



Academia  
de Ingeniería  
México

# Comisión de Especialidad de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica (CEICE - AI)

## Seminario sobre las Telecomunicaciones y la Electrónica en la Medicina



## Diseño y Construcción de BioMEMS con Tecnología mexicana en Aplicaciones Médicas.

**DRA. ELSA CHAVIRA MARTÍNEZ**

PROFESORA INVESTIGADORA,

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN,

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

[elsachavira56@hotmail.com](mailto:elsachavira56@hotmail.com)



---

# ÍNDICE

- ¿Qué son los BioMEMS?
- Objetivo para el desarrollo de BioMEMS
- ¿Qué se hace en México?
- Materia prima para la construcción de BioMEMS.
  - Fabricación de obleas de Silicio en México
- Diseño, desarrollo y construcción de BioMEMS con tecnológicos con tecnología mexicana.



---

# BioMEMS

- Biochemical or Biological Micro-Electro Mechanical Systems.
- Sistema Micro Electro Mecánico Bioquímico, Biológico.

- Los **BioMEMS** están considerados como una de las áreas de desarrollo más prometedoras del siglo XXI, y se afirma que están revolucionando diversas áreas del conocimiento entre las que se encuentra la *medicina*.
- En el desarrollo de estas tecnologías se ha acuñado el término MEMS (Micro - Electro Mechanical Systems) para expresar la conjunción de diferentes disciplinas dentro de un mismo dispositivo.

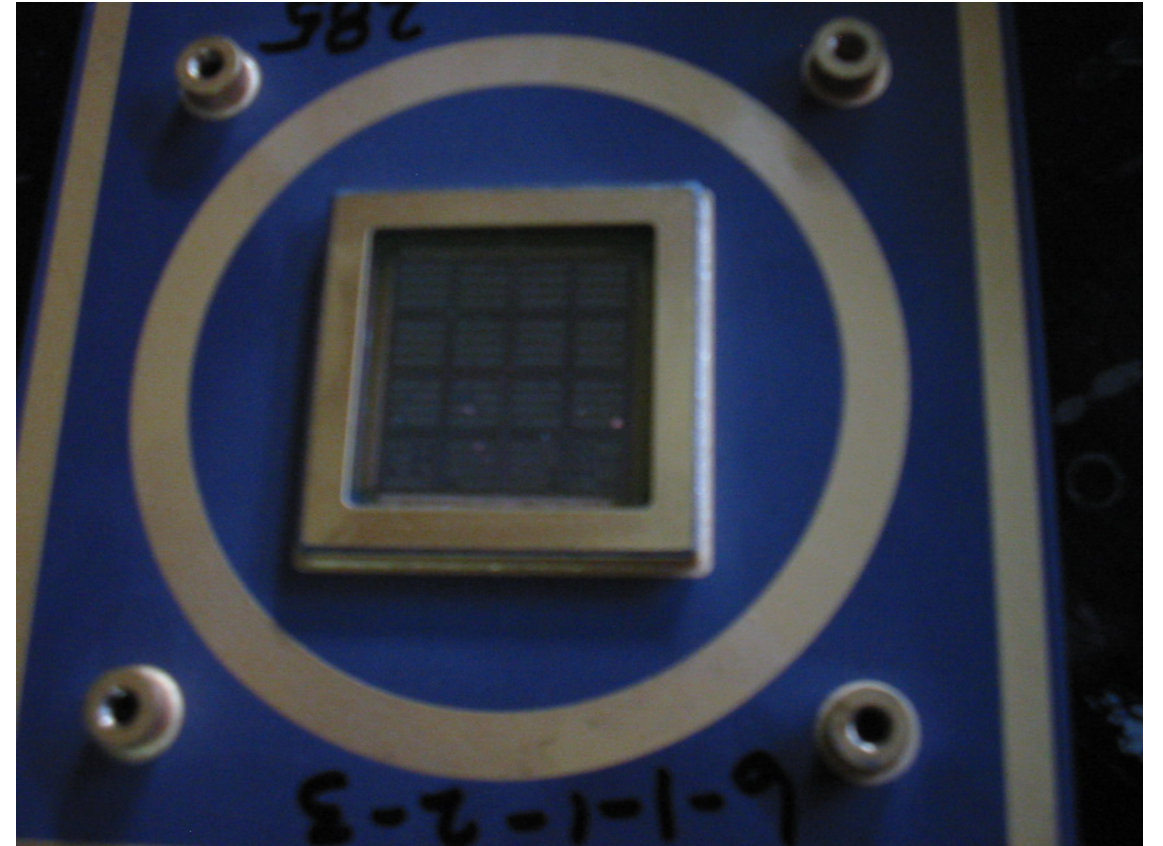
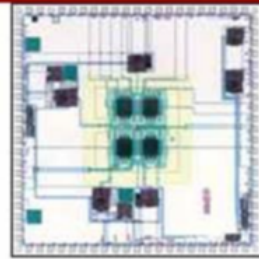
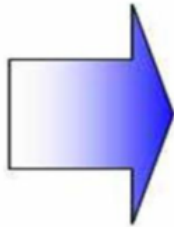
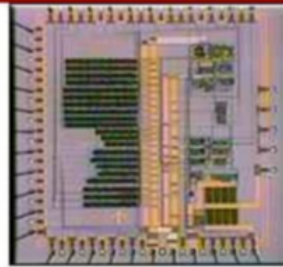




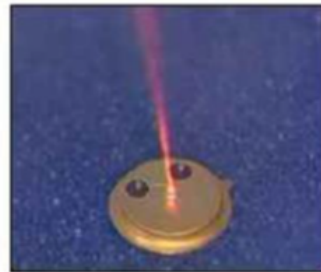
Imagen Sandia National Laboratories.



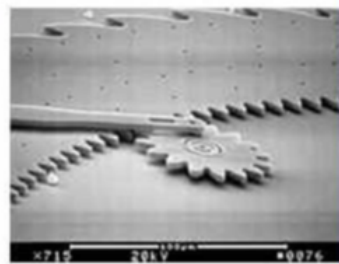
Sensores



Procesador



Comunicación

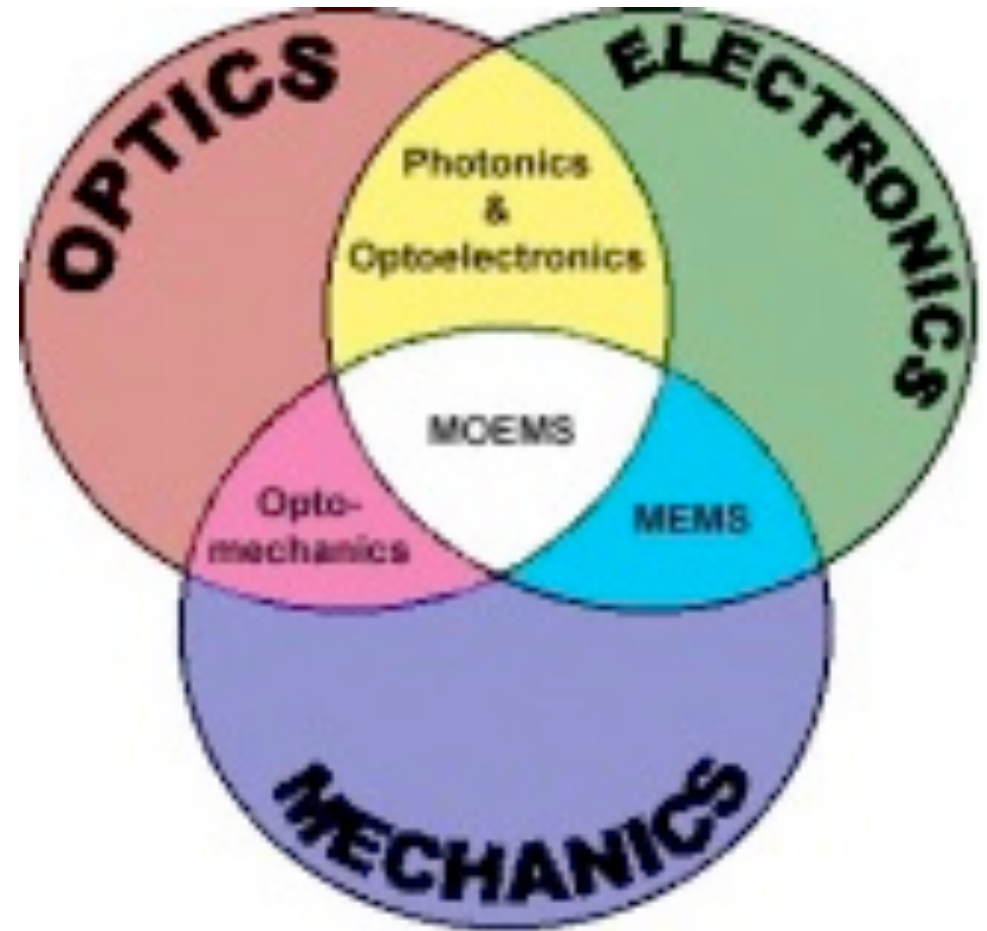


Actuador

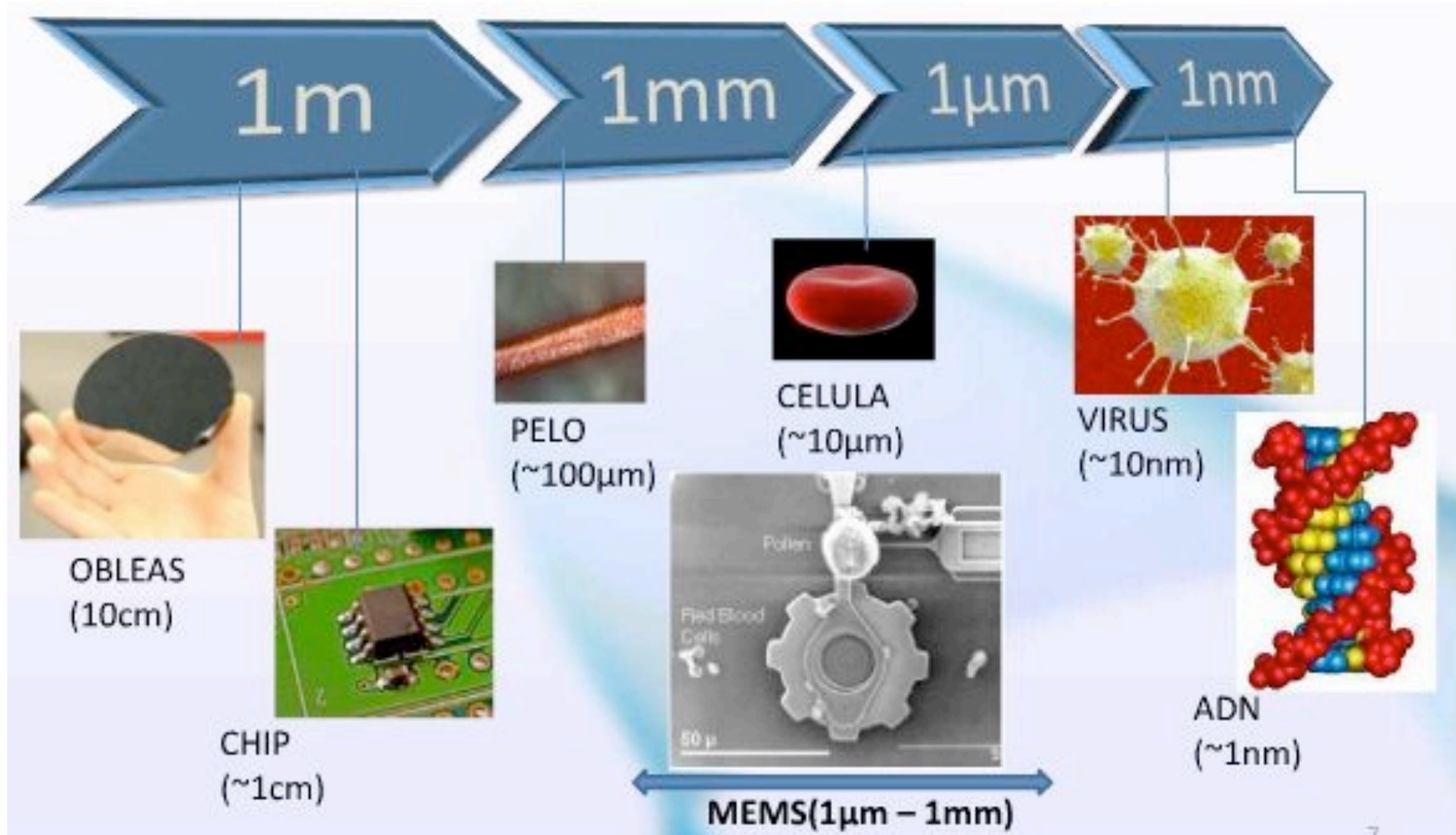
- Se puede conjugar la electrónica tradicional con sensores, válvulas, engranes, espejos, motores, etc., e integrar todos estos elementos en un mismo *chip* que tiene el *silicio* como substrato.

## MICRO SYSTEM TECHNOLOGY, MST

- Los MEMS también se conoce como MST, estrictamente hablando es una tecnología de procesos utilizada para crear estos pequeños dispositivos o sistemas mecánicos que dan como resultado el subconjunto del conjunto MST.
- Micro-OptoElectroMechanical Systems (MOEMS)

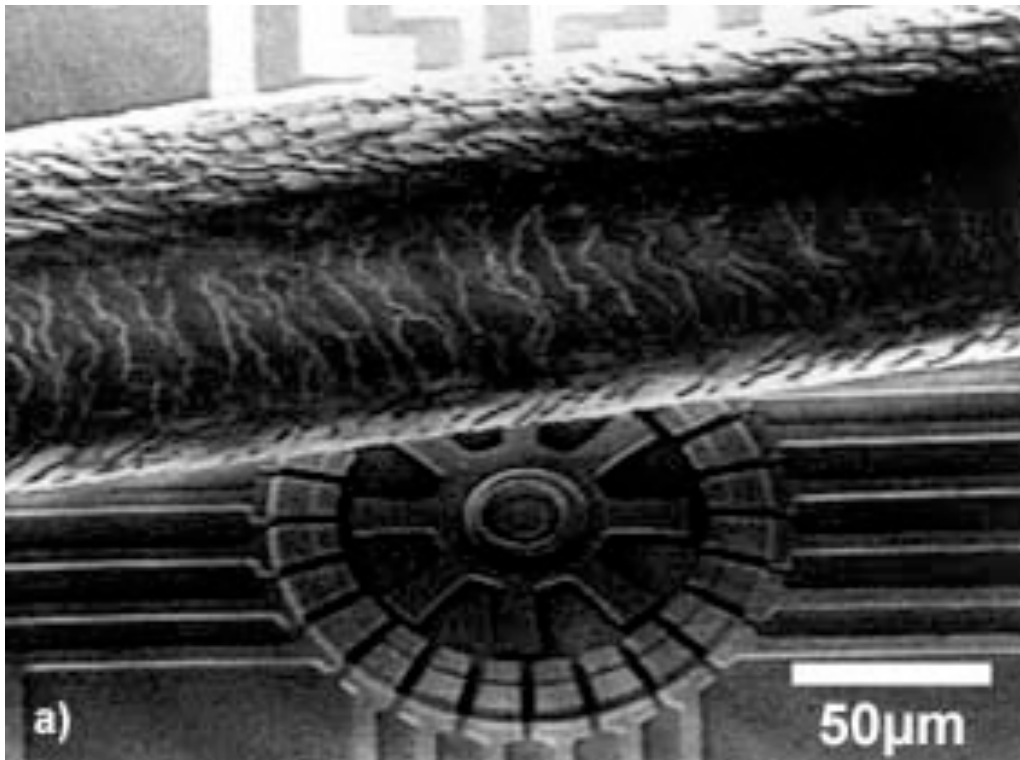


# Tamaño de un MEMS

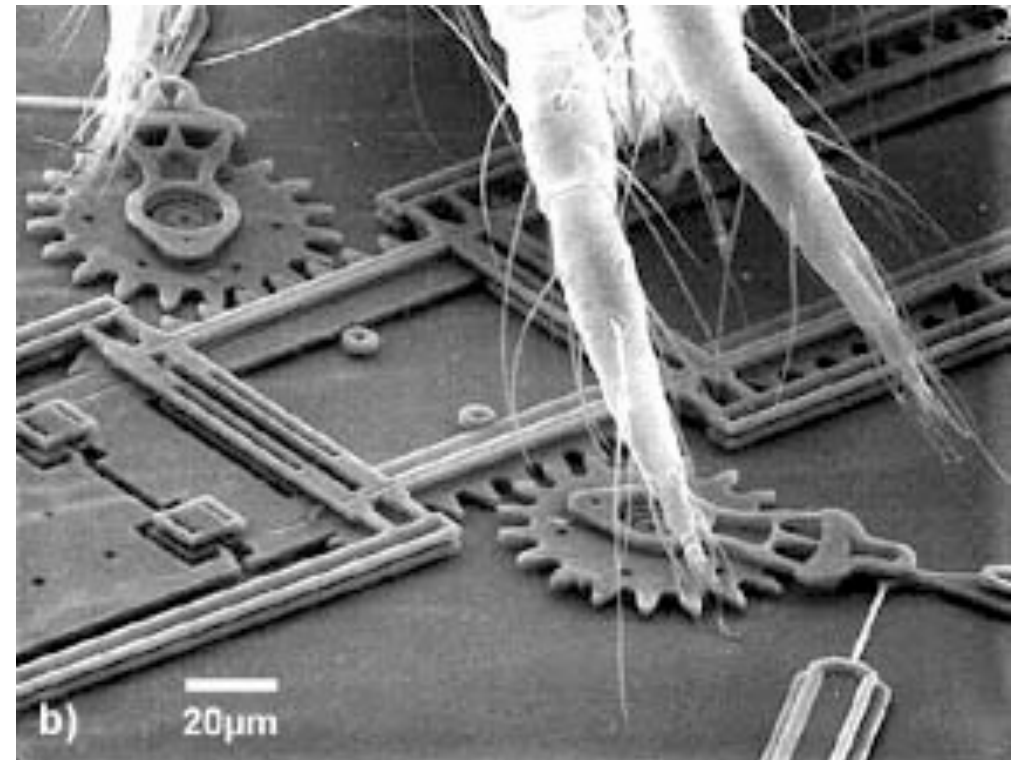




(a) Un motor de silicio MEMS junto con una hebra de cabello humano [1]



(b) las patas de un ácaro parado sobre motor [2]

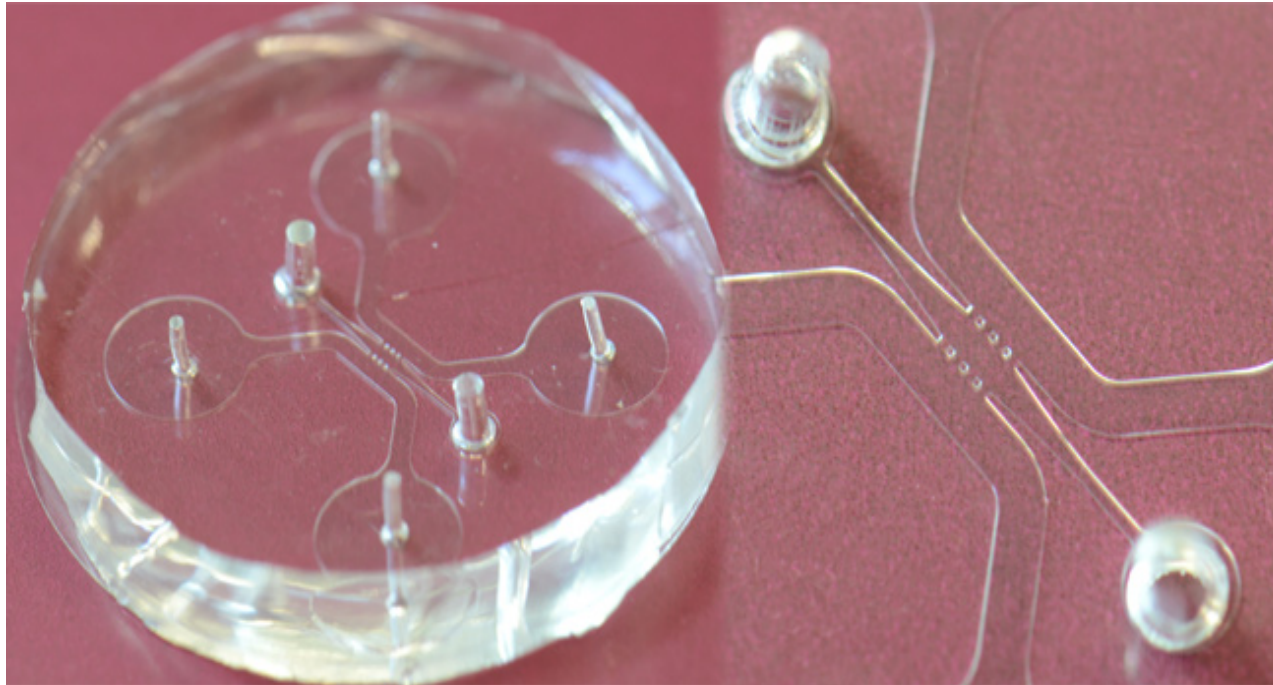




# OBJETIVO

PARA EL DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE BioMEMS,  
APLICADOS A LA MEDICINA.





- Los principales objetivos de esta área en la *medicina* nos lleva al diseño y desarrollo de nuevos microsistemas biológicos, electrónicos y mecánicos, con la aplicación en la *detección temprana de enfermedades* y así como en el desarrollo de *tratamientos más eficaces y menos tóxicos*.



---

## **La aplicación de la nanotecnología al desarrollo de nuevos sistemas de liberación de fármacos:**

- Con la finalidad de desarrollar nanosistemas capaces de traspasar la barrera celular, (membrana plasmática) que impide el acceso de la mayoría de los fármacos a la célula atacando específicamente sólo las células enfermas sin dañar a las células sanas.
- Es decir, permiten el diseño de fármacos muy selectivos y muy poco tóxicos.



¿QUÉ SE HACE EN MÉXICO?

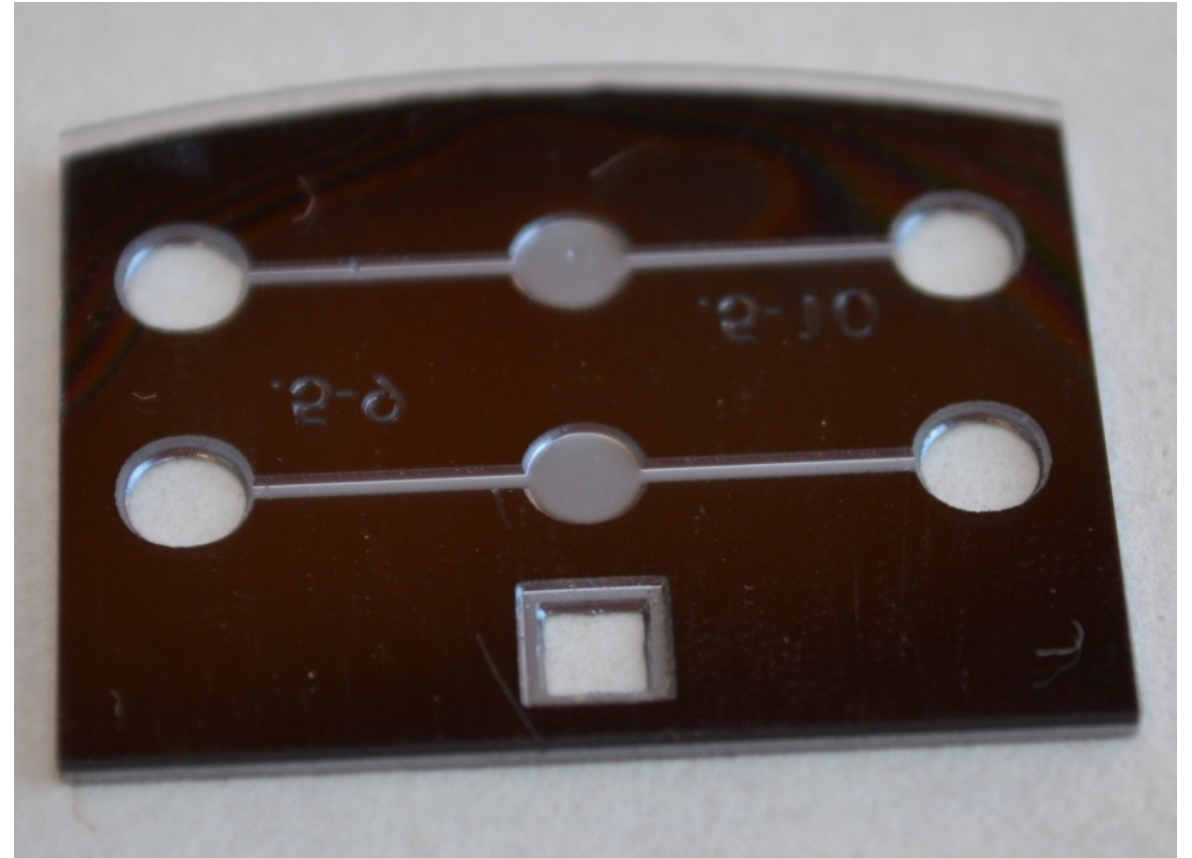


- En México contamos con recursos humanos aún insuficientes en todas las áreas de investigación; sin embargo, son altamente calificados y desempeñan esa actividad necesaria con recursos económicos que, aunque limitados son suficientes para mantener una comunidad científica activa.



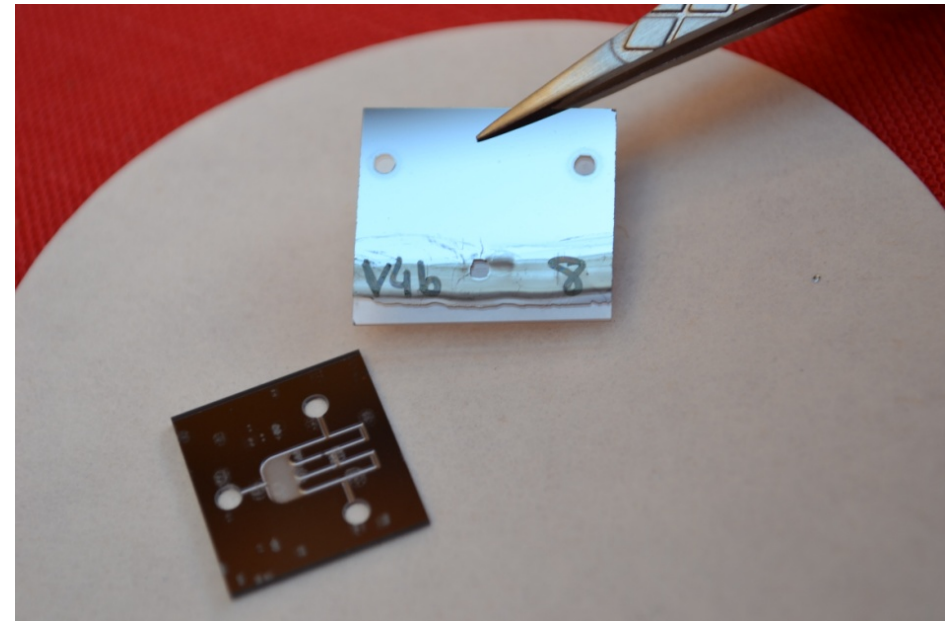
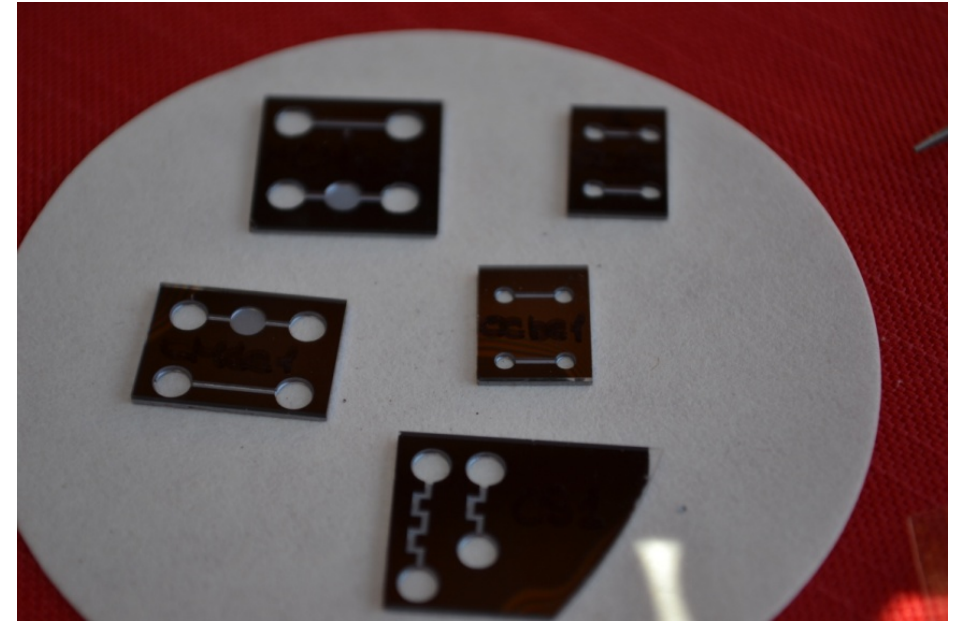
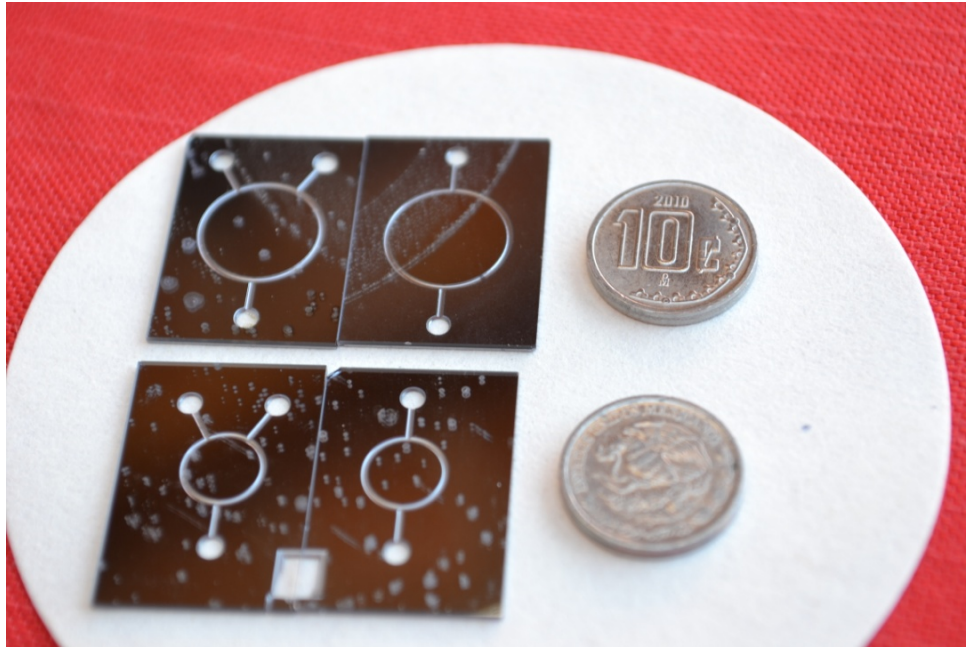
El desarrollo y fabricación de BioMEMS incluye temas como:

- La tecnología de microfluidos y técnicas de fabricación de microactuadores integrados para aplicaciones BioMEMS, Biosensores y química de materiales en sensores



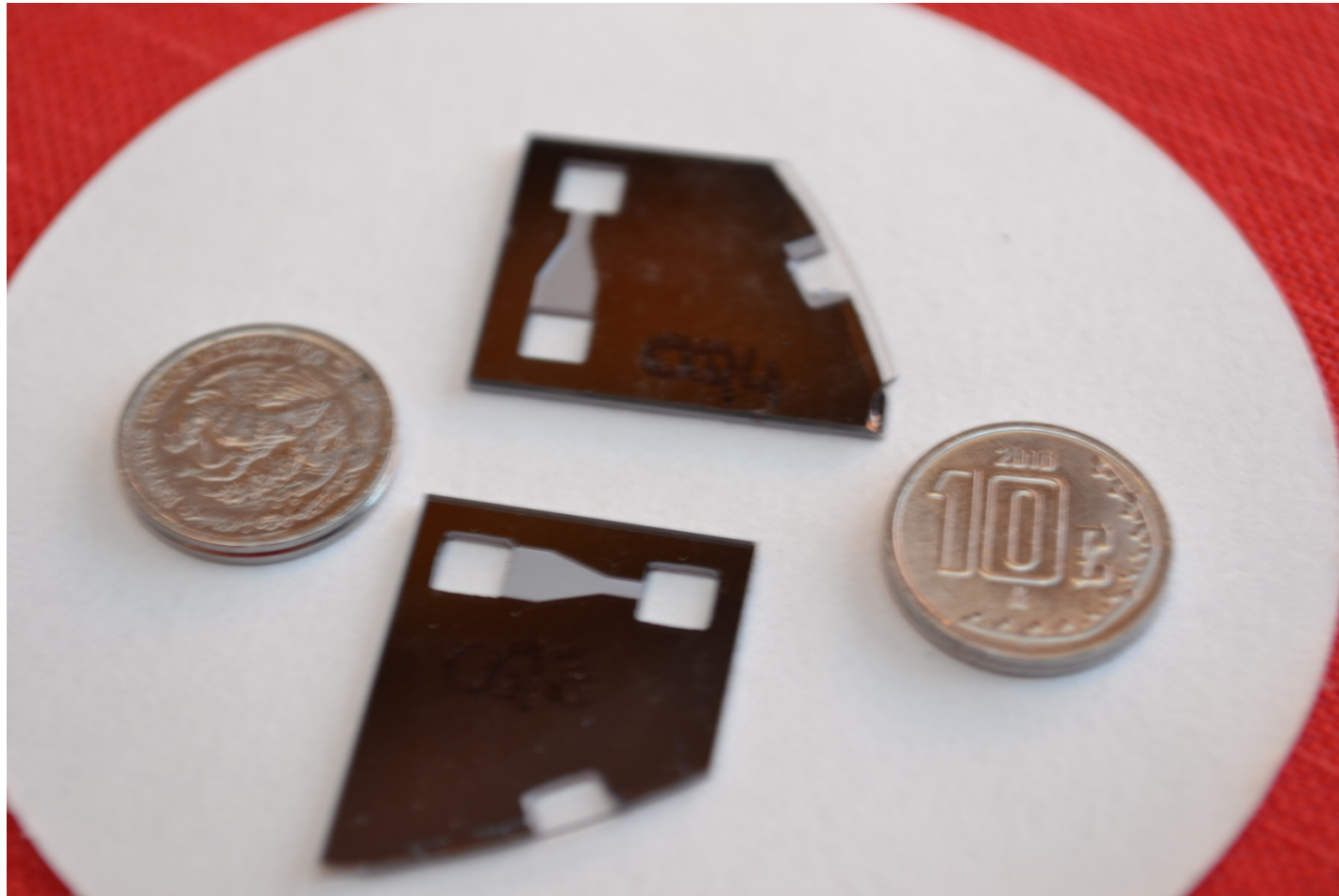


# MICROCANALES



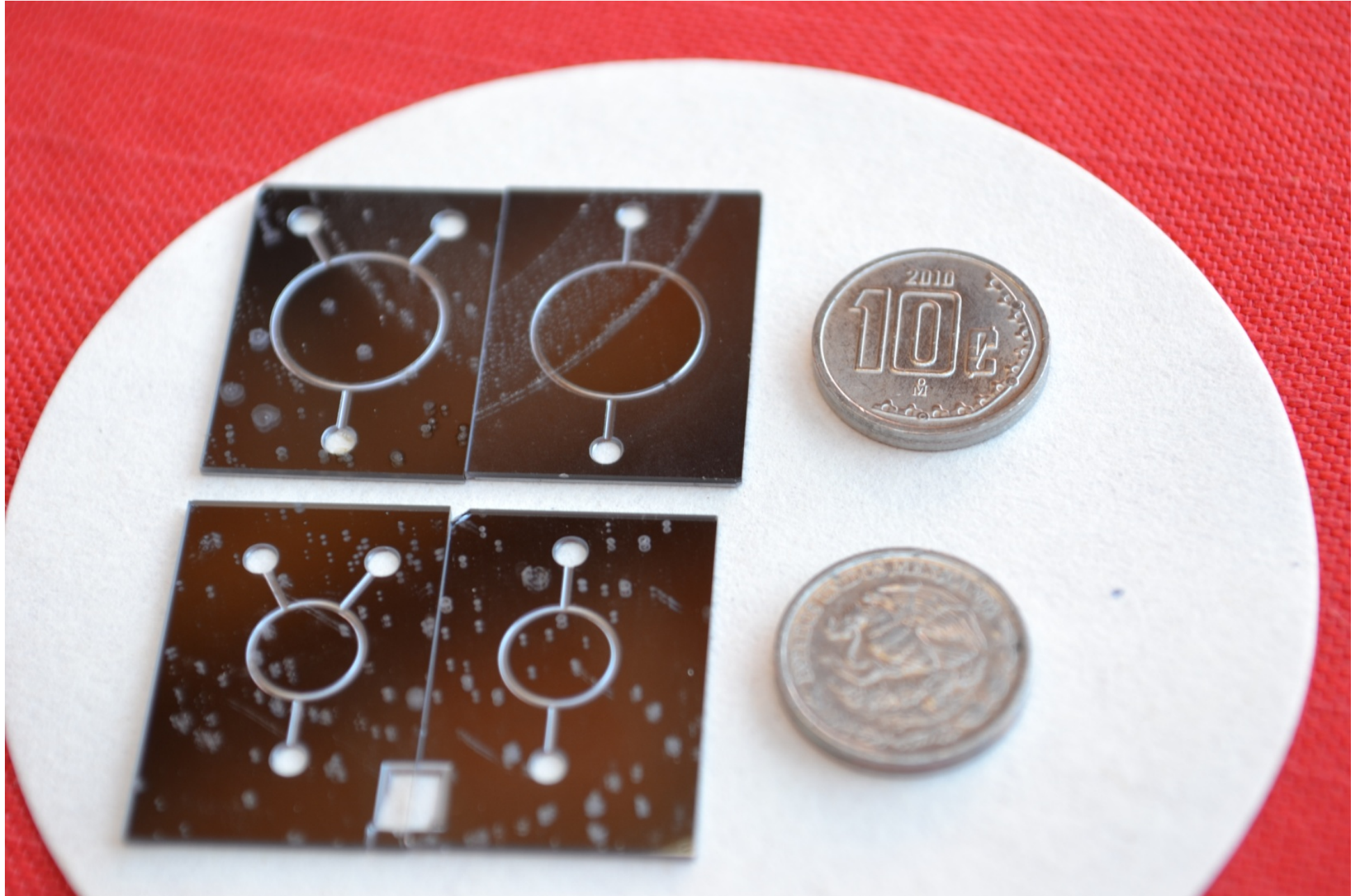
---

Micro canales diseñados, desarrollados y fabricados en la CNM campus Barcelona, España  
(CYTED, subprograma Microelectrónica RED TESEO, microfluídica).





# REOLOGÍA



# LA REOLOGÍA

- Es el estudio del flujo y la deformación de la materia sometidas a fuerzas, y que por lo general se mide utilizando un reómetro.
- La medición de propiedades reológicas se aplica a todos los materiales, desde fluidos como soluciones diluidas de polímeros y surfactantes hasta fórmulas concentradas de proteínas, y desde semi sólidos como pastas y cremas hasta polímeros derretidos o sólidos, así como al asfalto.
- Las propiedades reológicas pueden medirse a través de la deformación de una muestra en un volumen grande usando un reómetro mecánico, o en una escala microscópica mediante el uso de un viscómetro de microcapilaridad o una técnica óptica como la microrreología [].



ALGUNAS  
APLICACIONES DE  
**BioMEMS** EN LA  
SUPERVISIÓN,  
CUIDADO Y  
DIAGNÓSTICO  
MÉDICO.

**Herramientas  
Quirúrgicas:**

Instrumentos quirúrgicos:  
(e.g. bisturís, tenazas,  
grapas, ...etc.)

Audífonos en  
implantes cocleares

Interconexiones  
Nerviosas

Implante  
Logo-ftalámico

Estetoscopios  
y  
Marcapasos  
Cardíacos

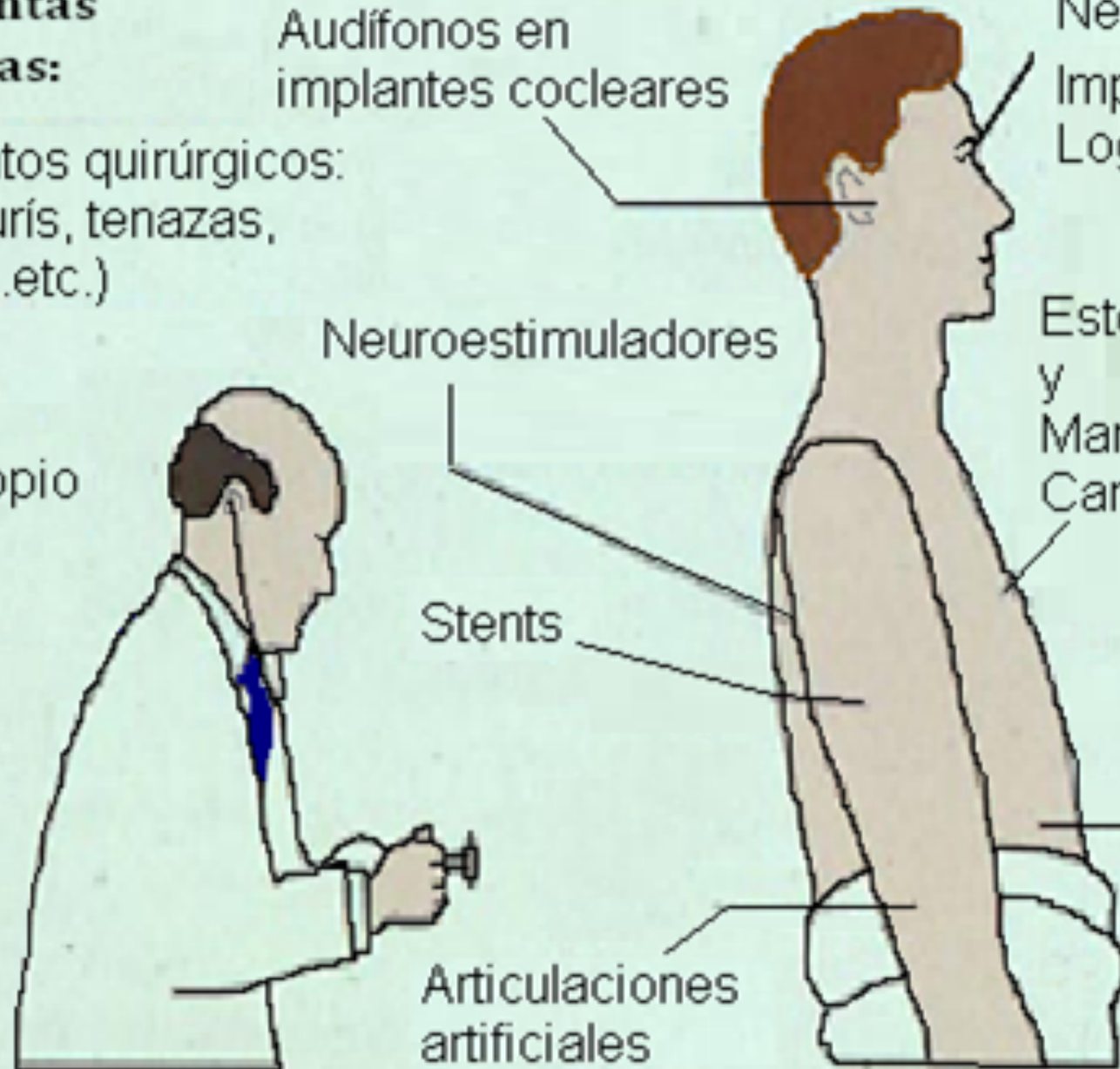
Sistemas  
de  
Díalisis

Neuroestimuladores

Stents

Articulaciones  
artificiales

Endoscopio

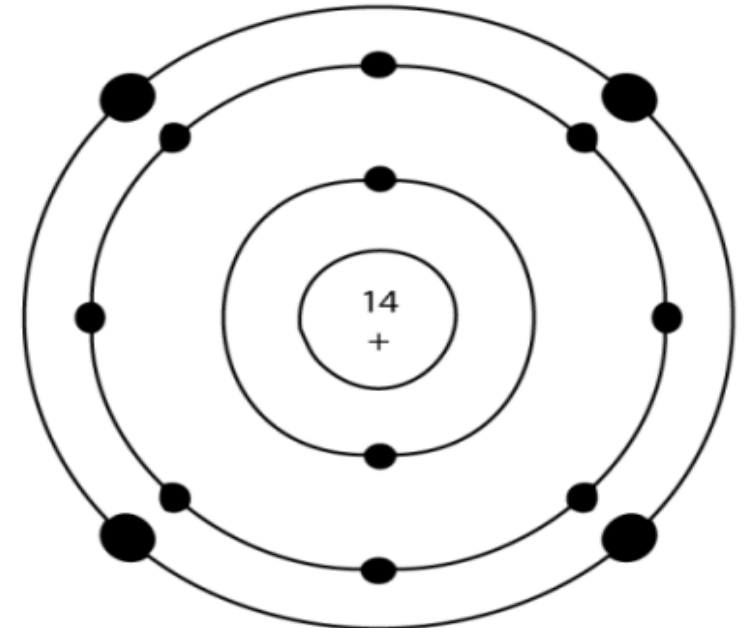




MATERIA PRIMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE  
BioMEMS.

SILICIO





Período	Grupo		Número atómico ►	28,086	◄ Peso atómico
	1			4	◄ Valencia
1	1	1	H	2680	
			Hidrógeno	1410	
				2,33	
				Si	◄ Símbolo
				[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	◄ Estructura atómica
				Silicio	◄ Nombre
2	3	4	Li	Be	
			Litio	Berilio	
3	11	12	Na	Mg	
			Sodio	Magnesio	
4	19	20	21	22	23
5	37	38	39	40	41
6	55	56	57	72	73
7	87	88	89	104	105

Lantánidos

Actínidos

6	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	Cerio	Praseodimio	Niobio	Promecio	Samario	Europio	Gadolinio	Terbio	Dysprosio	Holmio	Erbio	Tulio	Ytterbio	Lutecio
7	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
	Torio	Protactinio	Uranio	Neptunio	Plutonio	Americio	Curio	Berkelio	Californio	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Lawrencio

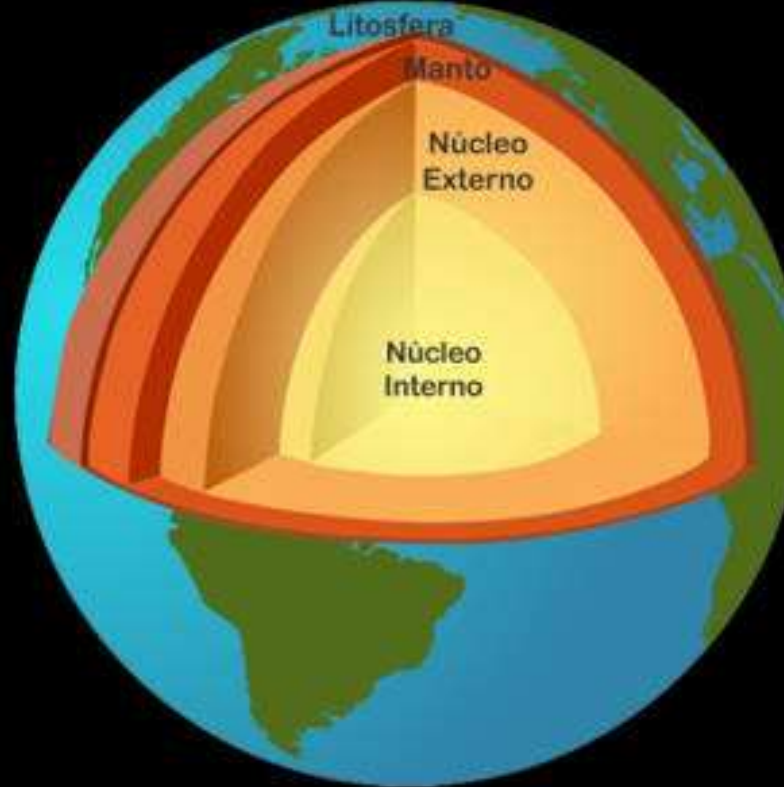




Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno.

Se presenta en forma amorfa y cristalina; el primero tiene aspecto de polvo parduzco, más activo que la variante cristalina, que se presenta en octaedros de color azul grisáceo y brillo metálico.

## COMPOSICIÓN MINERAL DE LA CORTEZA TERRESTRE

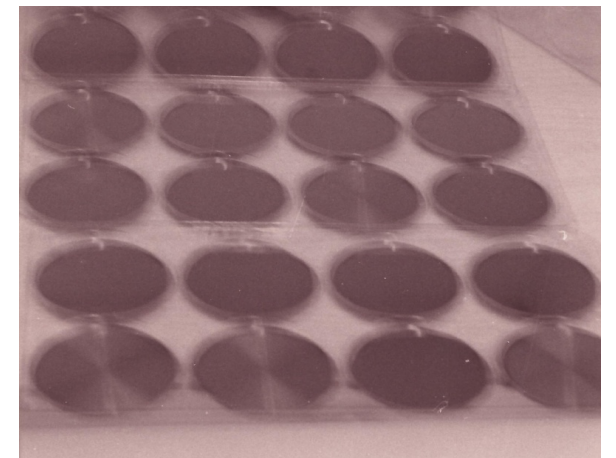
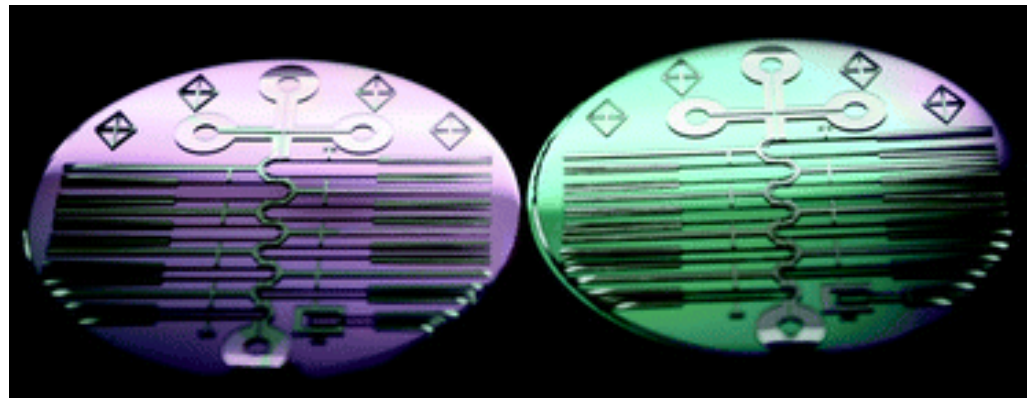


Elemento	Abundancia (% en peso)
Oxígeno	46
Silicio	27
Aluminio	8
Hierro	6
Calcio	5
Sodio	2,5
Magnesio	2,5
Potasio	2
Titanio	0,6
Hidrógeno	0,1
Fósforo	0,1
Manganeso	0,1

# SILICIO MONOCRISTALINO EN BioMEMS

Los sustratos de silicio monocristalino son obleas circulares de varios diámetros que van de los 50 mm a 150 mm, 5 cm a 15 cm (2 a 6 pulgadas) de diámetro y de 125  $\mu\text{m}$  a 650  $\mu\text{m}$  de espesor.

Para los Sistemas Micro Electro Mecánicos (MEMS) las obleas son muy delgadas, y preferentemente pulidas por ambos lados de 200 a 650  $\mu\text{m}$  de espesor.

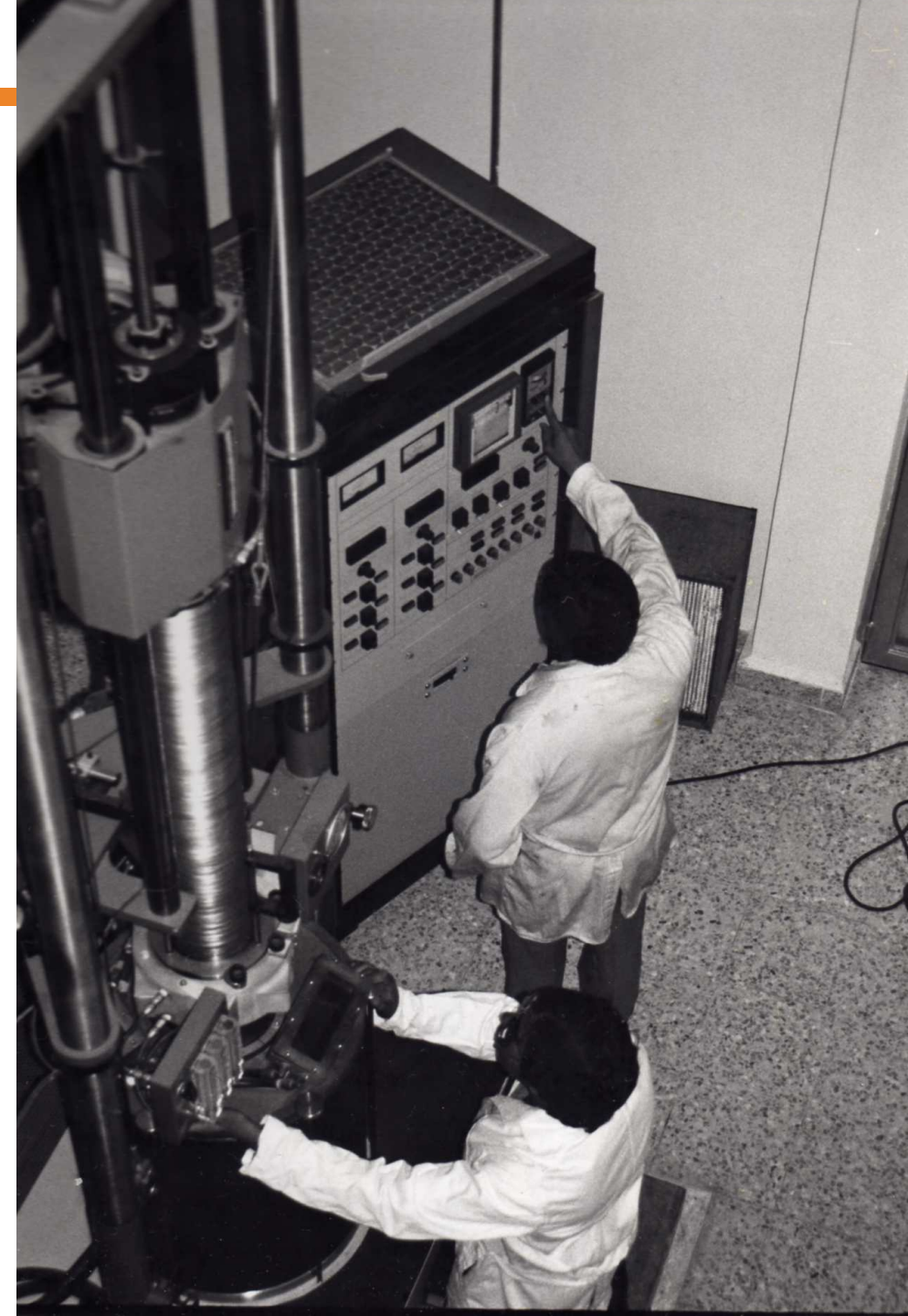




# FABRICACIÓN DE OBLEAS DE SILICIO EN MÉXICO

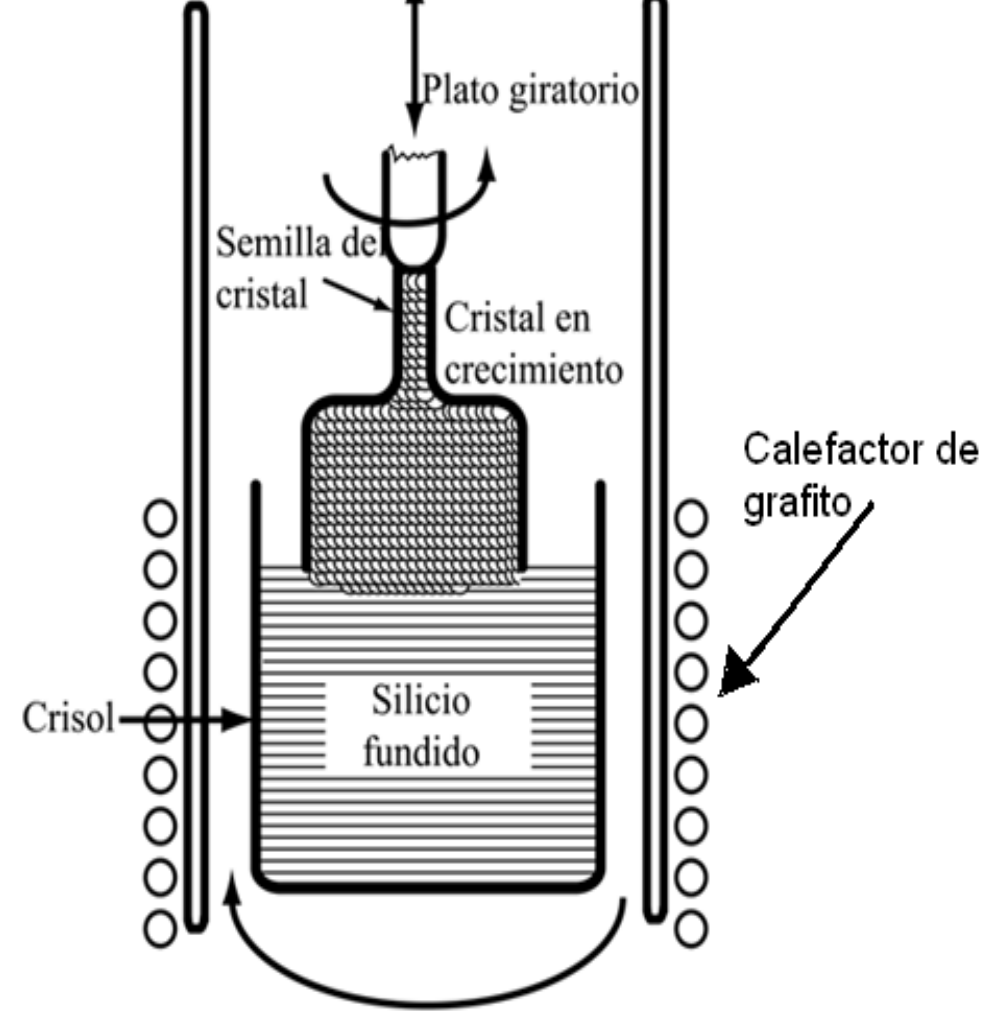


HORNO CRECEDOR DE  
SILICIO POR EL MÉTODO DE  
CZOCHEKRALSKI (PLANTA PILOTO  
DE CRECIMIENTO DE SILICIO,  
DEPARTAMENTO DE  
MICROELECTRÓNICA BUAP, 1985-  
2003).





# Crecimiento de silicio por medio del método Czochralski



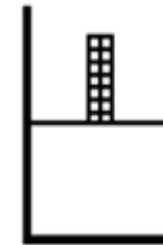
Polisilicio



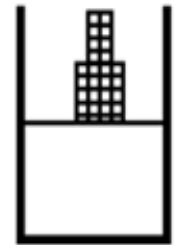
Fundido



Contaminacion  
tipo P o tipo N

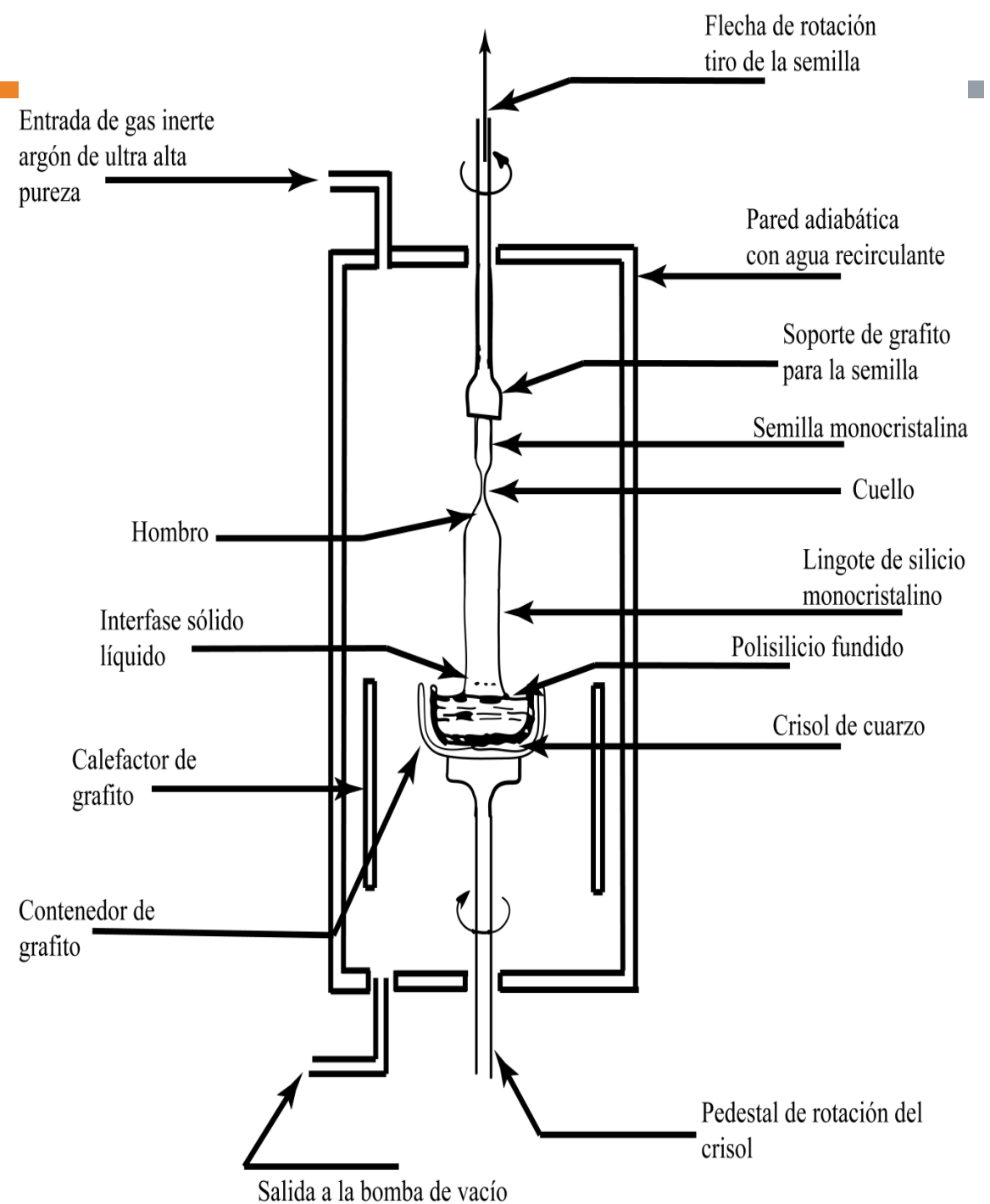


Semilla

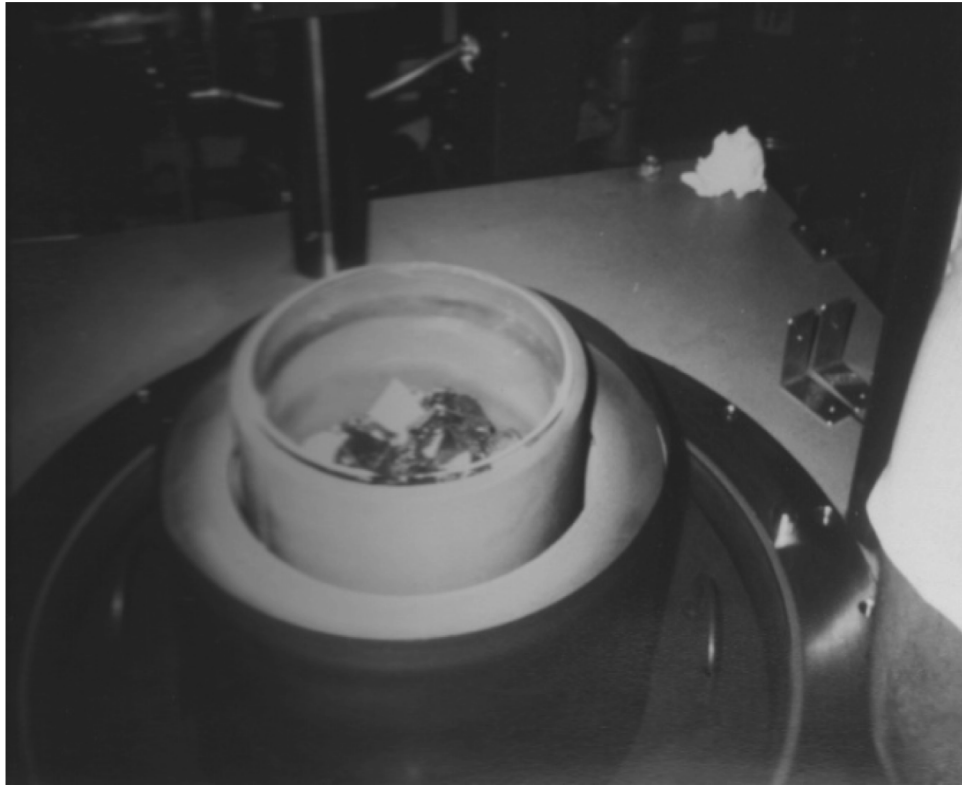


Crecimiento

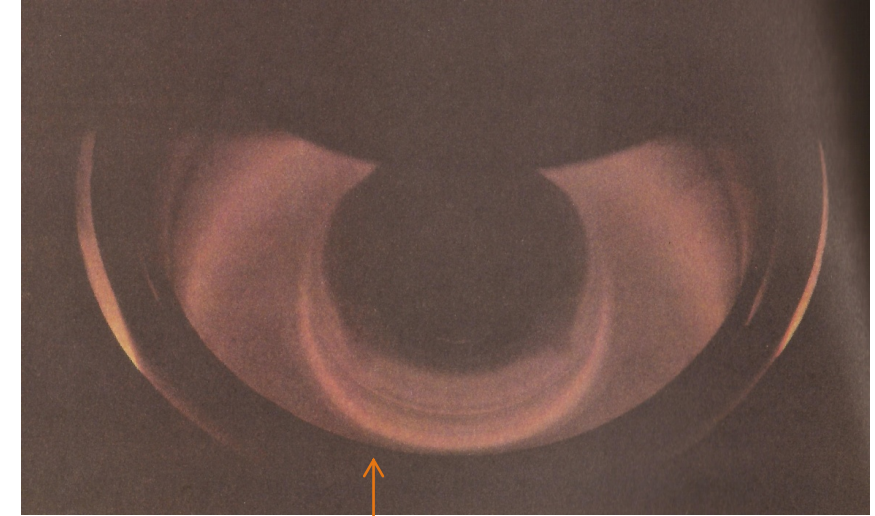
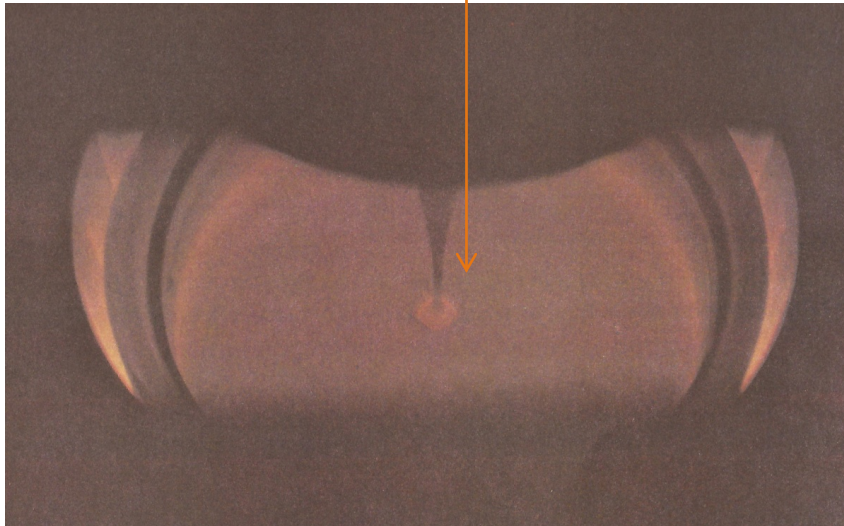
# DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL HORNO PARA EL CRECIMIENTO DE MONOCRISTALES DE SILICIO POR EL MÉTODO DE CZOCHRALSKI



# CARGA DE POLISILICIO O SILICIO POLICRISTALINO.

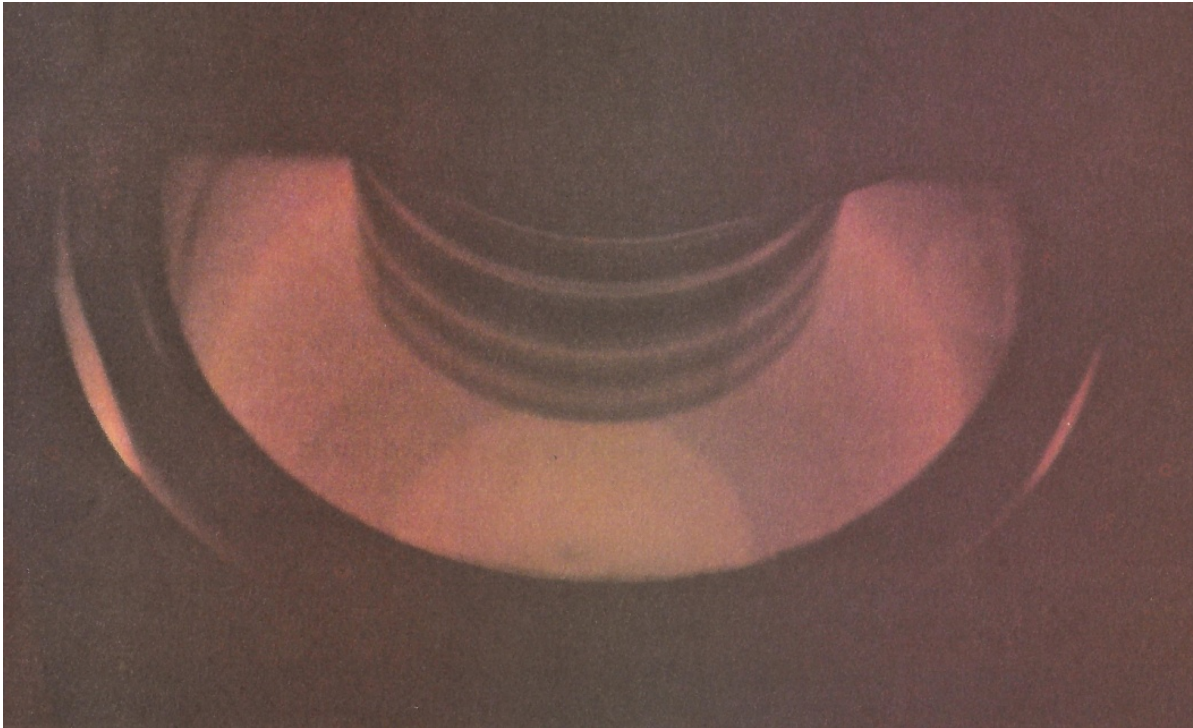


Vista a través de la mirilla del Horno Czochralski, de la interfaz Sólido-Líquido, semilla o cristal de referencia (en estado sólido) y el fundido (en estado líquido)



Solidificación del silicio fundido en un monocristal, formando cuello, hombro y cuerpo





Formación de la cola y fin del proceso de crecimiento del lingote, desprendimiento del mono-cristal del fundido.



- Lingote de silicio crecido de una carga de 8 kilogramos (Departamento de Microelectrónica, ICUAP).

Lingote de silicio  
(Departamento de  
Microelectrónica, ICUAP).







Corte de la cola y cabeza del  
lingote de silicio, cortesía  
Depto. Microelectrónica,  
BUAP

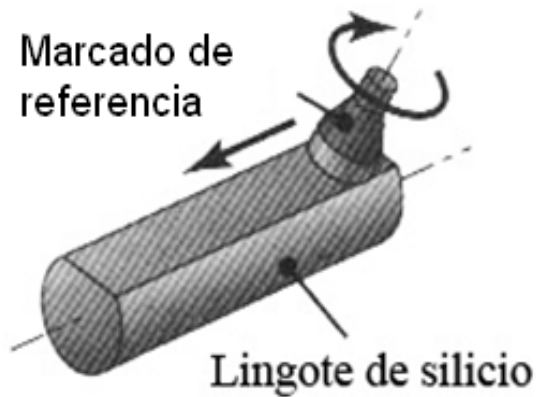
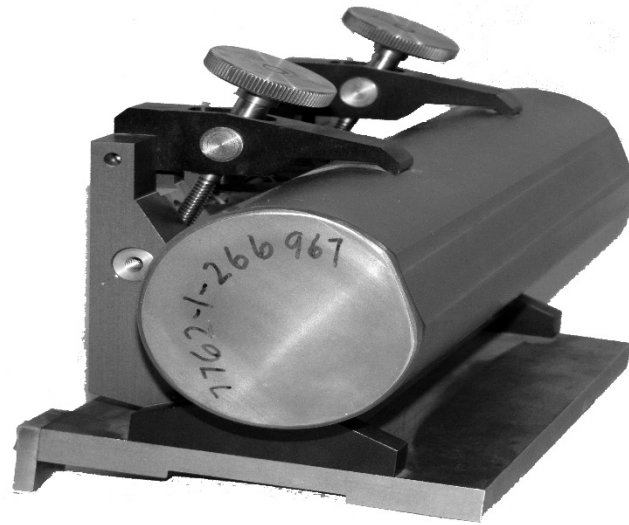






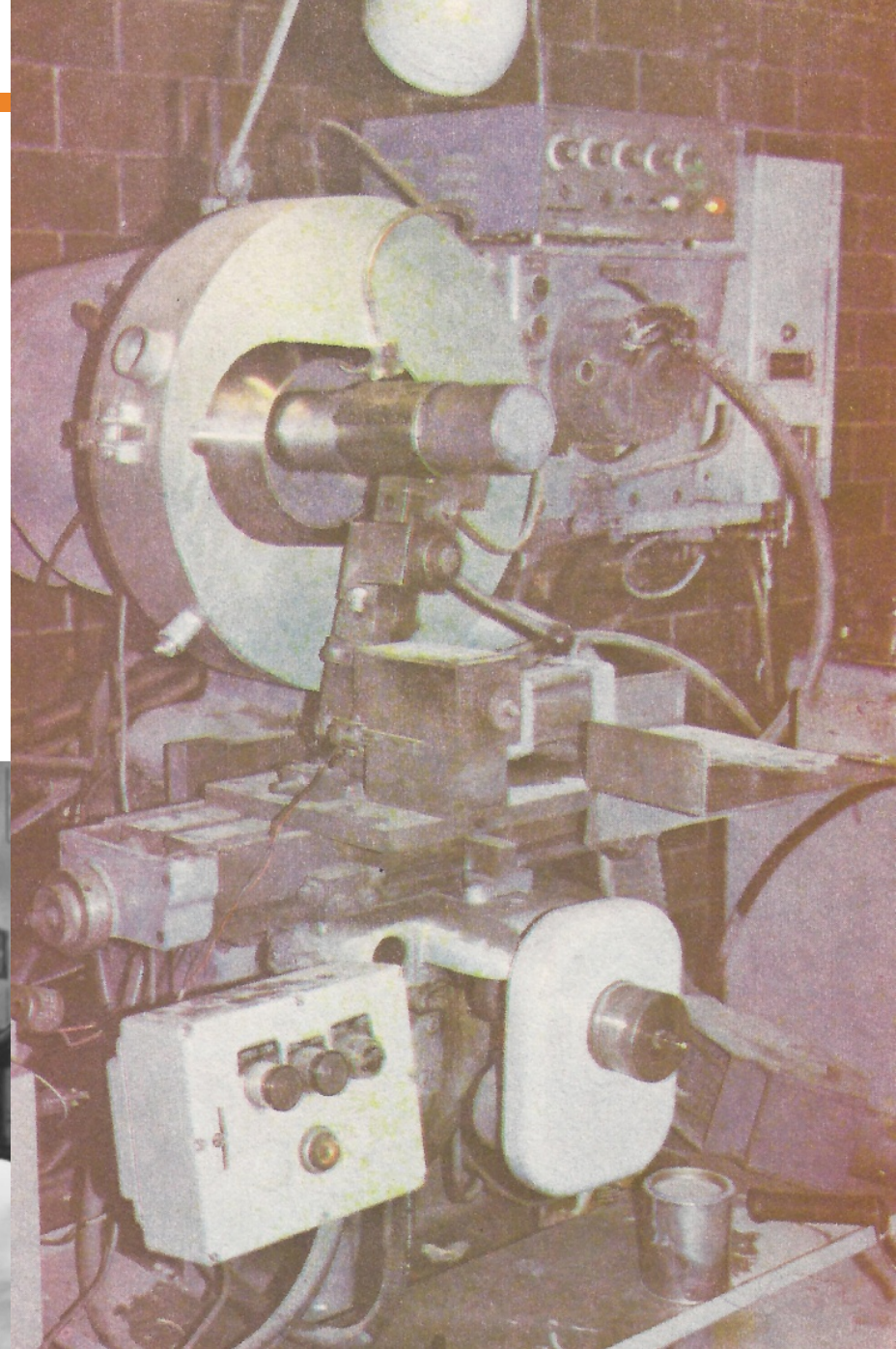
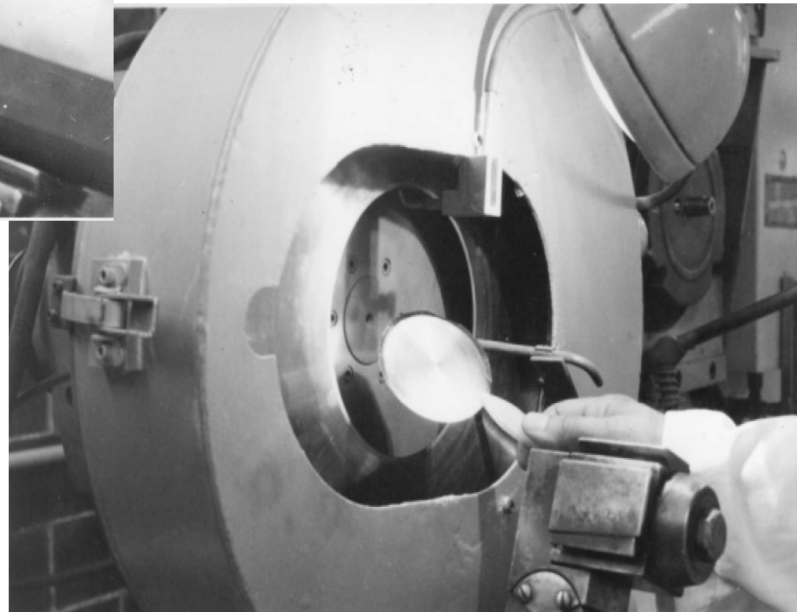
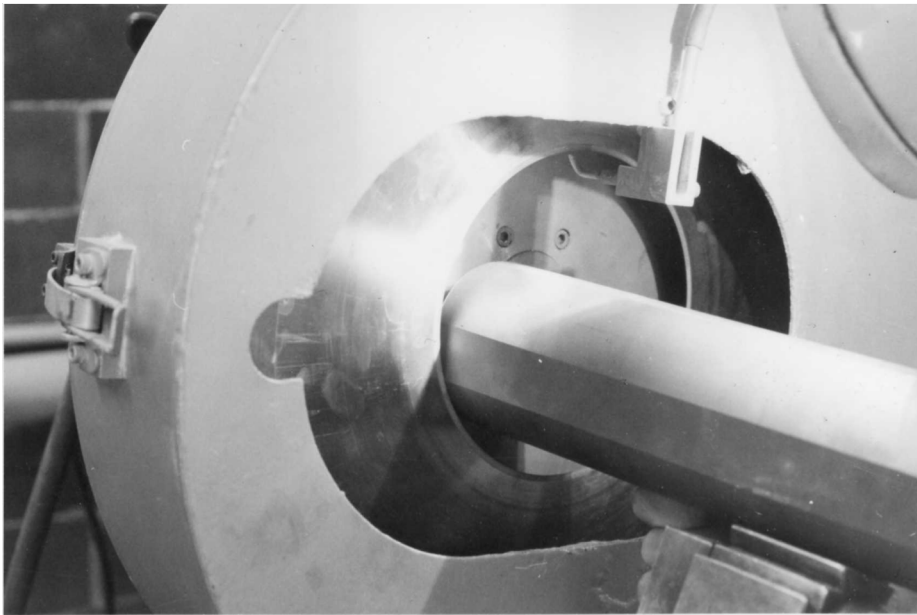
Medidor de resistividad del lingote de silicio ya rectificado, cortesía Planta piloto de crecimiento de silicio, Departamento de Microelectrónica BUAP.

# RECTIFICADOR DE REFERENCIA PRIMARIA EN EL LINGOTE DE SILICIO



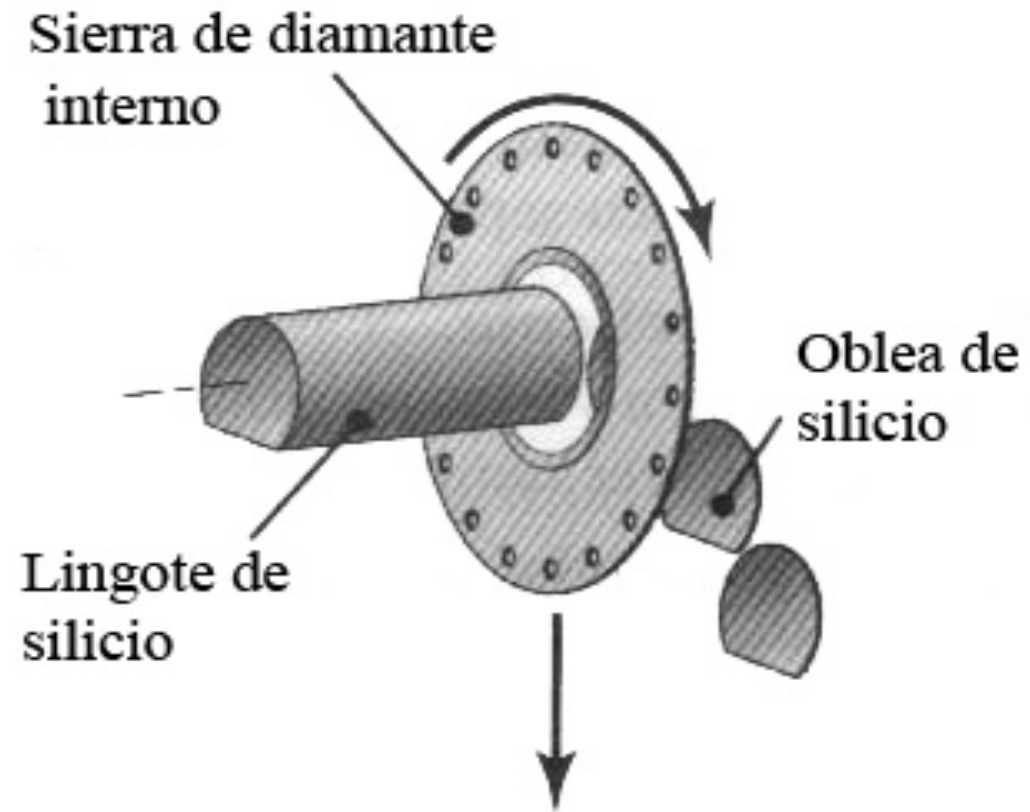


# PROCESO DE RECORTADO DE OBLEAS DE SILICIO.



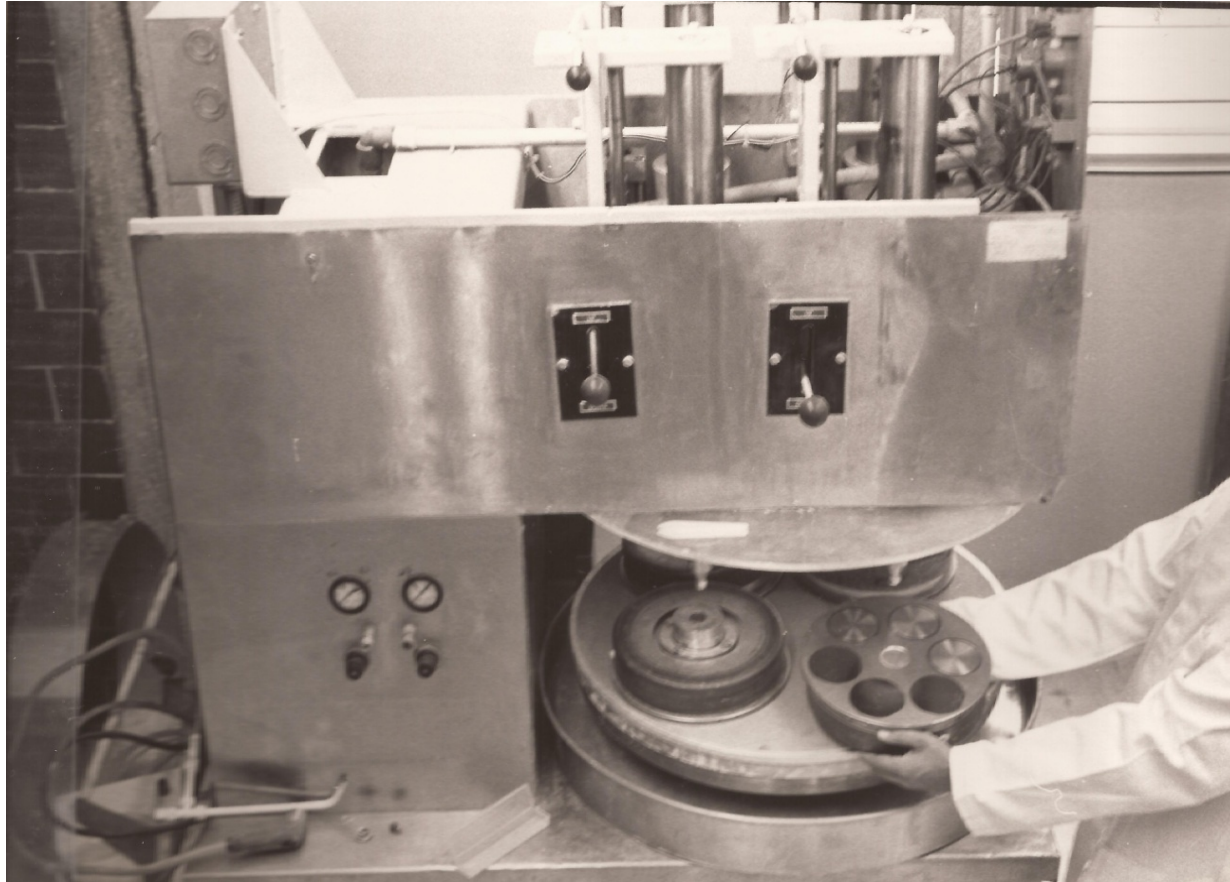


# REBANADO DEL LINGOTE EN OBLEAS



...





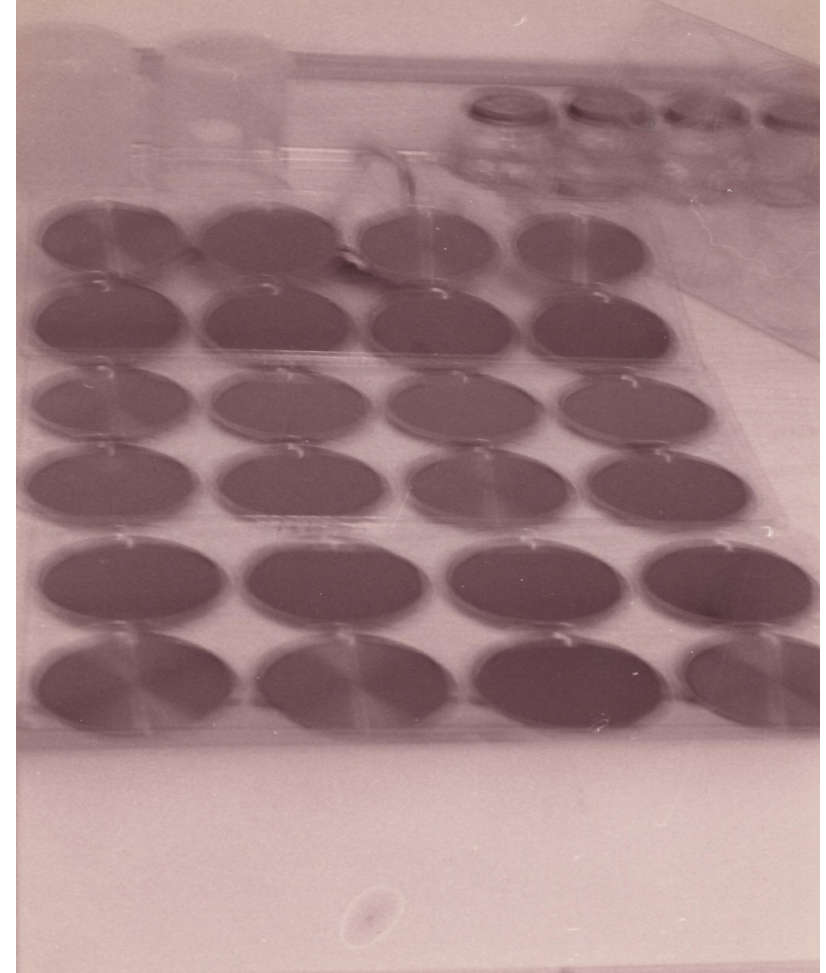
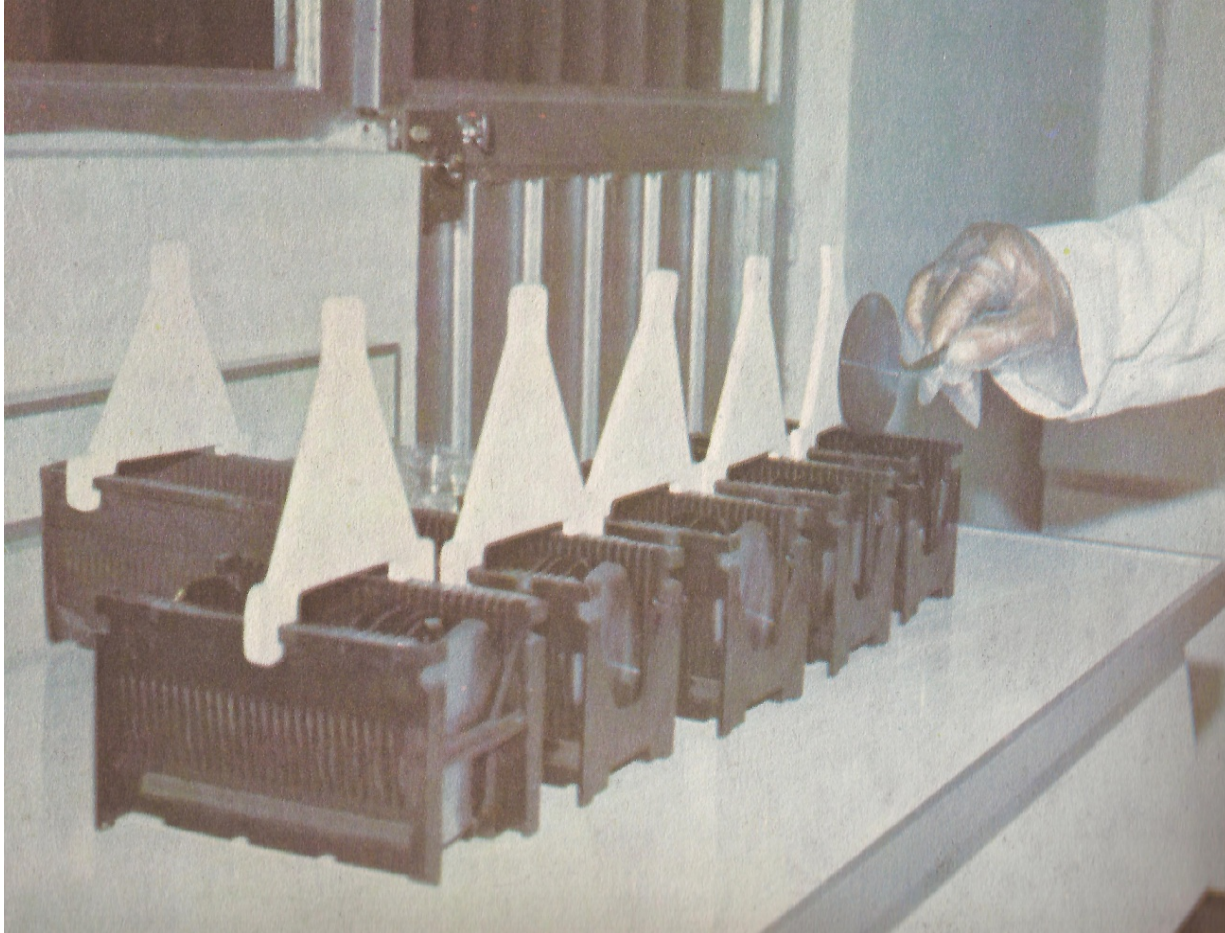
Obleas montadas en las herramientas para efectuar el pulido mecánico.



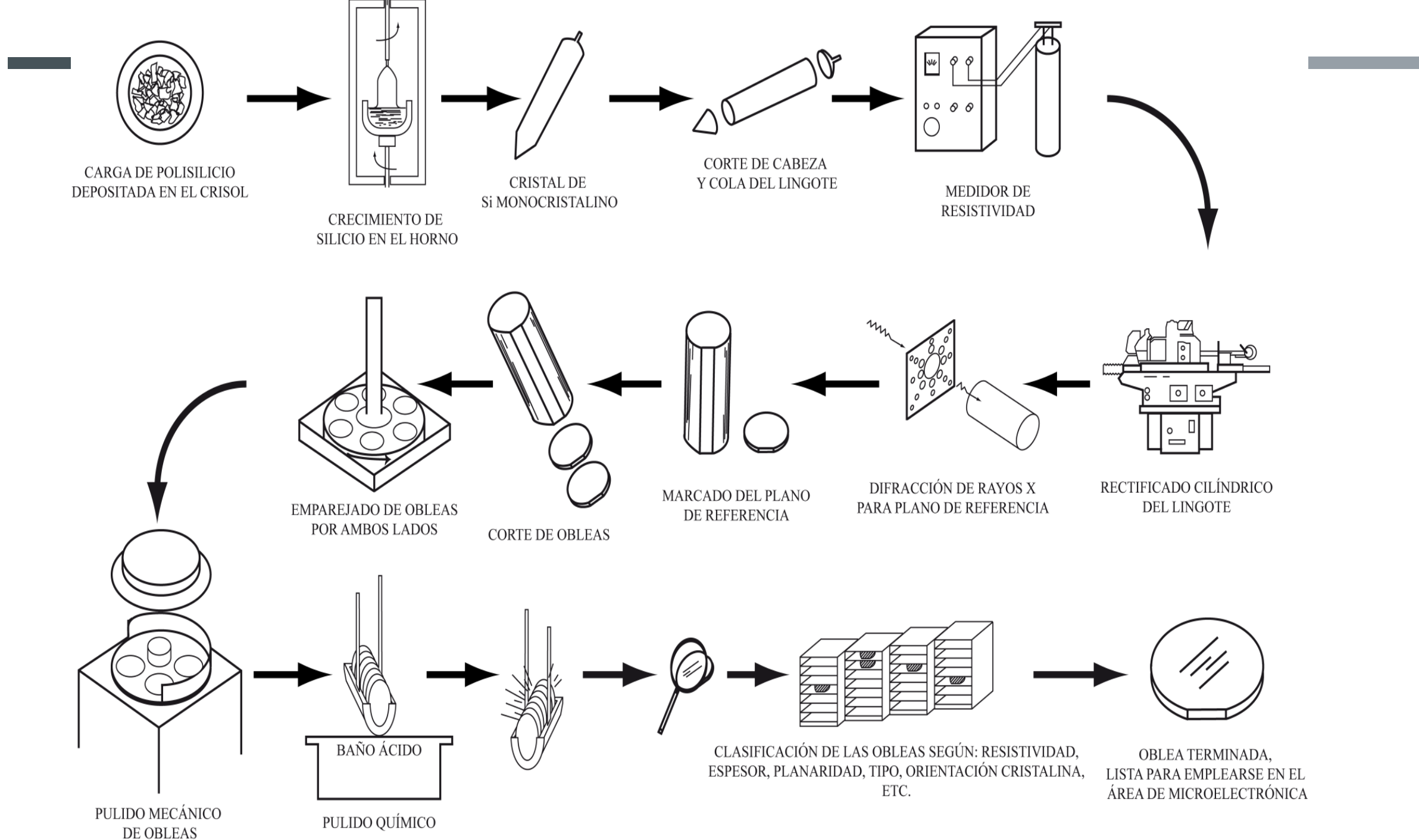
# CARACTERIZACIÓN DE OBLEAS DE SI



# CLASIFICACIÓN DE OBLEAS SEGÚN SU RESISTIVIDAD, ORIENTACIÓN, ESPESOR, TIPO N Ó TIPO P.







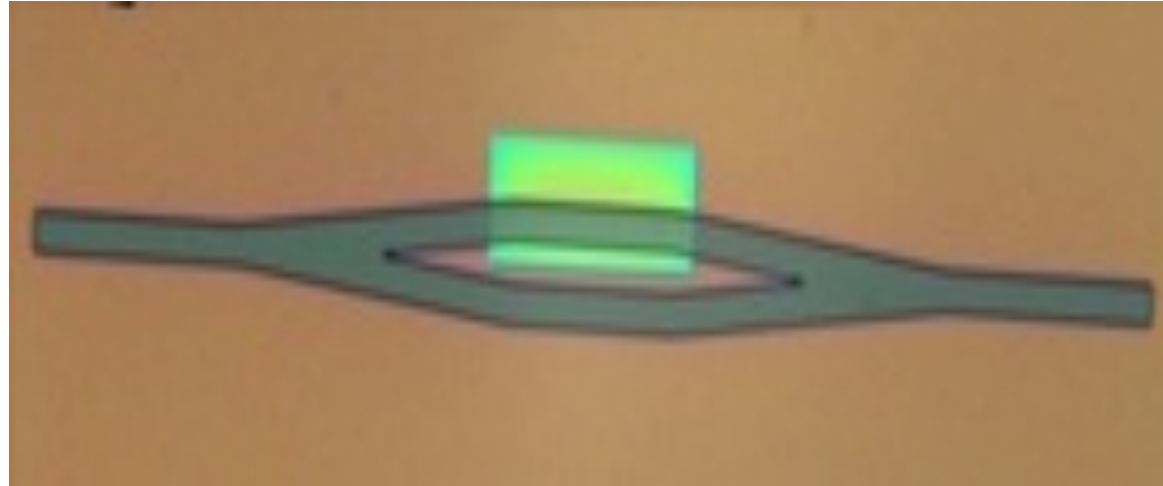


# DISEÑO, DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE **BioMEMS**





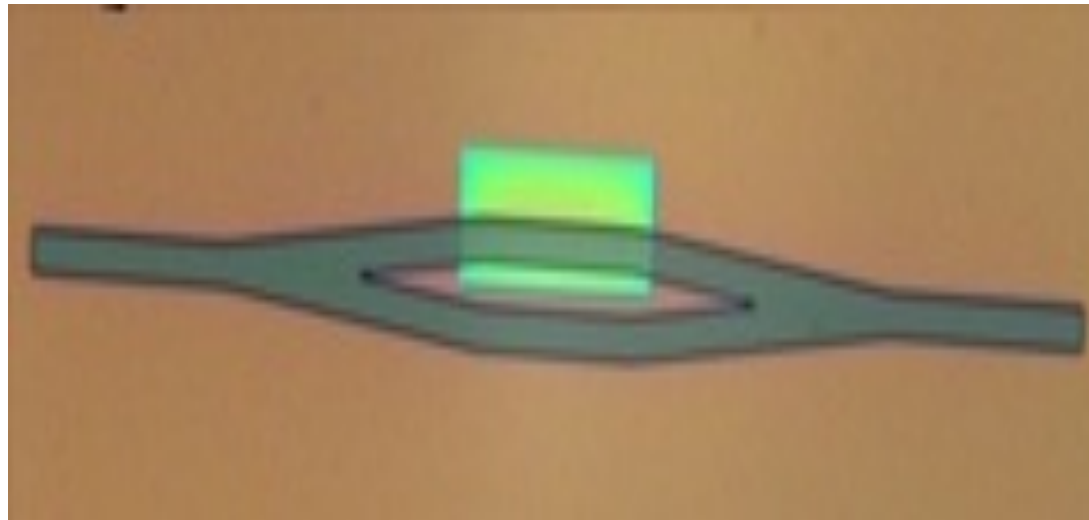
# MICROSENSOR ÓPTICO PARA MEDIR DE FORMA NO INVASIVA LA PRESIÓN SANGUÍNEA.



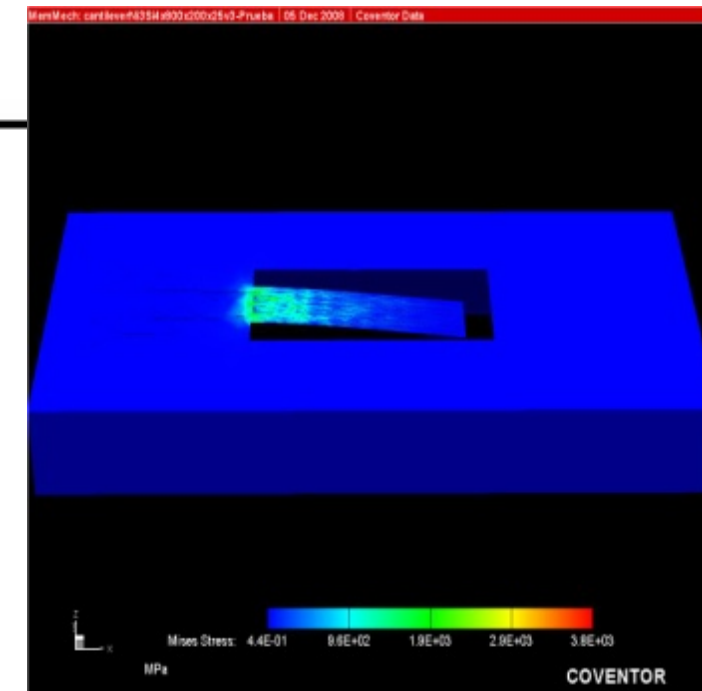
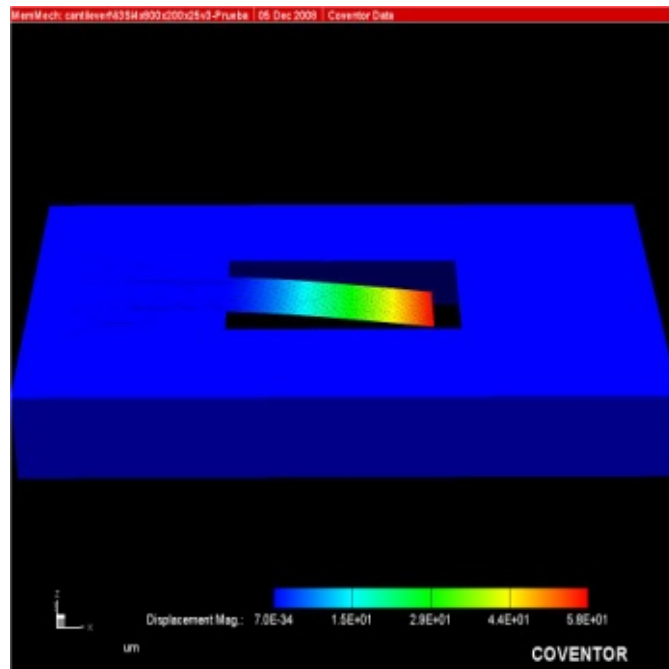
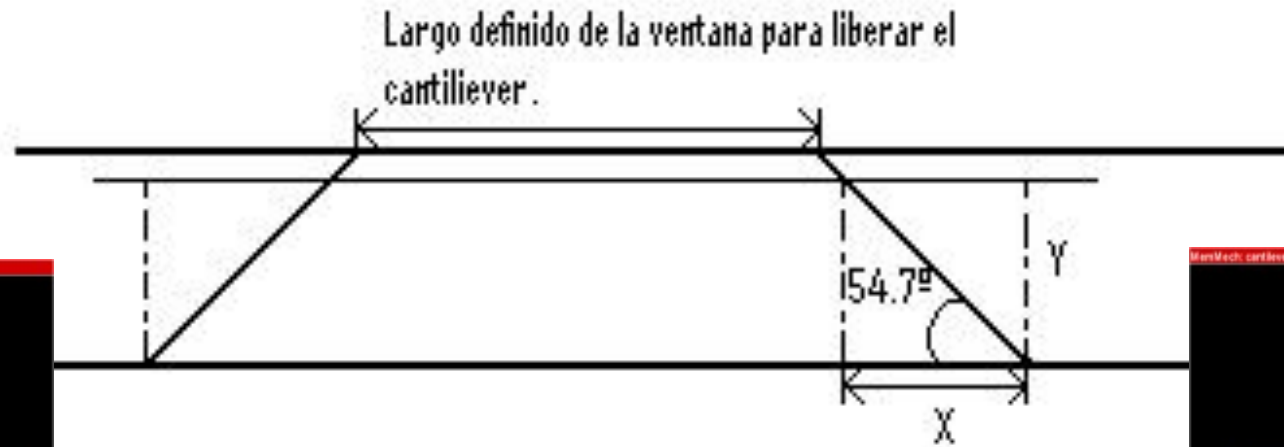
- Diseñado y desarrollado en el posgrado de Ingeniería Biomédica de la UPAEP.
- El proceso de fabricación fue llevada a cabo en el laboratorio de microelectrónica del INAOE.

## MICROSENSOR ÓPTICO PARA MEDIR DE FORMA NO INVASIVA LA PRESIÓN SANGUÍNEA.

- El dispositivo tiene una configuración óptica interferométrica tipo Mach Zehnder, en el cual uno de los brazos se dejó fijo y el otro está soportado en una membrana flotante de  $\text{SiO}_2$ , sobre la cual se ejerce la presión para medir con base en la deformación mecánica que dicha sección experimenta; esta deformación se traduce en un corrimiento de fase y en una atenuación en el haz de luz que viaja a través de esta sección.

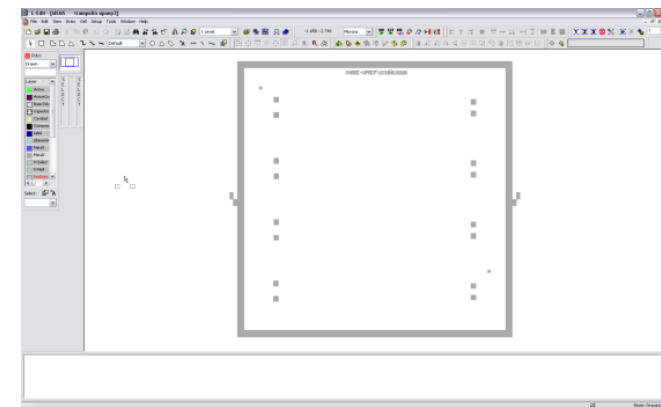
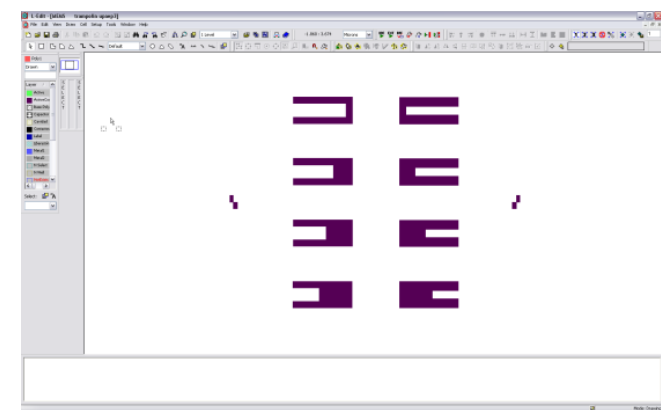
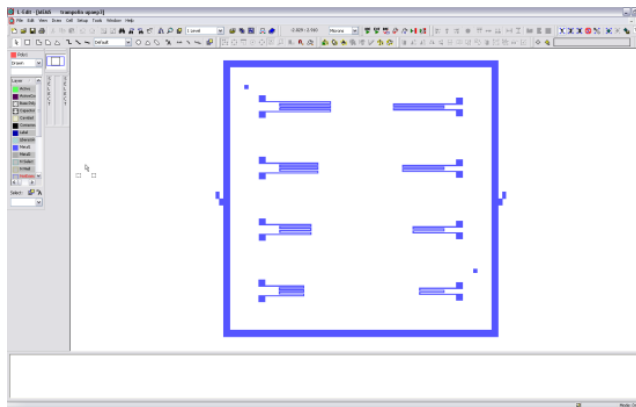
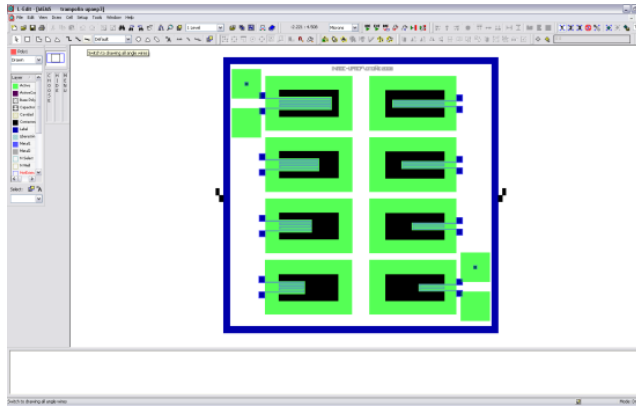
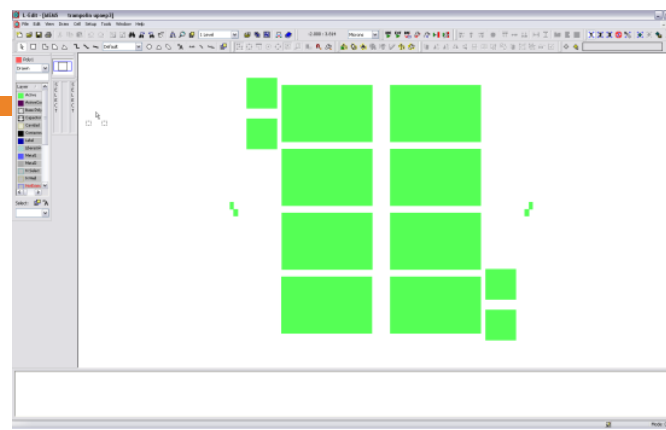


# DISEÑO DE TRAMPOLINES O CANTILEVERS



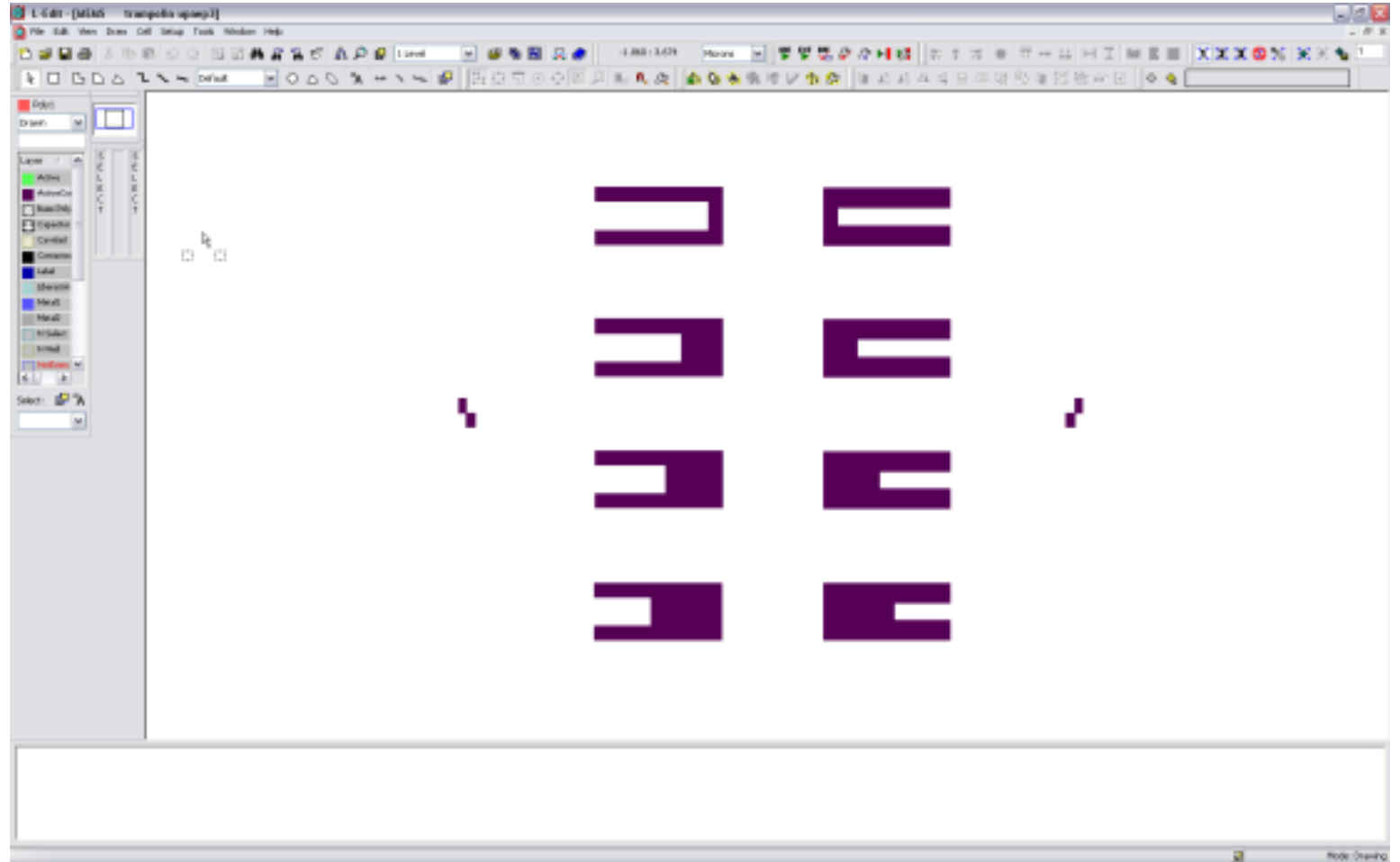
# HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y SIMULADORES DE BioMEMS

Para ajustar las dimensiones de este Sistema Micro Electro Mecánico de trampolines, se Utilizó el software COVENTOR y para el diseño de los patrones para generar el juego de mascarillas se empleo el L-Edit.





# DISEÑO GEOMÉTRICO DE LOS TRAMPOLINES

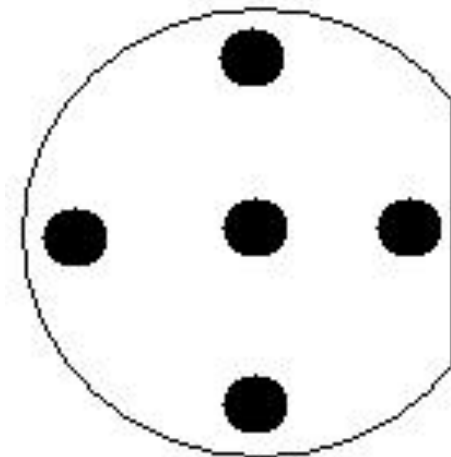


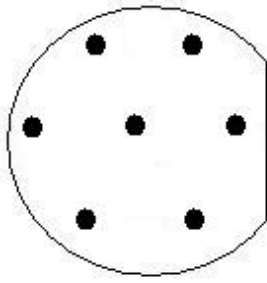
## PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTAL

- Características de las obleas:
  - Silicio Monocristalino,
  - Orientación cristalográfica [100],
  - Tipo N,
  - Espesor de  $300\ \mu\text{m} \pm 5\%$ ,
  - Resistividad de 5 a  $10\ \Omega\text{-cm}$ , con 5% de tolerancia.



En el proceso de caracterización de las obleas se obtienen las medidas de espesor en 5 puntos diferentes en las obleas antes de comenzar a trabajar con ellas con el objetivo de asegurarnos que están en el rango de espesor requerido y controlar.





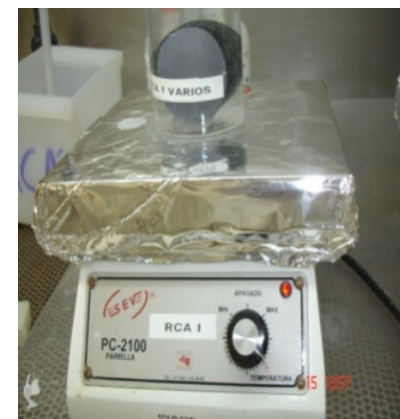
- Se comprueba que la **resistividad** de la oblea sea tipo N o tipo P.
- Se mide la resistividad de hoja o de cuadro en la primera oblea con:  
56  $\Omega$ /cuadro, 56  $\Omega$ /cuadro,  
56  $\Omega$ /cuadro, 54  $\Omega$ /cuadro, 55  $\Omega$ /cuadro,  
55  $\Omega$ /cuadro y 56  $\Omega$ /cuadro dando un **promedio** de **55.42  $\Omega$ /cuadro**



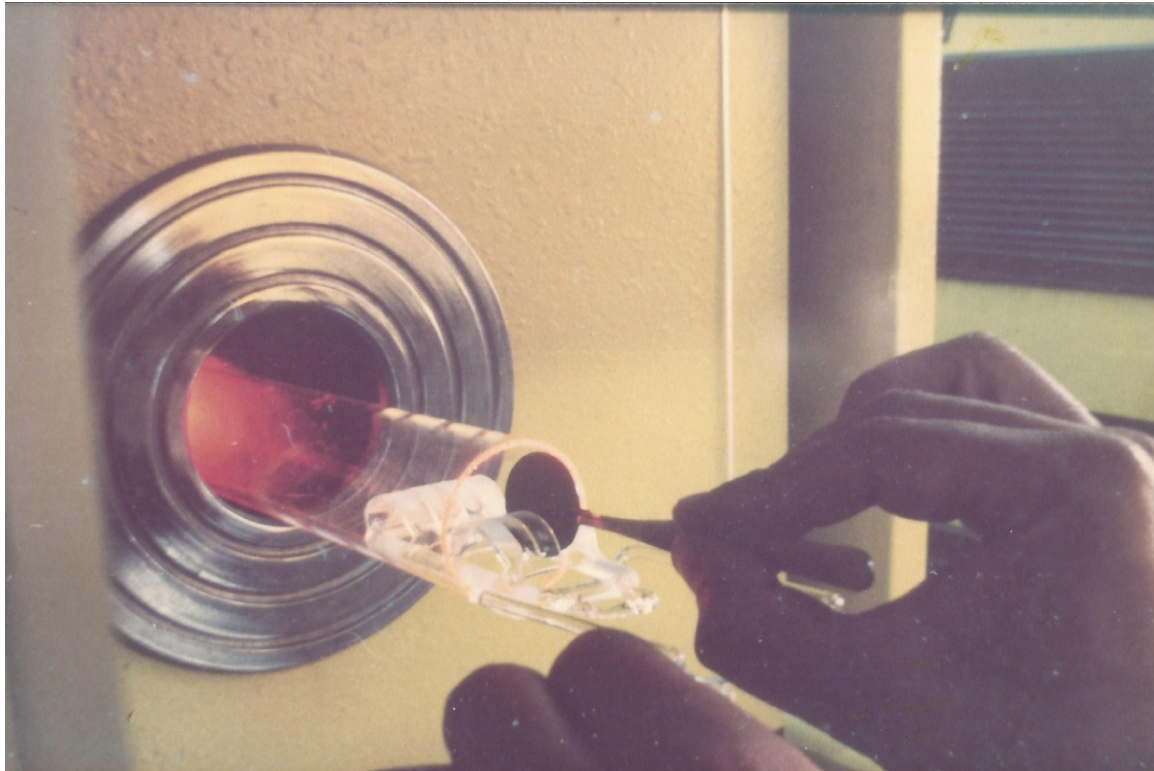


# LIMPIEZA DE OBLEAS

- Remoción de óxido nativo
- Desengrasado:
  - TCE
  - Acetona
  - Agua desionizada, con resistividad de 18 a 21 Ohms-cm
- Remover materiales orgánicos y metales pesados:
  - RCA I
  - RCA II



# PROCESO DE OXIDACIÓN

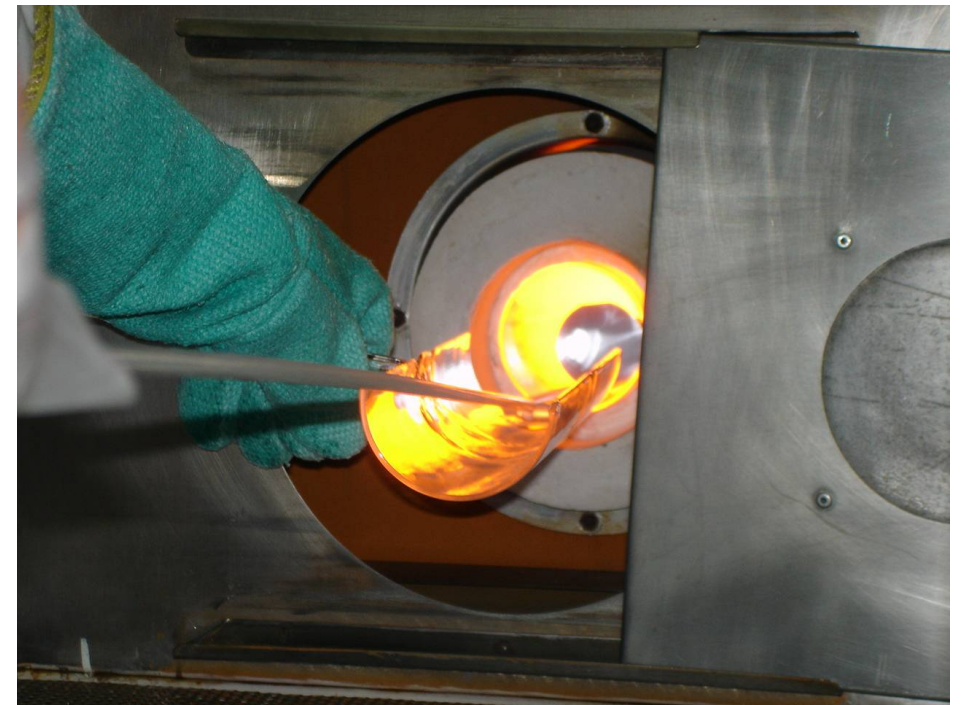
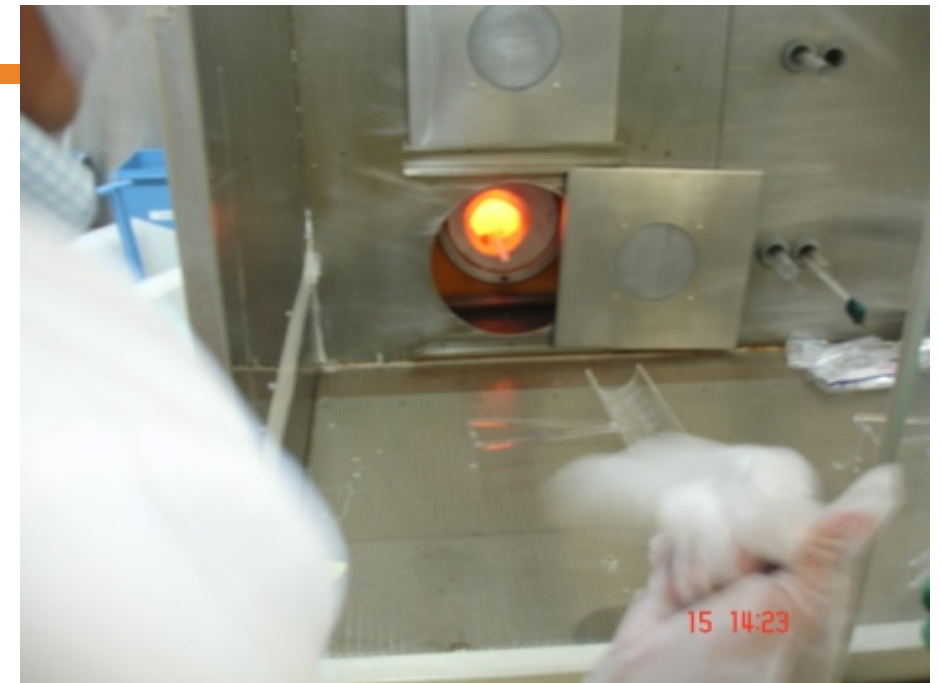


- Si y Dióxido de Silicio

## OXIDACIÓN

Crecimiento de una Película muy delgada o película epitaxial, dieléctrica o aislante eléctrica de dióxido de silicio o cuarzo.

En hornos de altas temperaturas de 900 a 1200 grados centígrados.

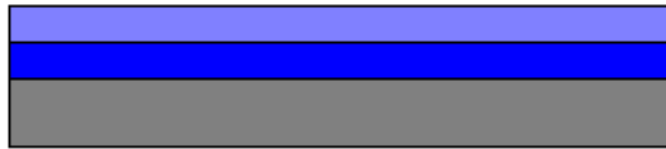






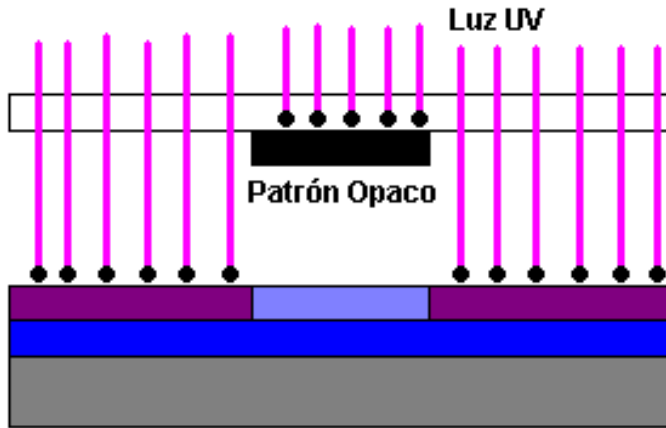
SiO2 (1u)  
Silicio Tipo p/n

#### A Oxidación



Capa de Fotoresist Negativo (+/- 1u)  
SiO2  
Si

#### B Preparación para la Litografía



Plato de Vidrio

Patrón Opaco

Luz UV

Resist Endurecido

#### C Exposición



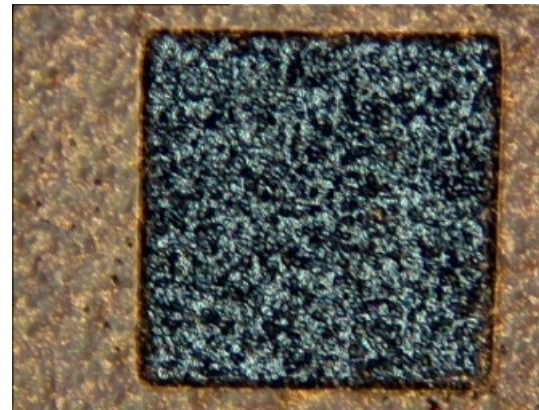
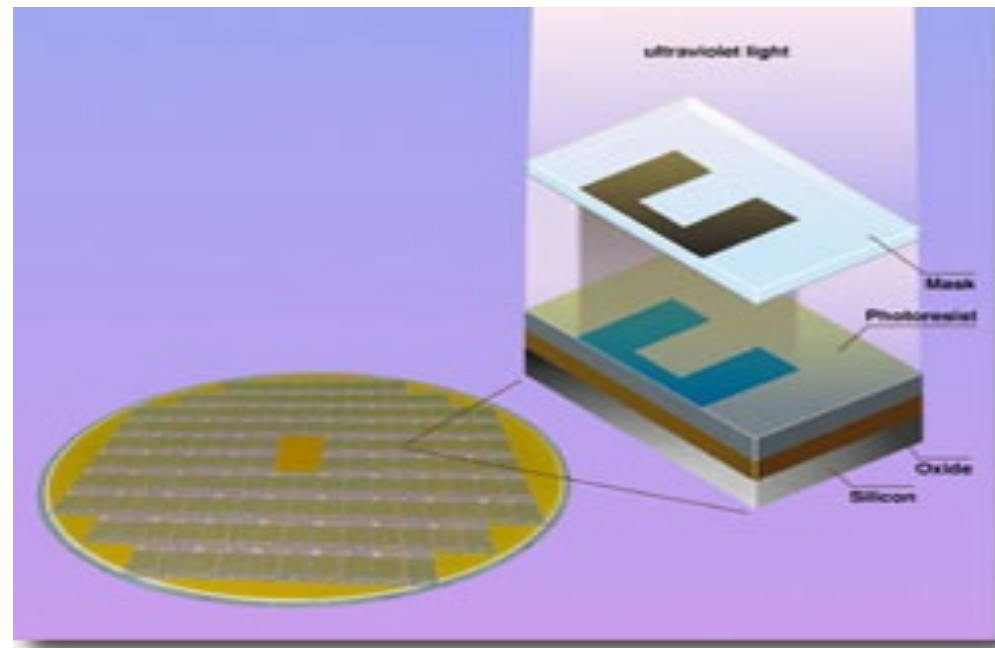
#### D Resist no expuesto, se remueve con revelador



#### E SiO2 grabado con NH4 F + HF

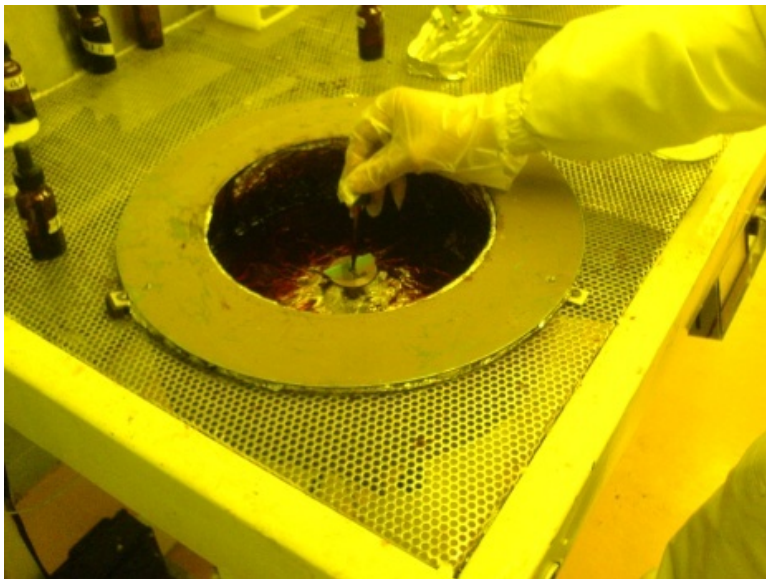


#### F Resist expuesto removido con H2SO4



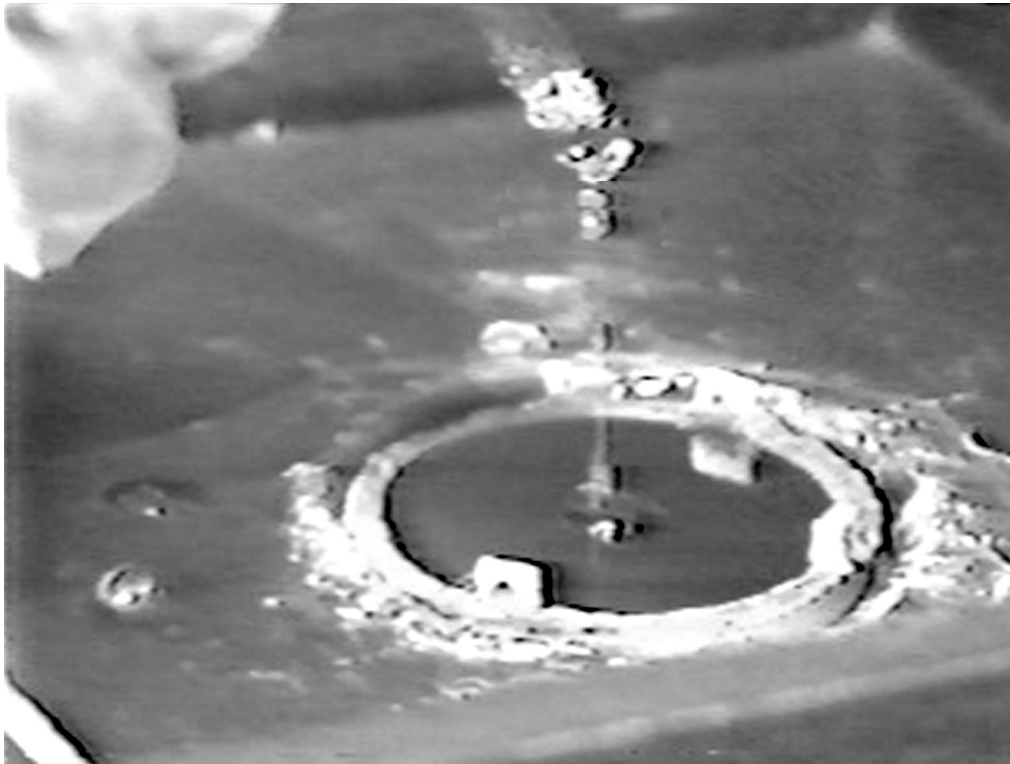


# FOTOLITOGRAFÍA





MÁQUINA CENTRÍFUGA PARA EL DEPÓSITO DE LA RESINA FOTOSENSIBLE.  
ESTA MÁQUINA TRABAJA DE 500 A 3000 RPM, LA OBLEA DE SILICIO SE SUJETA POR VACÍO.  
(DEPARTAMENTO DE SEMICONDUCTORES BUAP).

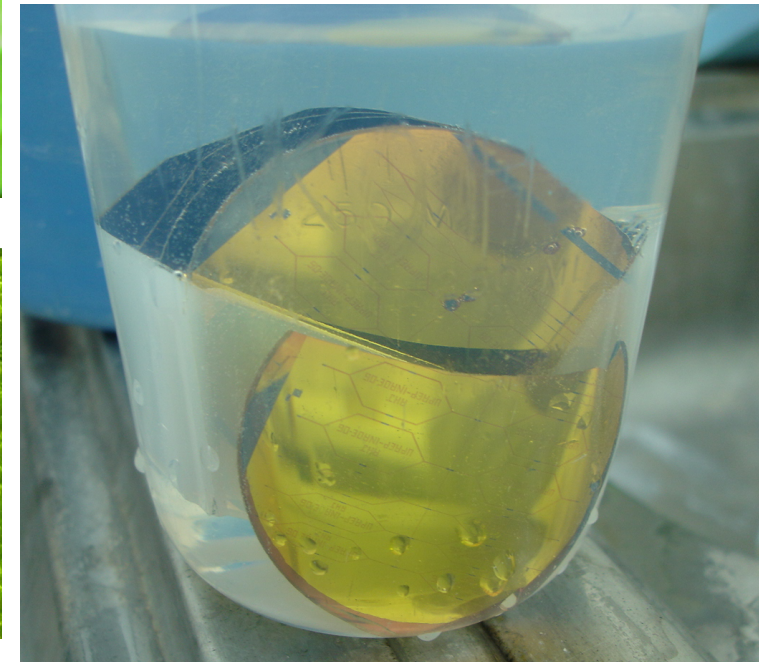
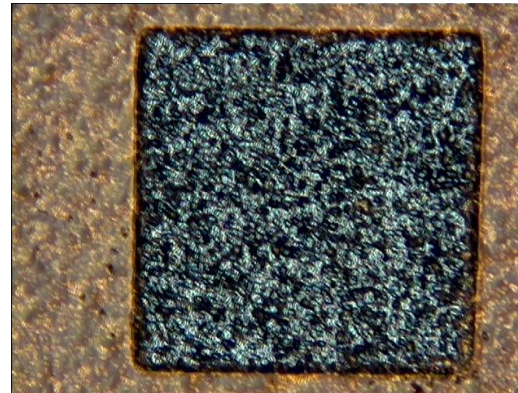


## MICROMAQUINADO

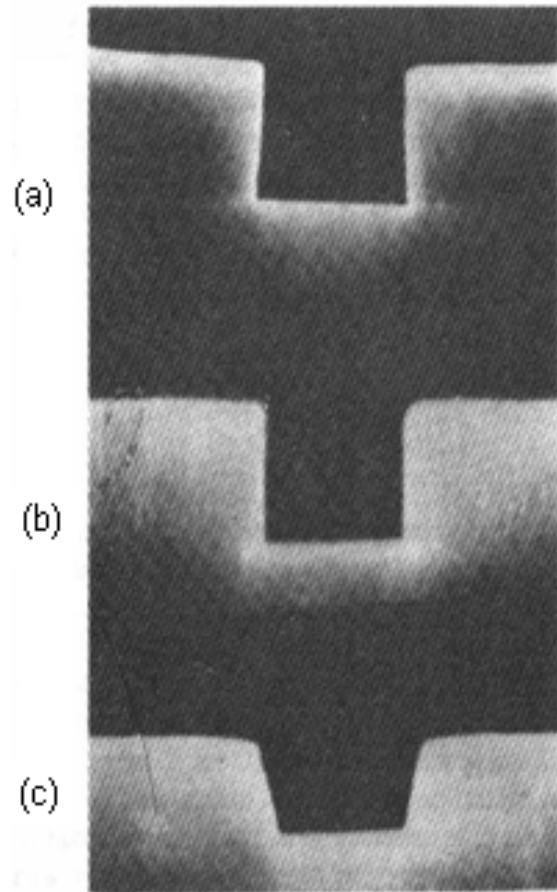
- Grabado de Dióxido de silicio.
- HF
- Grabado de los Trampolines  
o

## Cantilevers

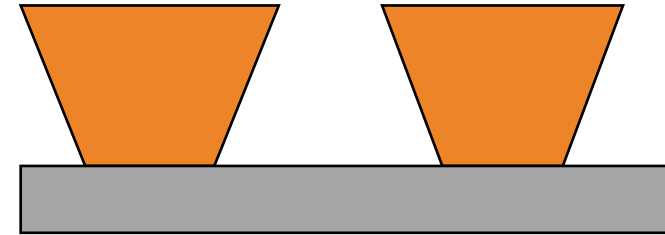
- KOH
- NaOH



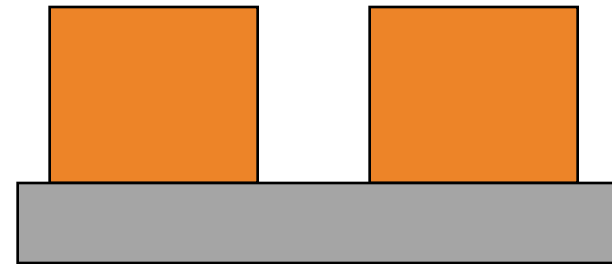
# PERFILES DEL MICROMAQUINADO EN SI



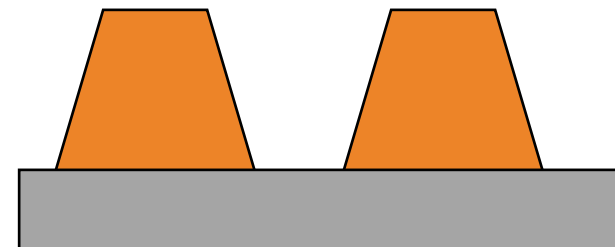
(100)



(111)

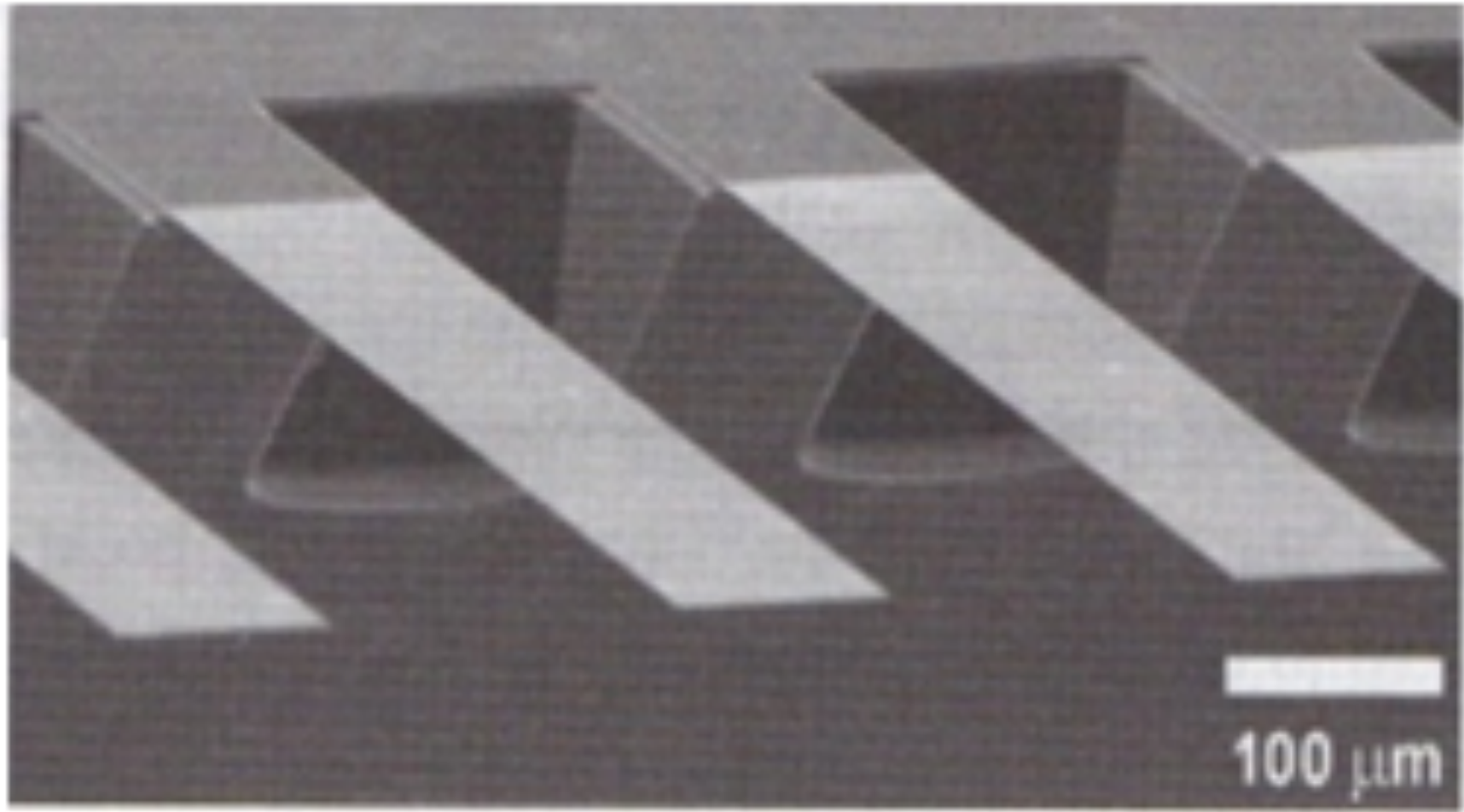


(100)





## MICROFOTOGRAFÍA DE UNA SECCIÓN DE UN ARREGLO DE 8 CANTILEVERS



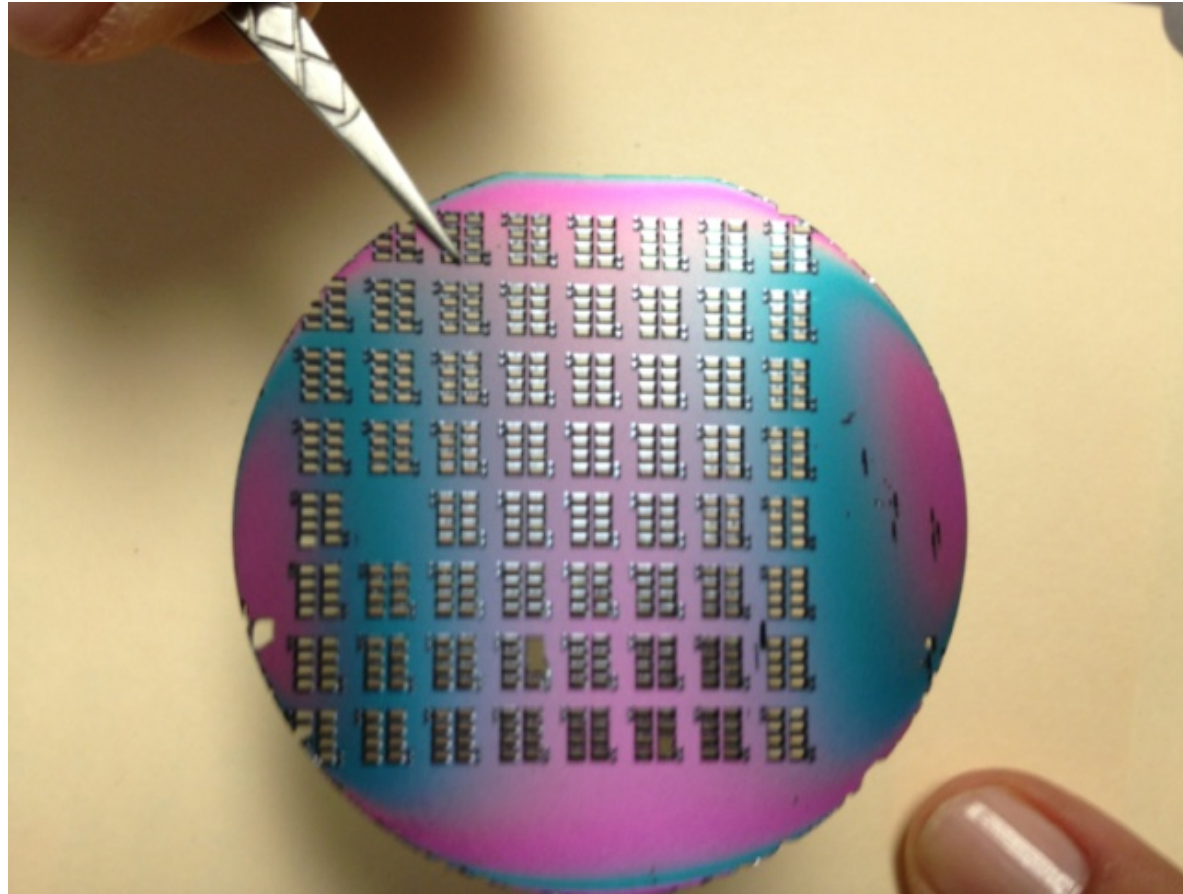




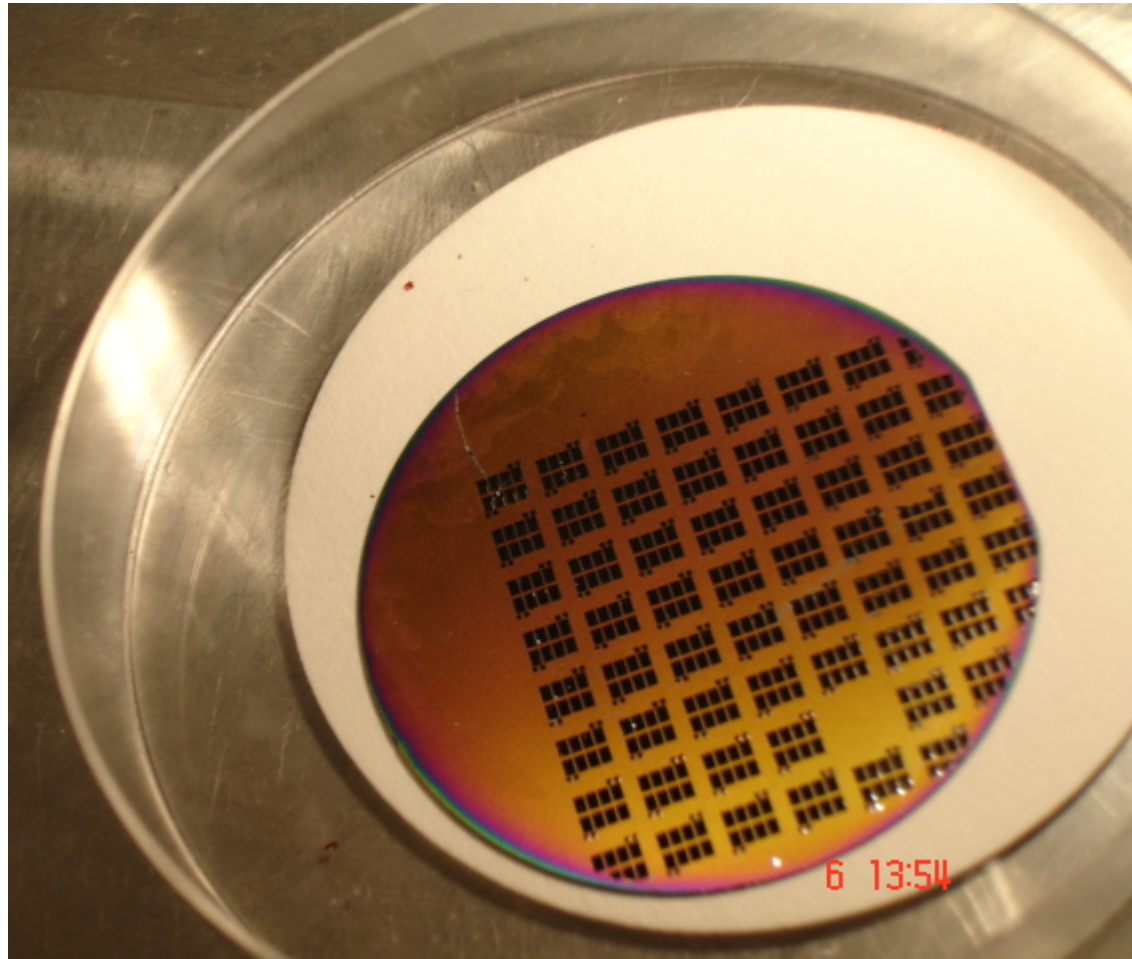
Diseño, desarrollo y construcción de BioMEMS con  
tecnológicos con tecnología mexicana.



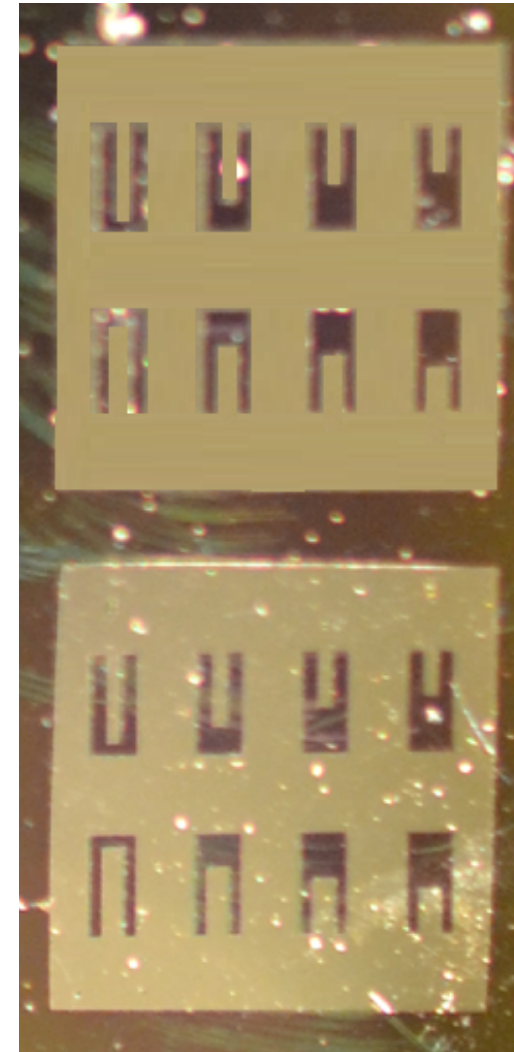
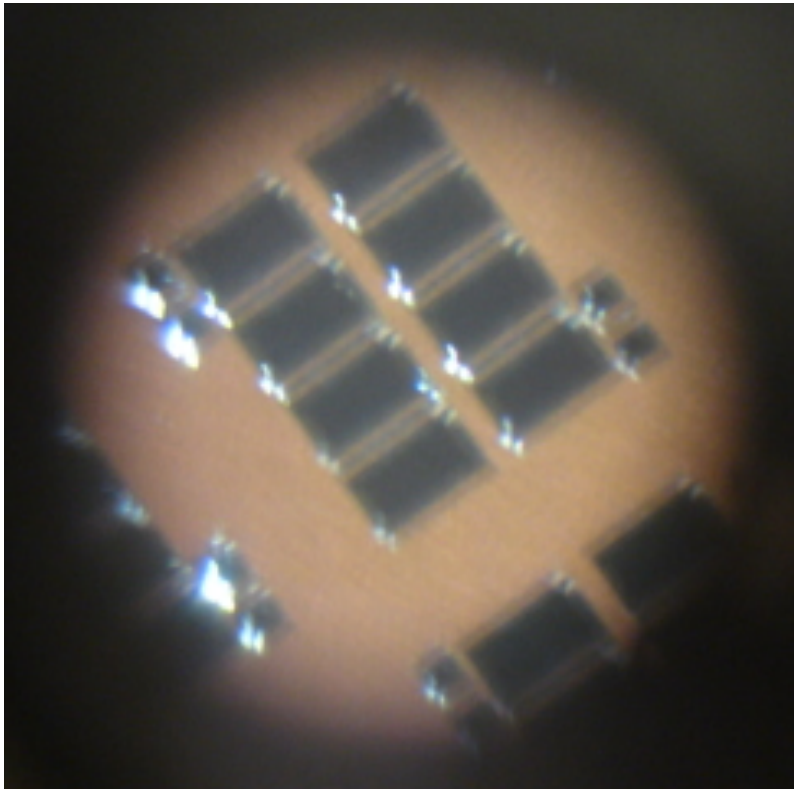
# EL LAB-ON-A-CHIP, MICRO-LABORATORIO, BioMEMS DE PROPÓSITO GENERAL.



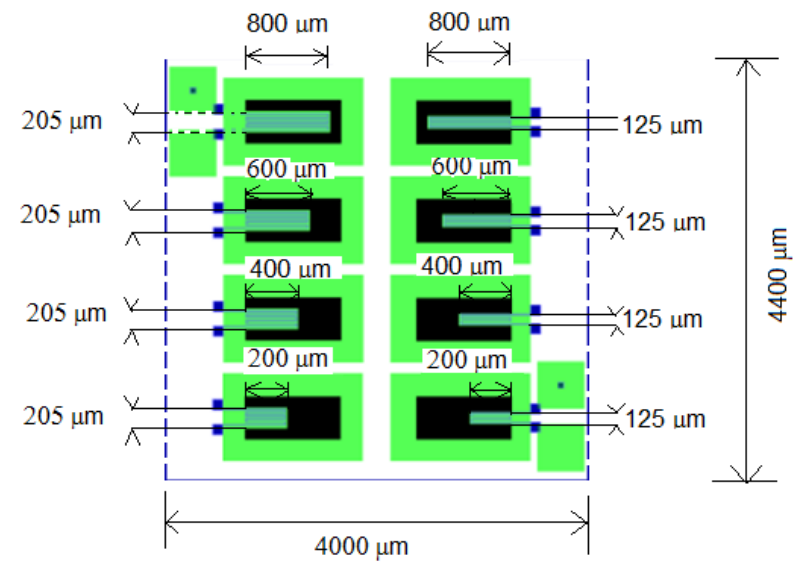
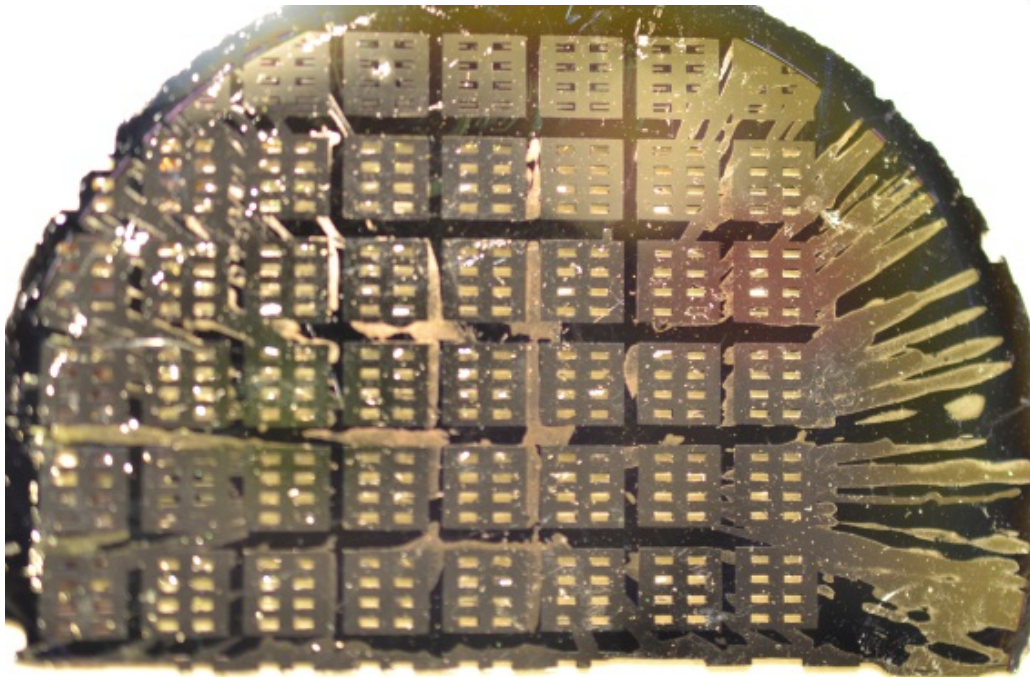
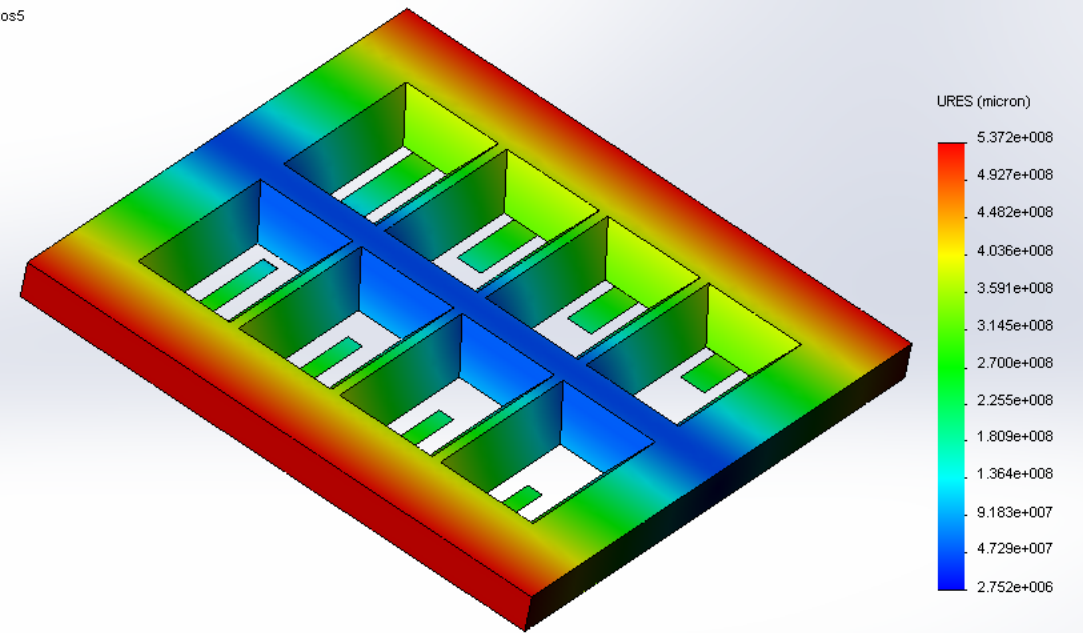
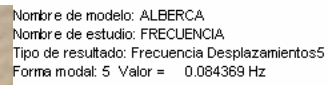
## OBLEA DE SILICIO PROCESADA



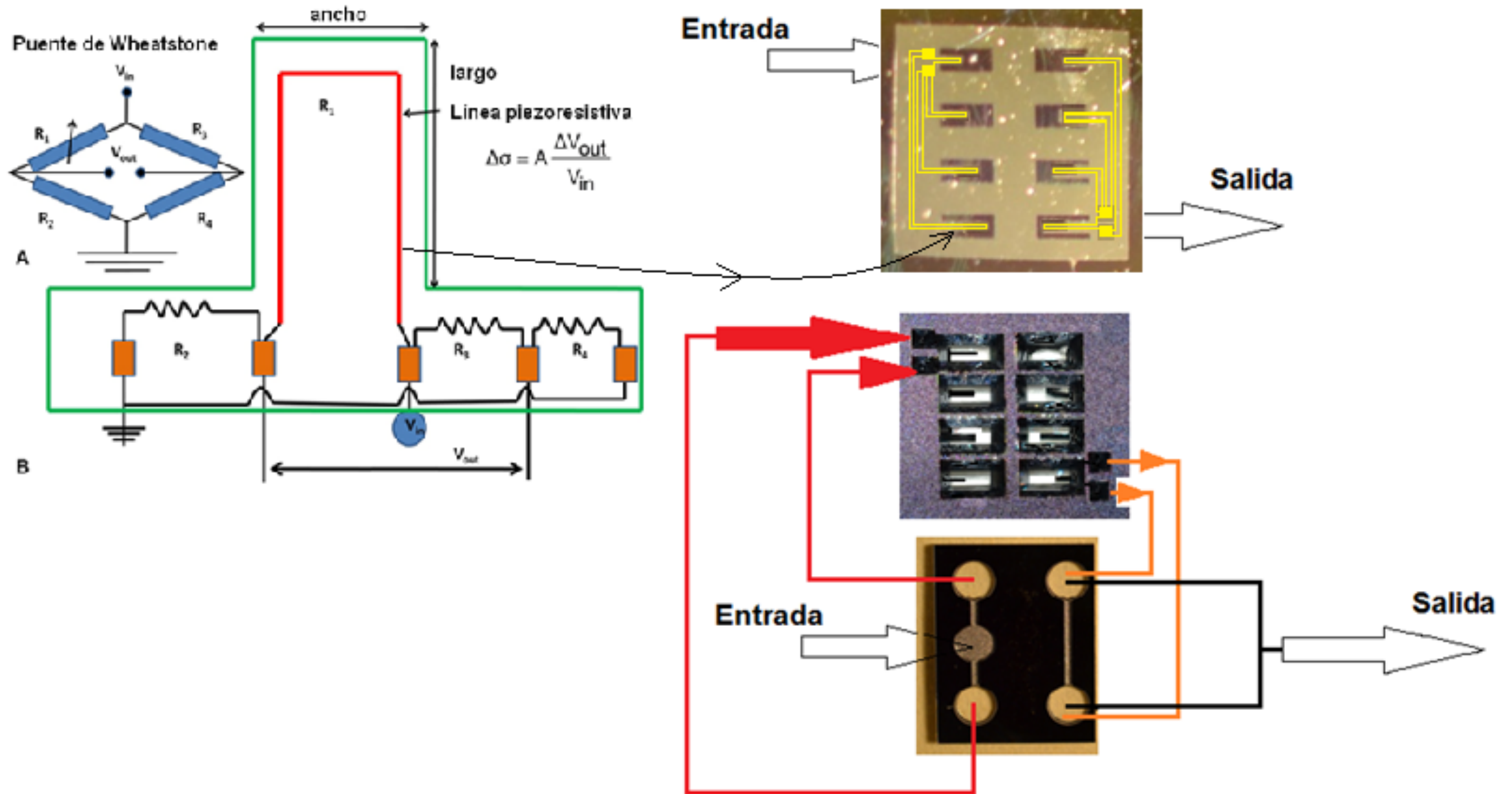
## DETALLE DE LOS CANTILEVERS







# RESULTADOS



# CARACTERIZACIÓN DEL BIOMEMS

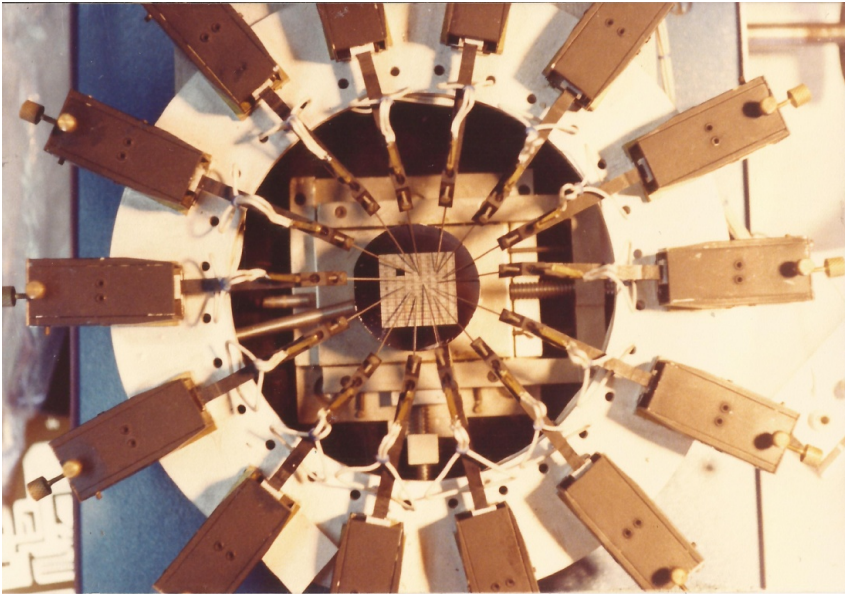


- Microscopio multipuntas UPAEP para caracterización de dispositivos MEMS

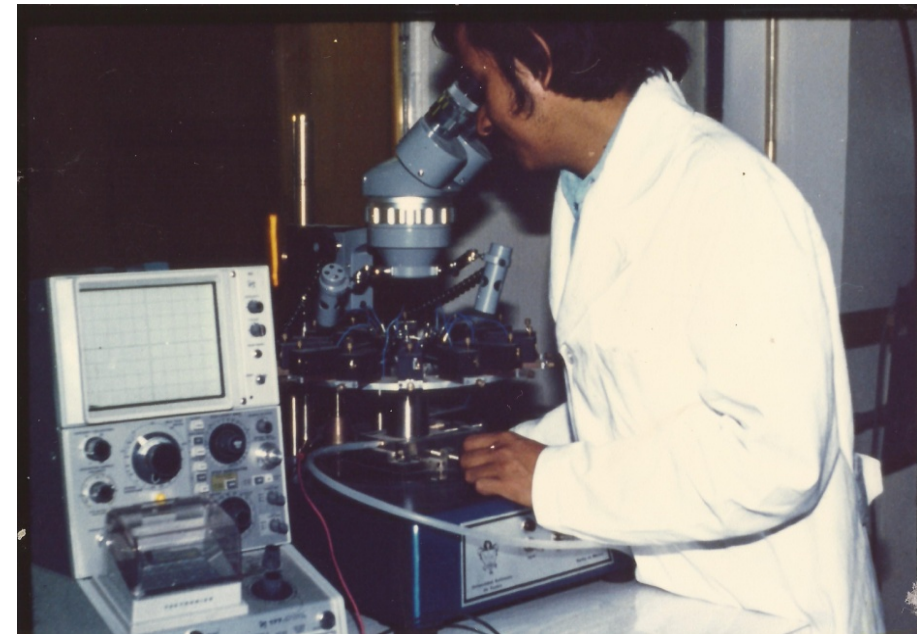


# MICROSCOPIO MULTIPUNTAS 1979 UAP.

Detalle del microscopio multipuntas, para pruebas Eléctricas.



Microscopio multipuntas y osciloscopio trazador de curvas





# PROPIEDADES OPTO-MECÁNICAS DE LOS CANTILEVERS

Cantilevers a oscuras



Cantilevers en penumbra



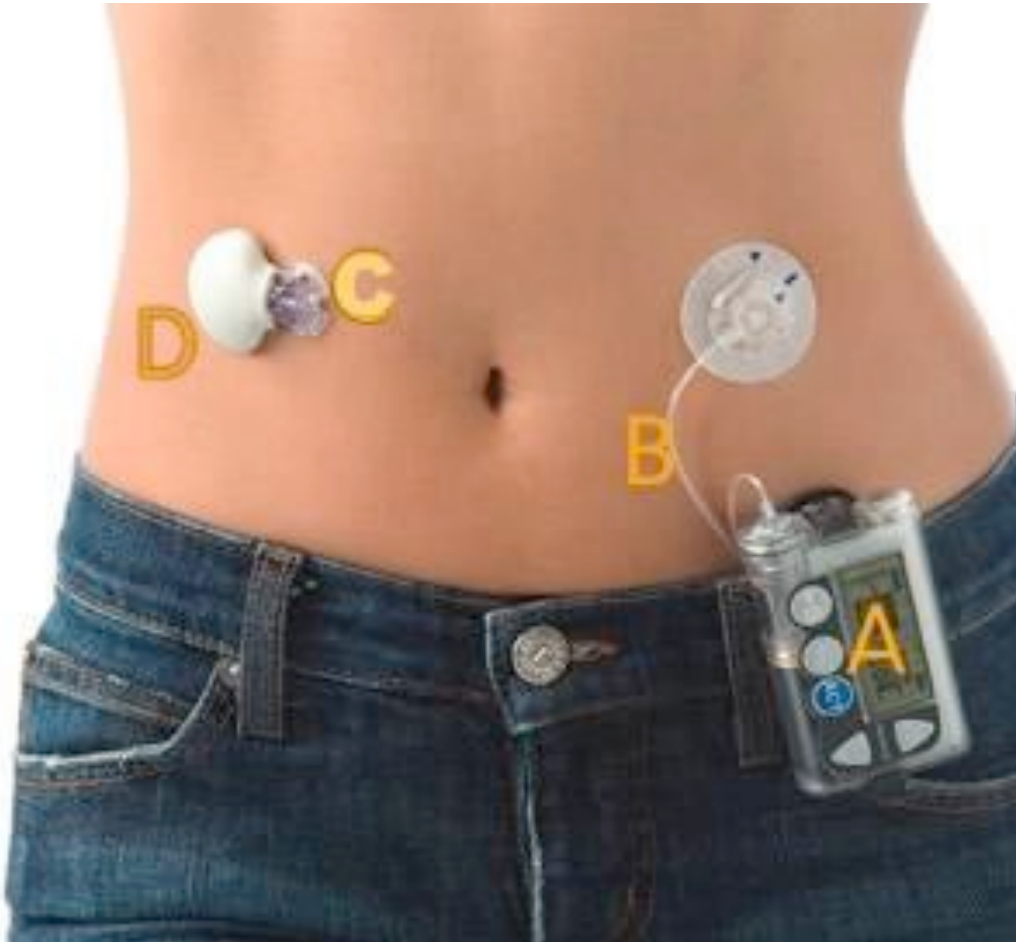


# APLICACIONES DE BioMEMS

---

## APLICACIONES DE MEMS

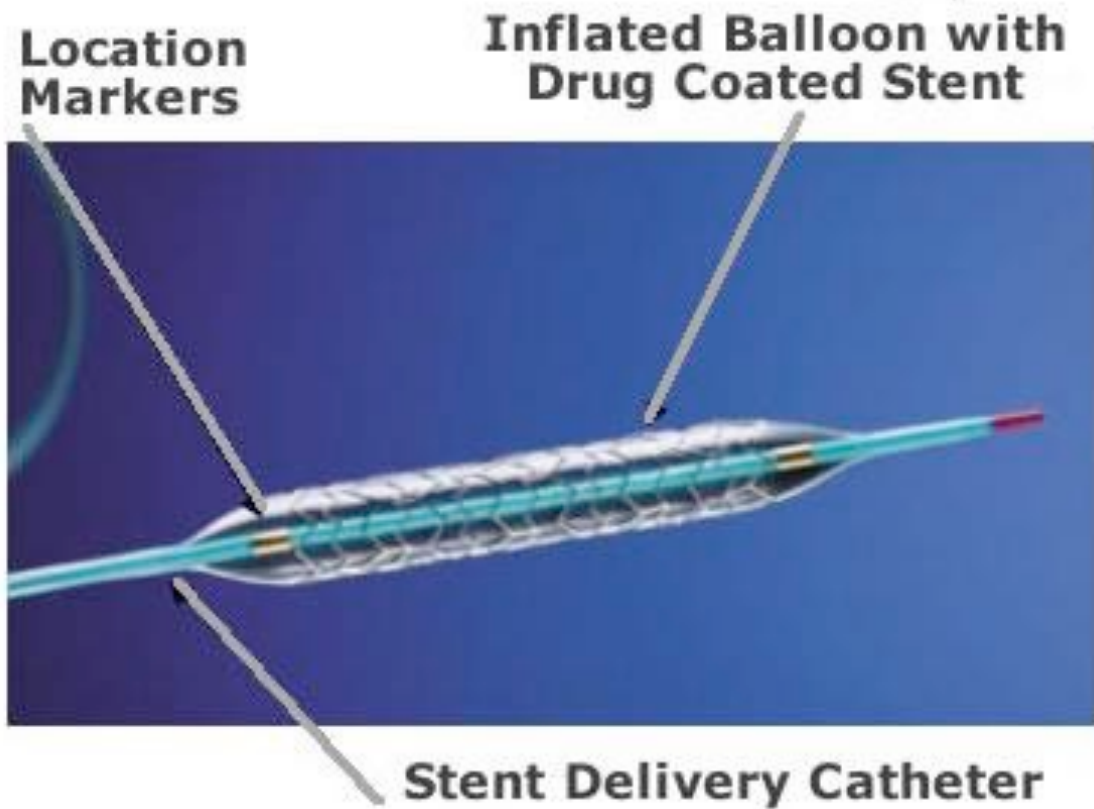
- ❑ Productos de consumo.
- ❑ Juegos
- ❑ Aeroespacial
- ❑ Automotriz
- ❑ Fluidica
- ❑ Biomédica
- ❑ Química
- ❑ Pantallas ópticas.
- ❑ Comunicaciones inalámbricas y ópticas.



Monitores de glucosa subdérmicos que no solo monitorean los niveles de glucosa, sino también entregar la cantidad necesaria de insulina.

- MiniMed Paradigm 522 muestra un Paciente diabético que lleva un sensor químico (C) que mide la glucosa en sangre y un transmisor (D) que envía la medición a la computadora en (A).
- (A) también contiene una Microbomba que libera una cantidad precisa de insulina a través de la cánula (B) hasta el paciente.
- Esto es un monitoreo continuo de BioMEMS y entrega de medicamentos.
- Sistema que ha eliminado los pinchazos en el dedo tradicional para las muestras de sangre que los diabéticos tienen que hacer a diario.



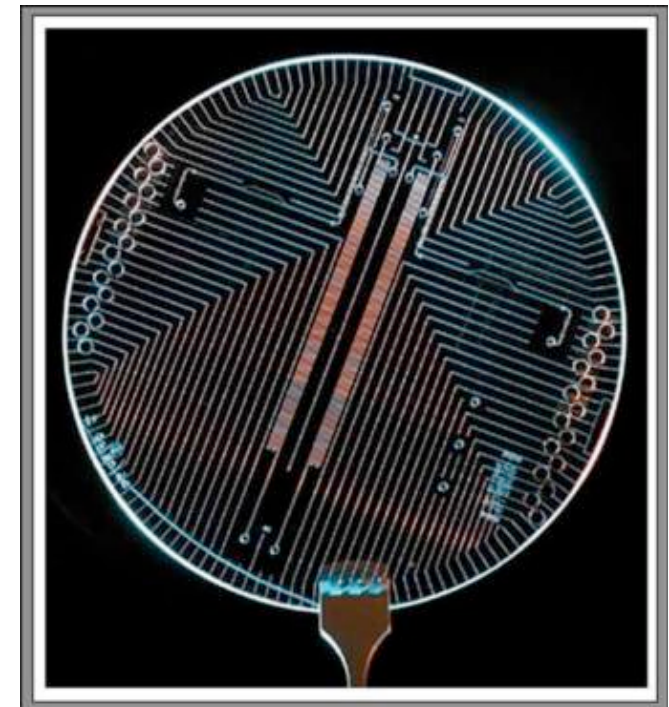


*TAXUS Express Drug-Eluting Stent  
Developed by Boston Scientific  
Corporation [Image Source: FDA]*

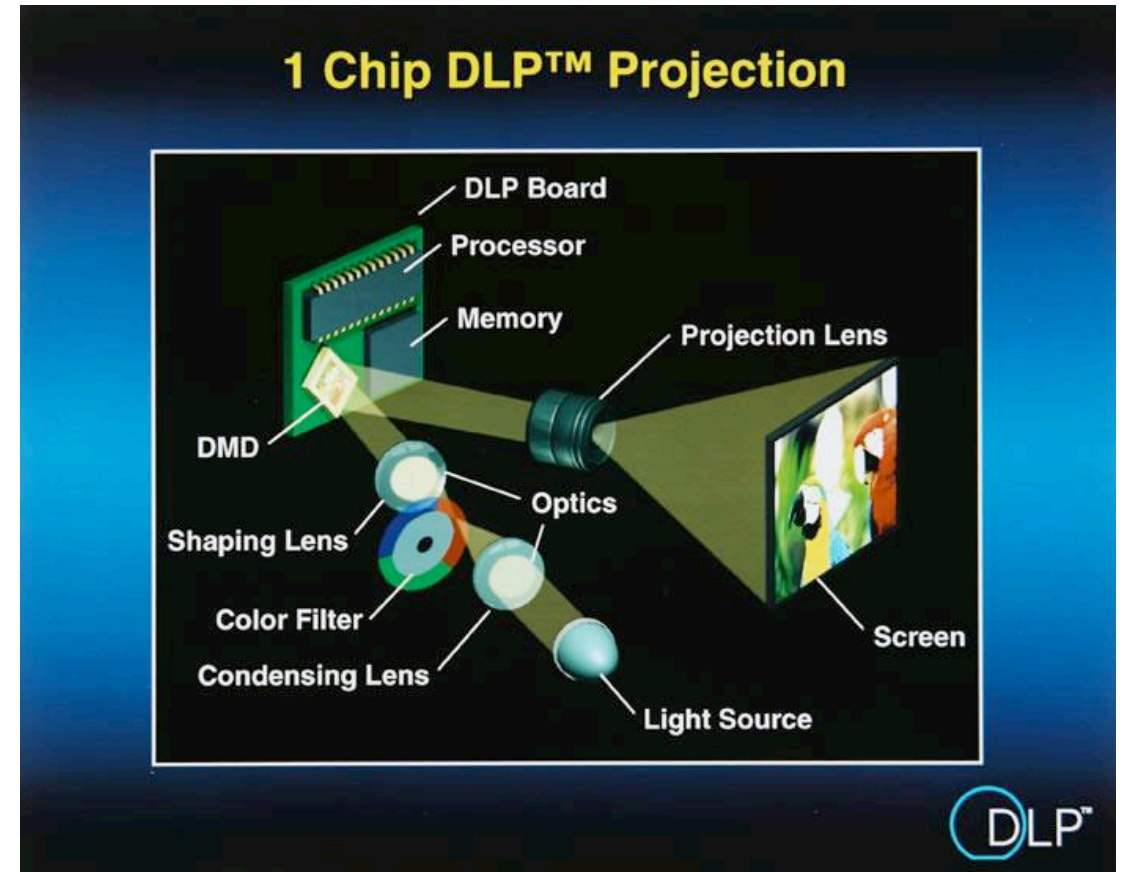
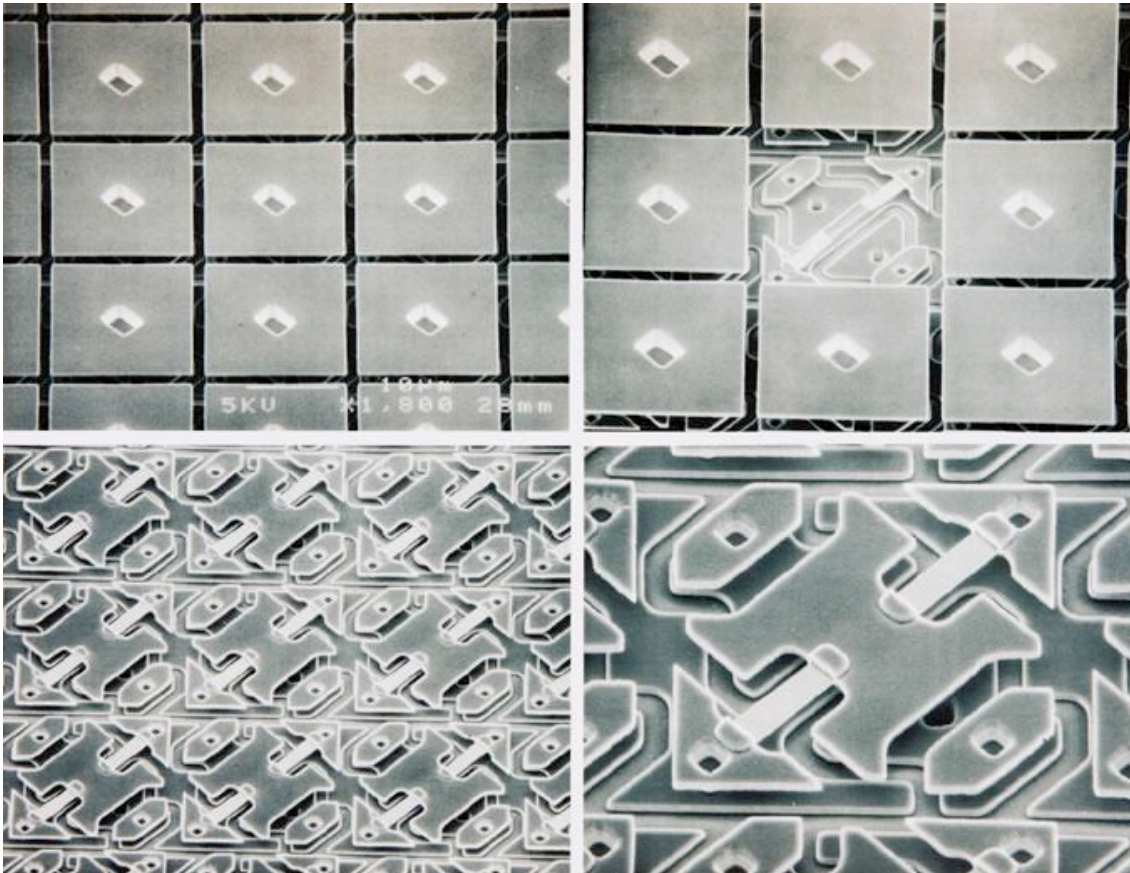
- Stents médicos insertados en arterias previamente bloqueadas para abrir y mantener un canal claro para el flujo de allí los dispositivos están recubiertos con un nanocoating de un medicamento que se libera lentamente en el torrente sanguíneo con el tiempo.
- Esto evita un nuevo estrechamiento de la arteria y futuros procedimientos.

# (LOC, LAB ON A CHIP) LABORATORIO EN UN CHIP .

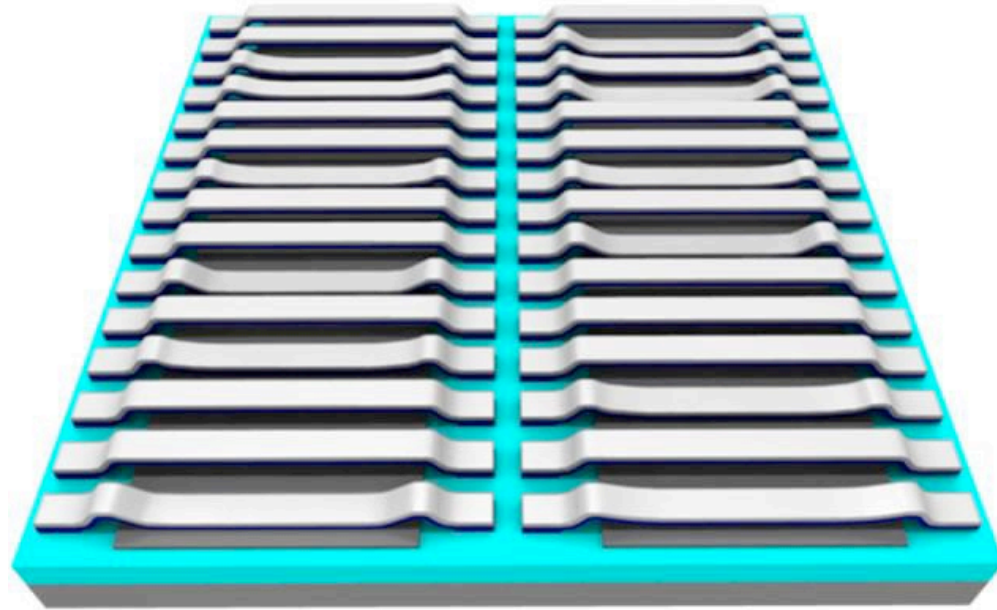
- Este dispositivo toma literalmente las pruebas de laboratorio de muestras biomoleculares (por ejemplo, sangre, orina, sudor, esputo) del laboratorio médico típico y lo coloca en el campo e incluso en casa.
  - Usando microfluidos y sensores químicos, esto BioMEMS pueden identificar simultáneamente múltiples analitos (sustancias analizadas).
  - Un ejemplo de un hogar LOC es el hogar prueba de embarazo.
  - Este BioMEMS utiliza un recubrimiento reactivo que identifica una proteína específica encontrada en la orina de mujeres embarazadas.
- *Lab-on-a-chip (LO) cortesía de Blazej, R. G., Kumaresan, P. and Mathies, R.A. PNAS 103,7240-7245 (2006).*



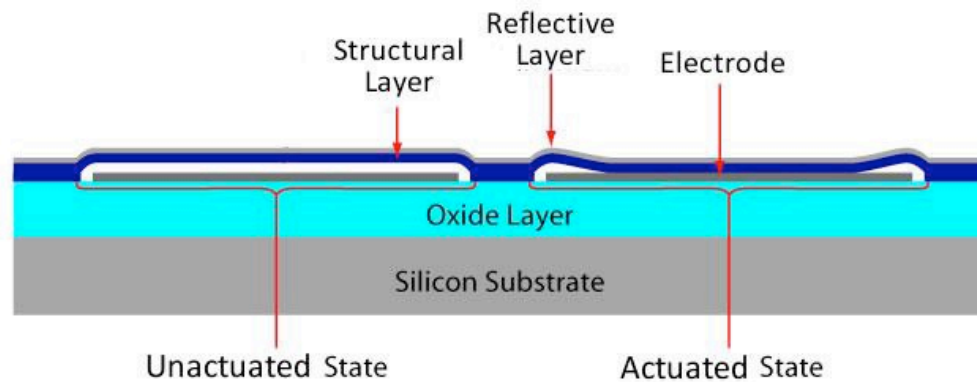
LEVELS OF A DMD ARRAY (LEFT) AND HOW A DLP SYSTEM WORKS (RIGHT). P.16  
[IMAGES COURTESY OF TEXAS INSTRUMENTS]







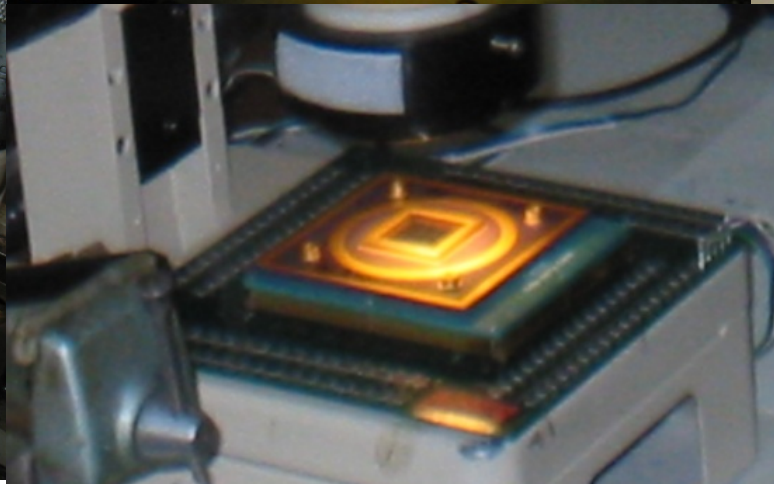
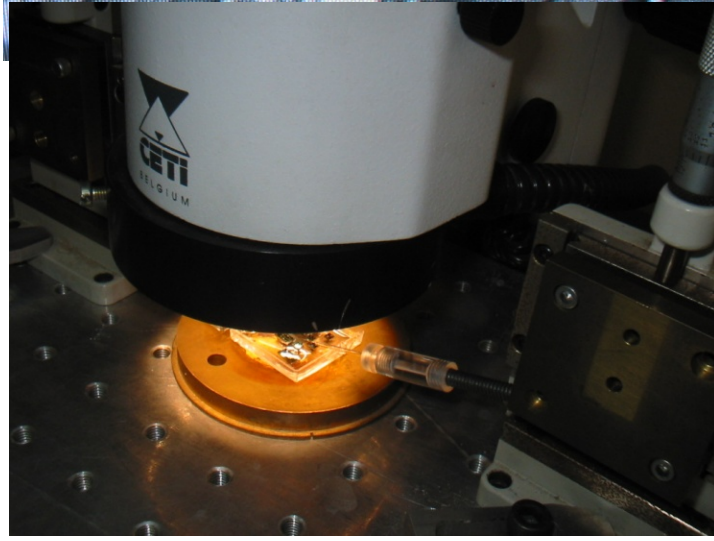
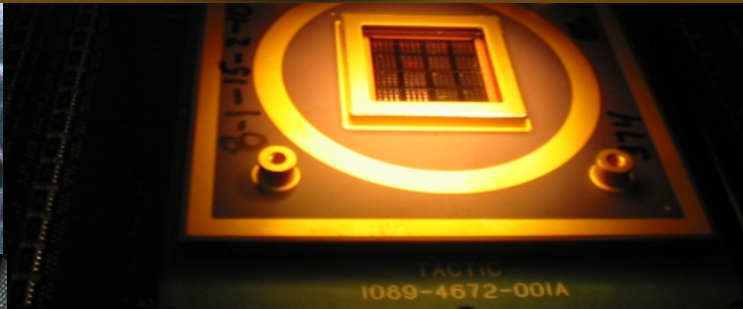
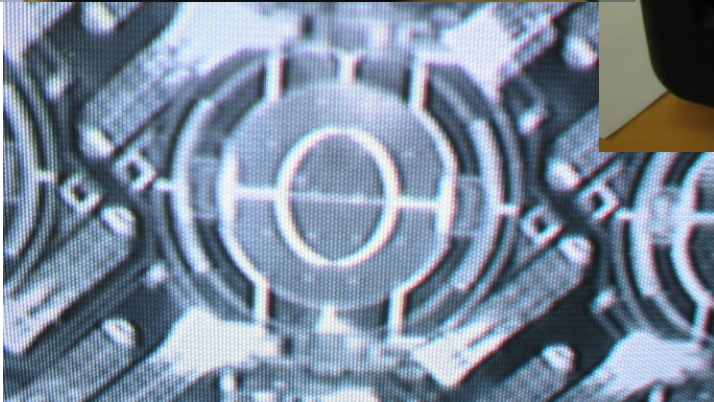
Cross-section of GLV fabrication and actuation



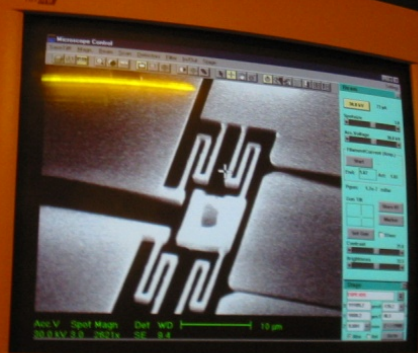
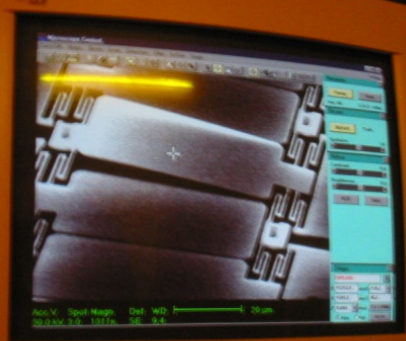
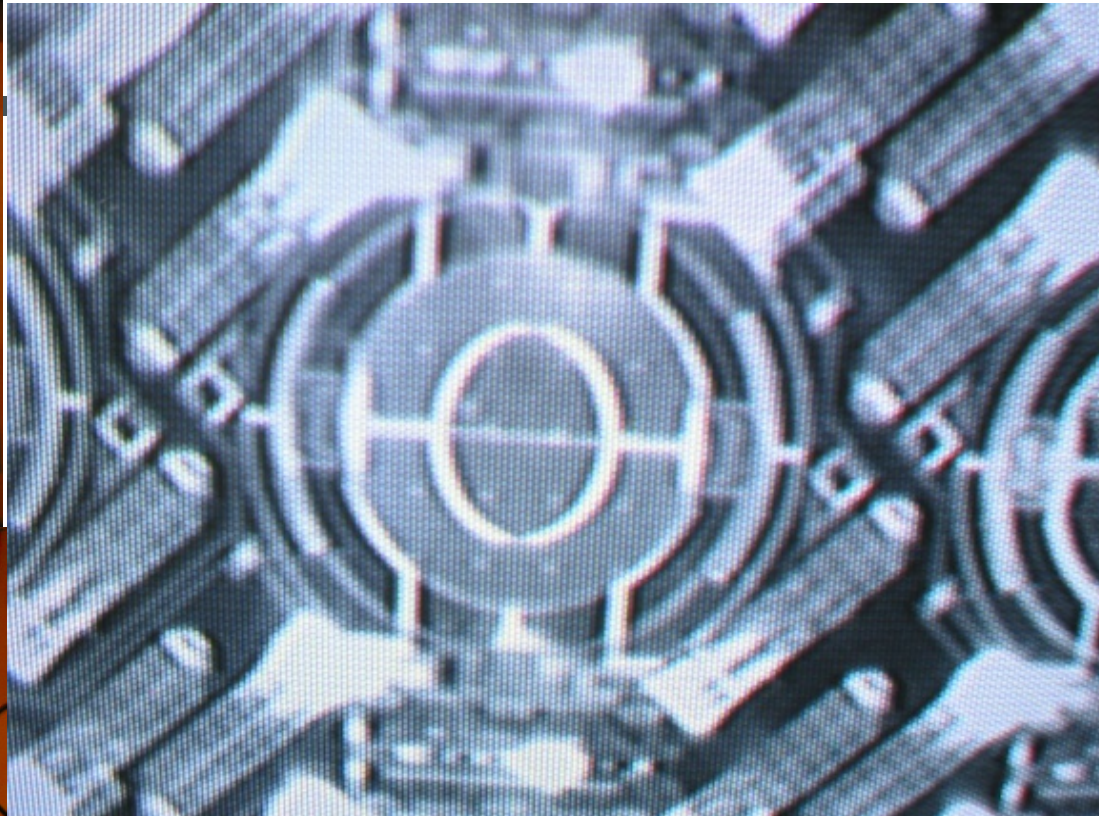
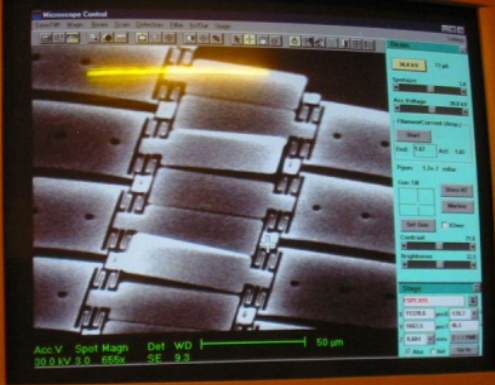
*GRATING LIGHT VALVE – TOP VIEW  
AND SIDE VIEW SHOWING  
ACTUATED AND UNACTUATED  
STATES.*

- Moduladores de luz, válvula de luz de rejilla: vista superior y vista lateral que muestra los estados accionados y no accionados



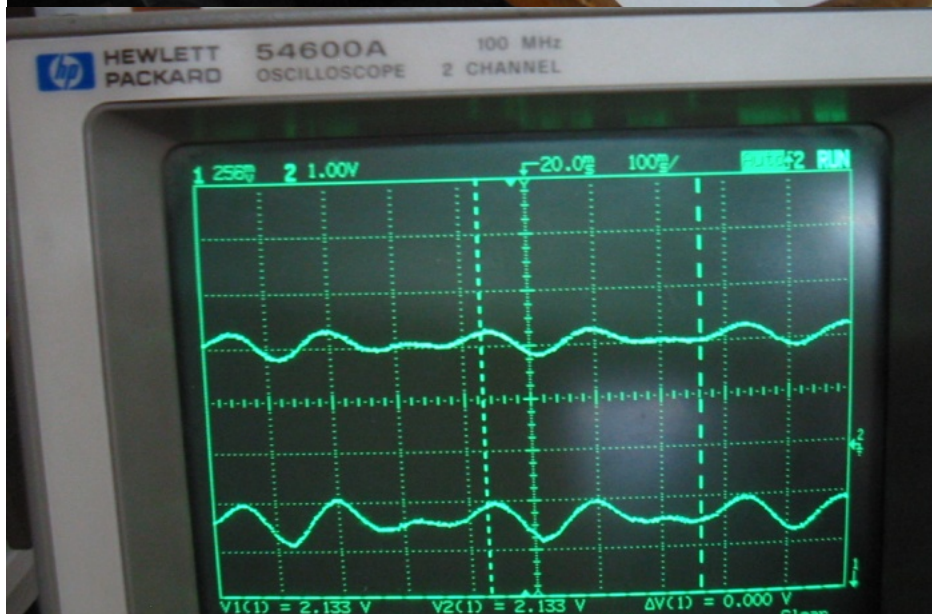
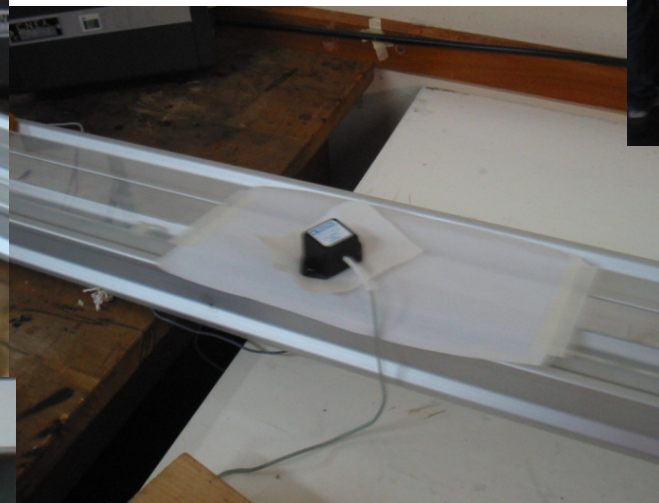








# ACELERÓMETRO, MEMS






## CONCLUSIONES

¿EN QUE DEBEMOS INVERTIR PARA FORTALECER EL  
DESARROLLO TECNOLÓGICO EN BIOMEMS?





- 
1. Materiales estratégicos
  2. Desarrollo de software
  3. Industria de microelectrónica
  4. Industria de Ingeniería Biomédica



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



1. Pedroza Meléndez Alejandro, Fraguera Collar Andrés, Chavira Martínez Elsa, Duran López Rafael, *“Introducción al Bioelectromagnetismo y Bioseñales”*, Editorial Corinter, México, 2015.
2. Dana M. Deupree, MD, *"Artificial Retina Implant in Phase II"*, The Macula Center. March 26, 2008.
3. Gina Roos, *“MEMS Targeting Consumer Electronics”*, EE Times, September 2002.  
<http://www.eetimes.com/story/OEG20020909S0050>
4. Reología, <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/measurement-type/rheology-viscoelasticity>
5. John DeGaspari, *“Pumped Up”*, Mechanical Engineering Magazine, April 2005.  
<http://www.memagazine.org/contents/current/features/pumpedup/pumpedup.html>
6. Srinivas Tadigadapa and Sonbol Massoud-Ansari, *"Applications of High Performance MEMS Pressure Sensors Based on Dissolved Water Process"*. Intergrated Sensing Systems, Inc.  
<http://www.memsissys.com/pdf/issystech2.pdf#search='MEMS%20pressure%20sensor%20applications'>
7. *"MEMS Applications“*, All About MEMS, 2002,  
<http://www.allaboutmems.com/memsapplications.html>





■ GRACIAS