV	Alineadora SMA	30s, <b>máscara wheel</b> , alineación misma cara			
5,2	Post Exposure Bake	Hot plate	2min 65°C, 9min 90°C			
<b>6 Revelado SU8</b>						
6,1	Revelado	Banco húmedo	Developer, 7min			
6,2	Limpieza	Banco húmedo	IPA			
6,3	Inspección					

# Caso Práctico

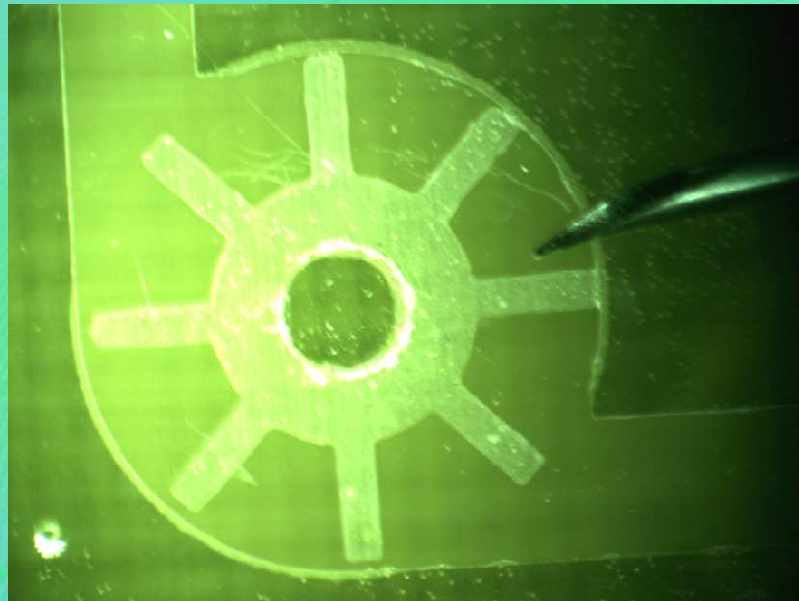
## Caudalímetro. Run card (3):

### 7-9: LIBERACIÓN RUEDA Y TAPADERA

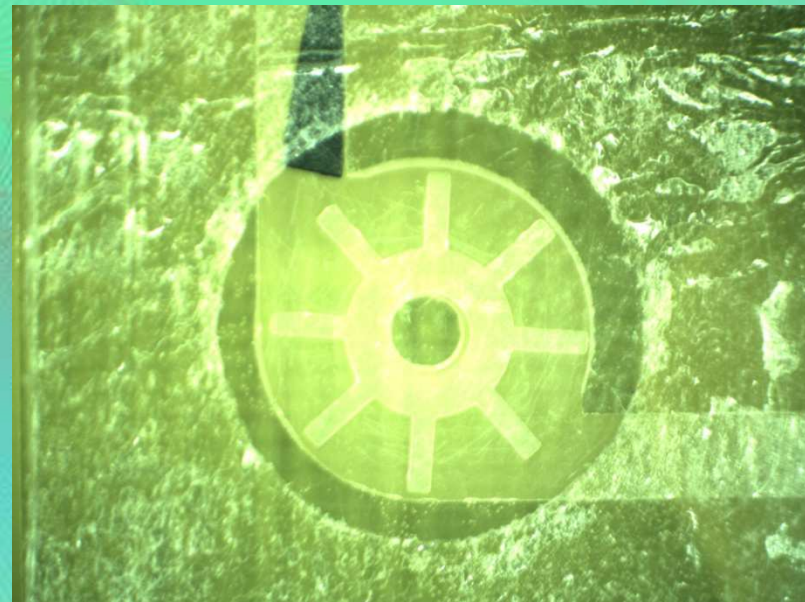
<b>7</b>	<b>Grabado Cu</b>					
7,1	Grabado Cu	Banco húmedo	1:1 H2CIO3:H2O2, 1 min			
7,2	Limpieza	Banco húmedo	Agua corriente			
7,3	Inspección					
<b>8</b>	<b>Tapadera</b>					
8,1	Corte	Sierra	Metacrilato	30x30x4mm3		
8,2	Limpieza		IPA			
8,3	Pegado		Cinta Scotch doble cara			
8,4	Inspección					
<b>9</b>	<b>Orificios entrada y salida</b>					
9,1	Mecanizado	Taladro		∅ 1mm		
9,2	Limpieza		IPA			
9,3	Pegado		Tubo, epoxi rápida	∅ 3mm		

# Caso Práctico

## Caudalímetro. Fabricación:



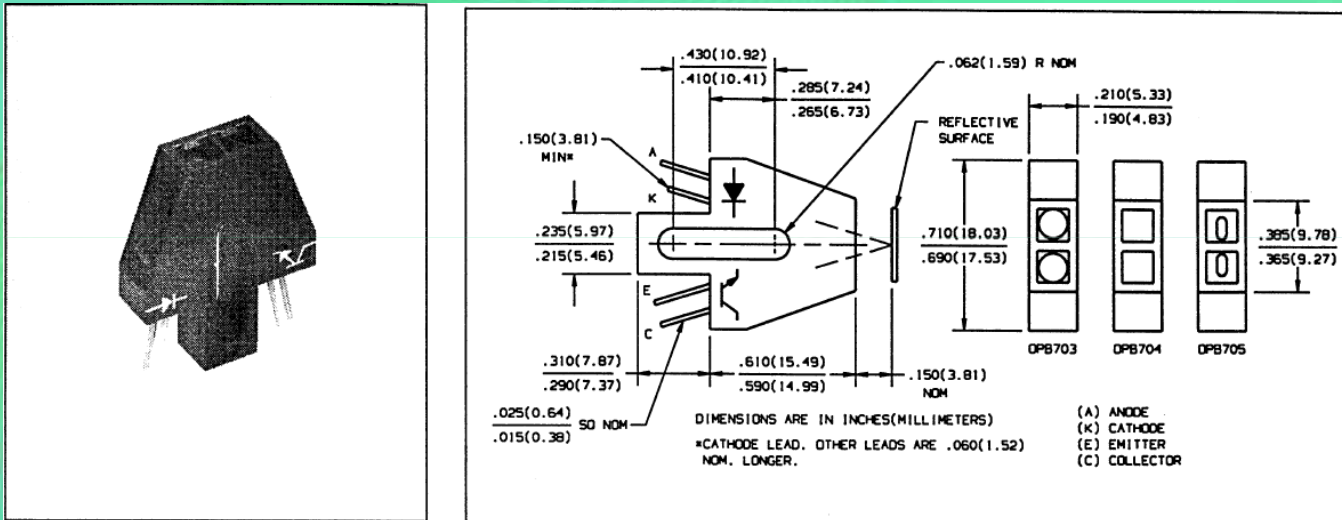
Sin tapadera



Con tapadera

# Caso Práctico

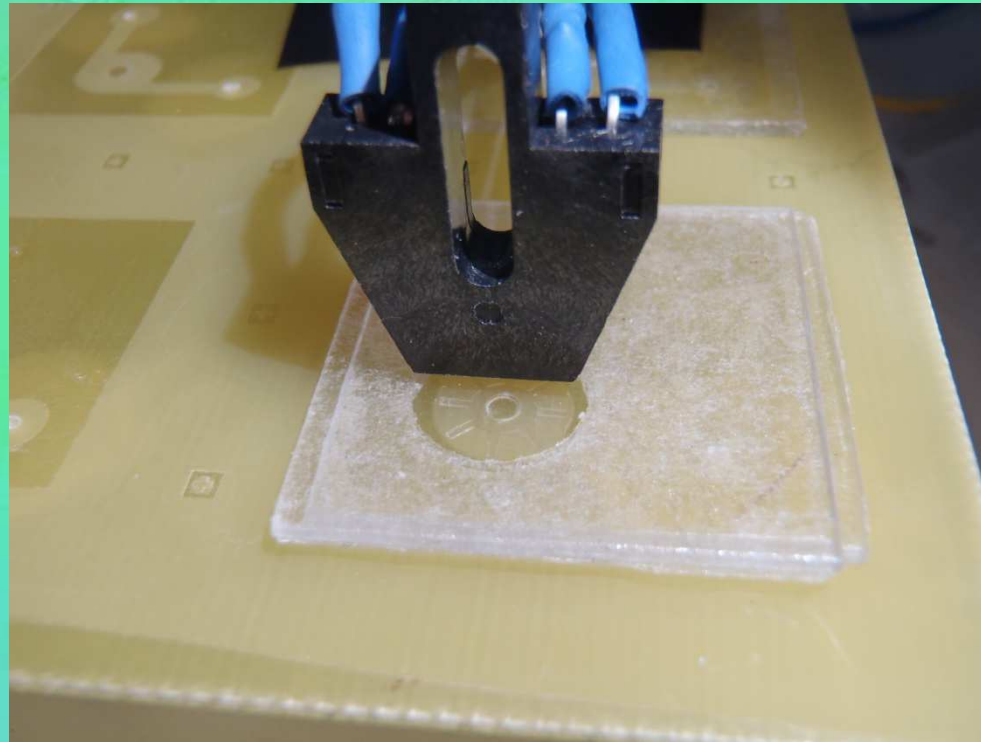
## Caudalímetro. Caracterización:



Electrónica auxiliar: Optoacoplador OPTEK OPB703.

# Caso Práctico

## Caudalímetro. Caracterización:



## Montaje optoacoplador

# Caso Práctico

Caudalímetro. Caracterización:

**PERO EL DISEÑO ACTUAL NO FUNCIONA**

¿Por qué?

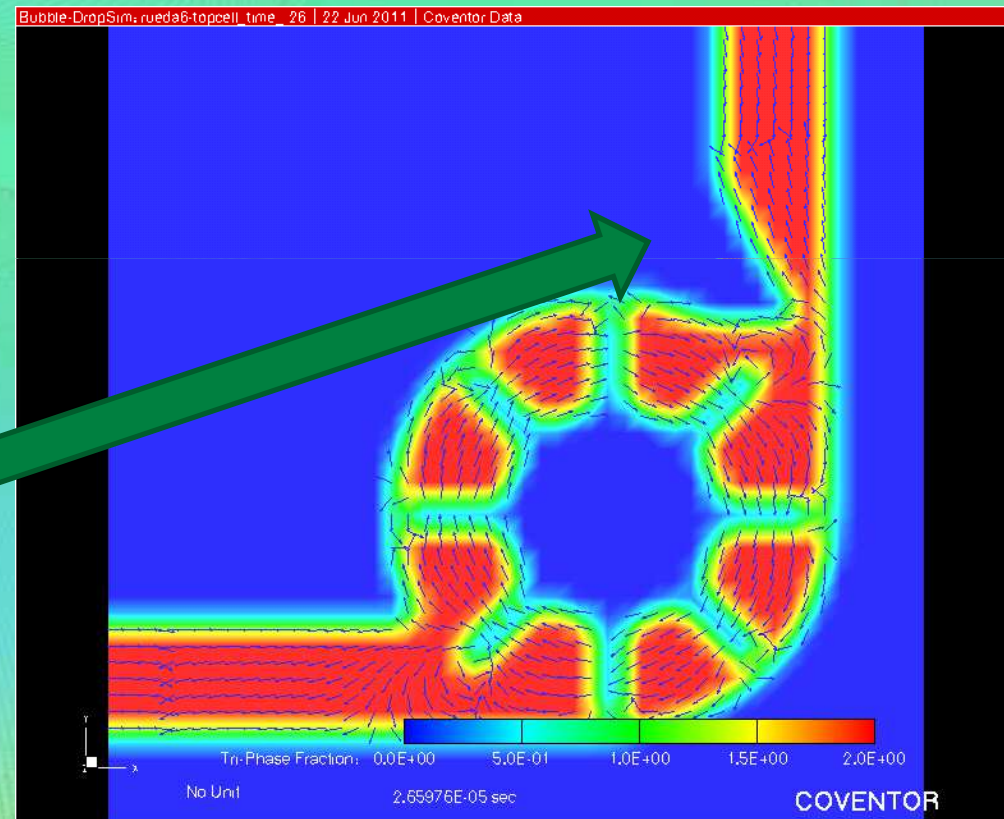
Simetría del campo de presiones.

Ecuación de Bernouilli:

$$\frac{\rho v^2}{2} + P + \rho g z = cte.$$

Solución:

Modificar el campo de velocidades de entrada.

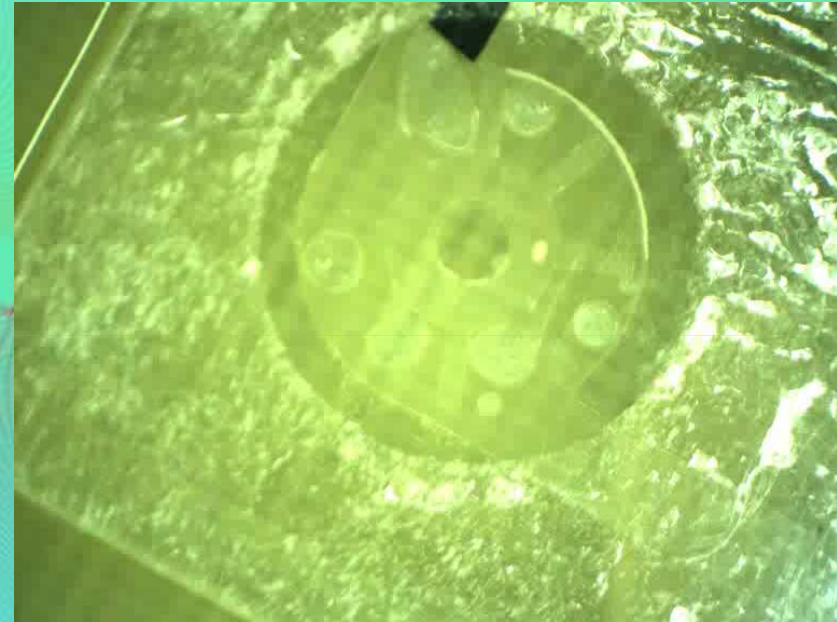


# Caso Práctico

## Caudalímetro. Caracterización:



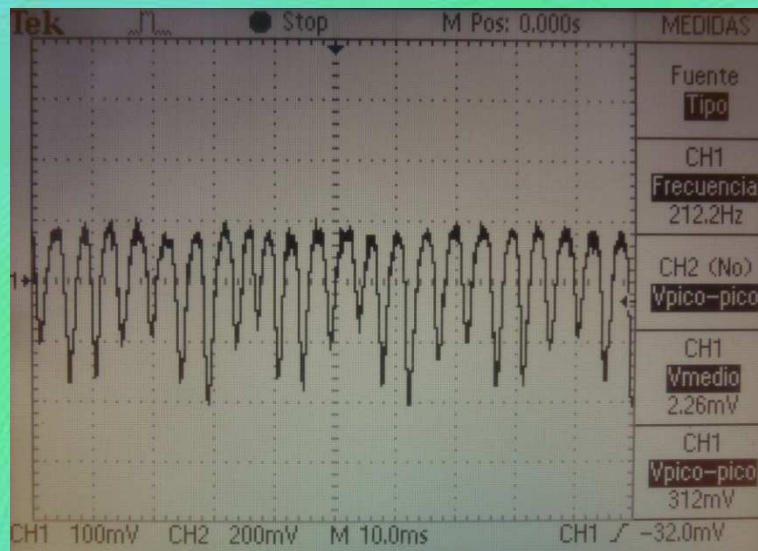
Comportamiento con aire



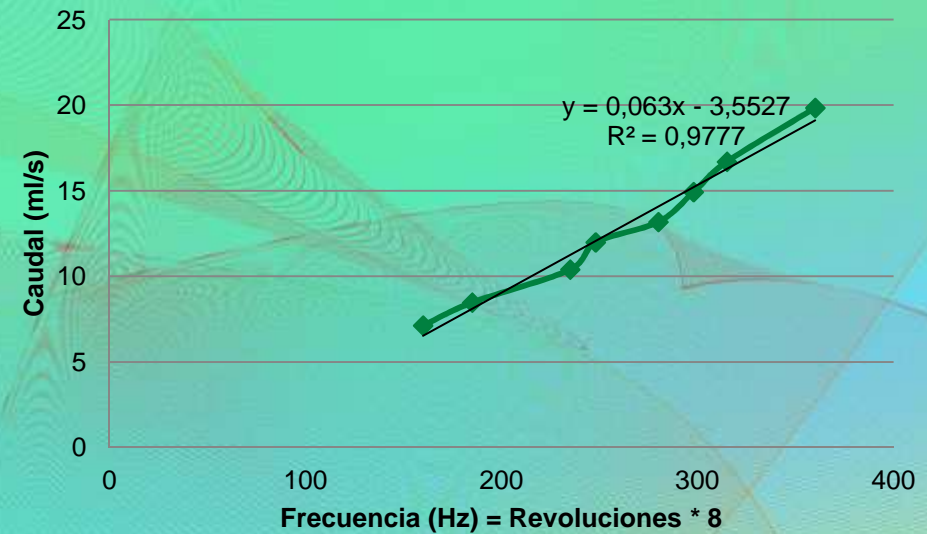
Comportamiento con agua

# Caso Práctico

## Caudalímetro. Caracterización (aire):



Pulsos generados por los álabes



Característica Frecuencia/Caudal



# Indice

- Motivación.
- Comportamiento de los fluidos a microescala.
- Ejemplos:
  - Lab-on-Chip.
  - Nebulizador.
- Proceso de fabricación.
- Caso práctico: caudalímetro.
- Resumen.

# Resumen

## Conclusiones

- Tecnología en desarrollo con un futuro prometedor.
- Campos de aplicación diverso (análisis, reactores, nebulización...)
- Aplicación en análisis químico y biológico con fuerte valor añadido.

## Futuros desarrollos:

- Nanotecnología.
- Aplicaciones biológicas y médicas.
- Nuevas aplicaciones.
- Integración (interfaces, modularidad, 3D)
- Estandarización

# Bibliografía

- G. M. Whitesides. **What Comes Next?**. Lab on a Chip. Pag. 191–193. 2011.
- Y. C. Lim • A. Z. Kouzani • W. Duan, **Lab-on-a-chip: a component view**, Microsyst Technol Pag. 1995–2015. 2010.
- P Abgrall and A-M Gué. **Lab-on-chip technologies: making a microfluidic network and coupling it into a complete microsystem**. J. Micromech. Microeng. pag. R15–R49, 2007
- C. Aracil, F. Perdigones, J. M. Moreno, J. M. Quero. **BETTS: Bonding, exposing and transferring technique in SU-8 for microsystems fabrication**. J. Micromech. Microeng. Pag.1-7. 2010

Esta presentación:

ftp resa21.us.es

username: IBERNAM

Password: CursoTarragona

fichero: Microfluidica.pdf