

# ***Investigación en Plasmas***

## ***Física experimental***

Felipe Veloso + Grupo de Optica y Plasma

<http://www.fis.puc.cl/~plasma>

<http://www.fis.puc.cl/~fveloso>



- Que es el plasma
- Quienes somos (grupo)
- Que se hace en el grupo
- Que hago yo

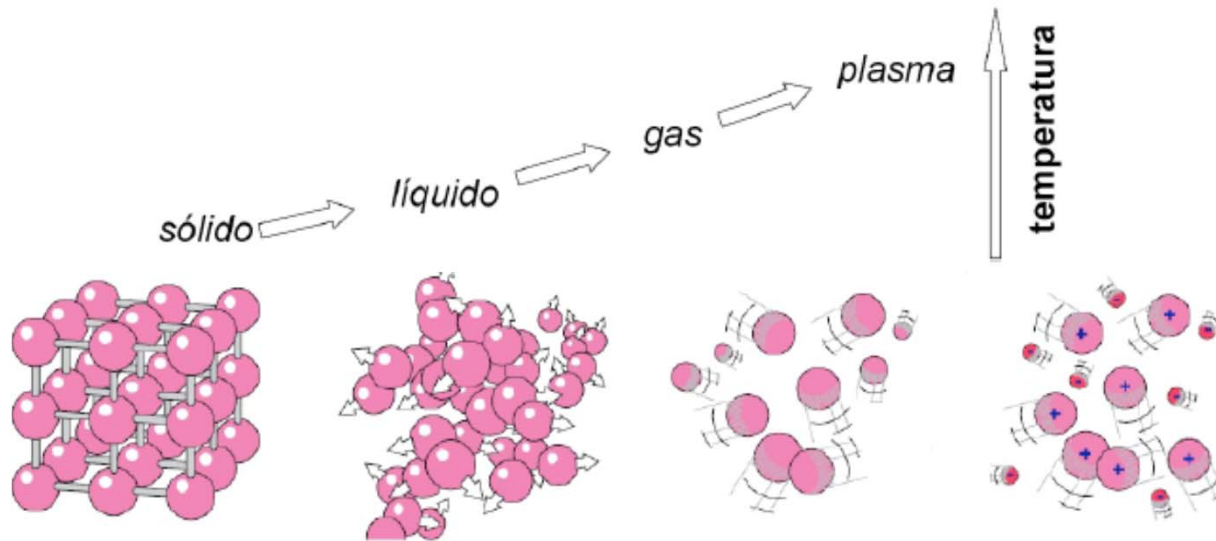


- Que es el plasma
- Quienes somos (grupo)
- Que se hace en el grupo
- Que hago yo



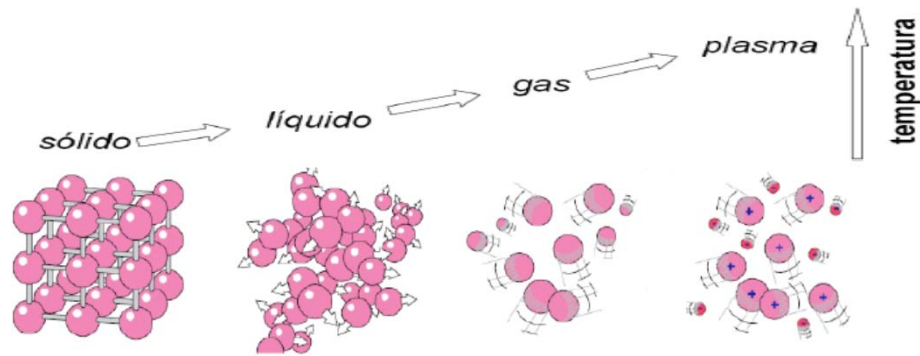
# ¿Qué es un plasma?

El plasma es un gas “cuasi-neutral” de partículas cargadas (y eventualmente neutras) que exhiben un comportamiento colectivo



El 99.99% del Universo *visible* es plasma





Pelotas rojas → electrones

Pelotas amarillas → iones

Pelotas azules, verdes, etc  
→ neutros, otros iones, etc

Es sencillo imaginarse un plasma como una piscina de pelotas

Están todos juntos, pero la carga eléctrica total es cero



Temperaturas  $> 10.000 \text{ K}$   
( $1\text{eV} = 11600 \text{ K}$ )

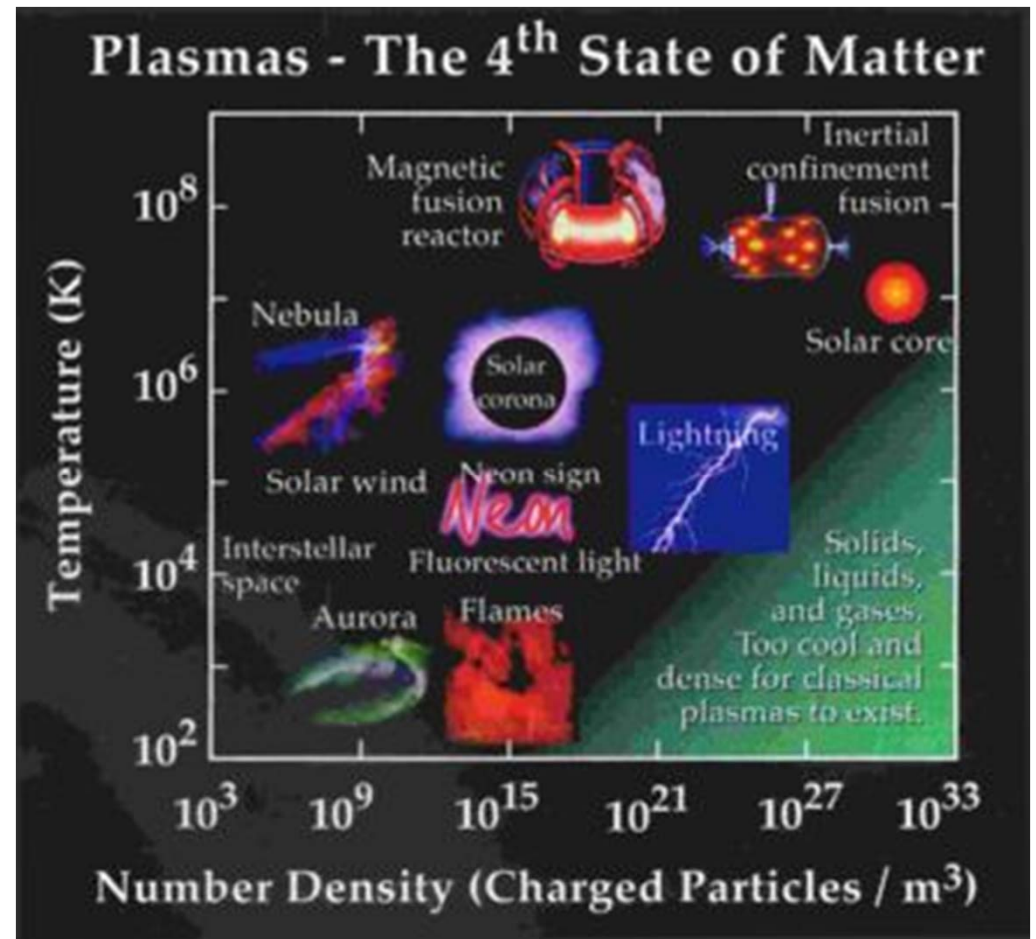
Resistividad eléctrica  $\rightarrow 0$

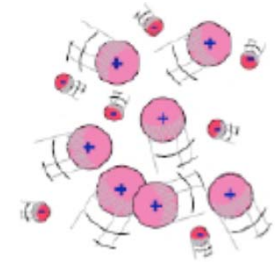
Muy amplio rango de  
densidades y temperaturas

Sin embargo, para mantener el gas ionizado es necesario entregar energía a las partículas para evitar su recombinación

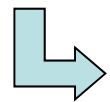
En nuestro laboratorio, eso se logra mediante:

- Descargas eléctricas de alta corriente
- Potencia muy alta de luz láser
- Campos eléctricos oscilantes (RF)



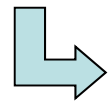


Al estudiar la física de plasmas es posible estudiar:



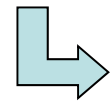
Fenómenos de Ciencia Básica:

Comportamiento de la materia en condiciones extremas



Aplicaciones como fuente de partículas:

Es relativamente fácil extraer iones, electrones (a veces neutrones)  
Emite luz visible, UV, rayos X dependiendo del tipo de plasma



Otras aplicaciones:

Capaz de destruir enlaces moleculares difíciles (altas temperaturas)  
Permite (o asiste) la formación de moléculas

Todos estos posibles estudios,  
dependen de las características  
del plasma:

Composición  
Densidad  
Temperatura



# ¿Cómo se describe un plasma?

El plasma puede ser considerado como un conjunto de partículas individuales  $\longrightarrow$  Formalismos de Teoría Cinética

$$\begin{aligned}
 Mn \left( \frac{\partial \vec{u}_i}{\partial t} + (\vec{u}_i \cdot \nabla) \vec{u}_i \right) &= en \left( \vec{E} + \vec{u}_i \times \vec{B} \right) - \nabla p_i + \vec{P}_{ie} \\
 mn \left( \frac{\partial \vec{u}_e}{\partial t} + (\vec{u}_e \cdot \nabla) \vec{u}_e \right) &= -en \left( \vec{E} + \vec{u}_e \times \vec{B} \right) - \nabla p_e + \vec{P}_{ei}
 \end{aligned}$$

↓ Bajo ciertas aproximaciones

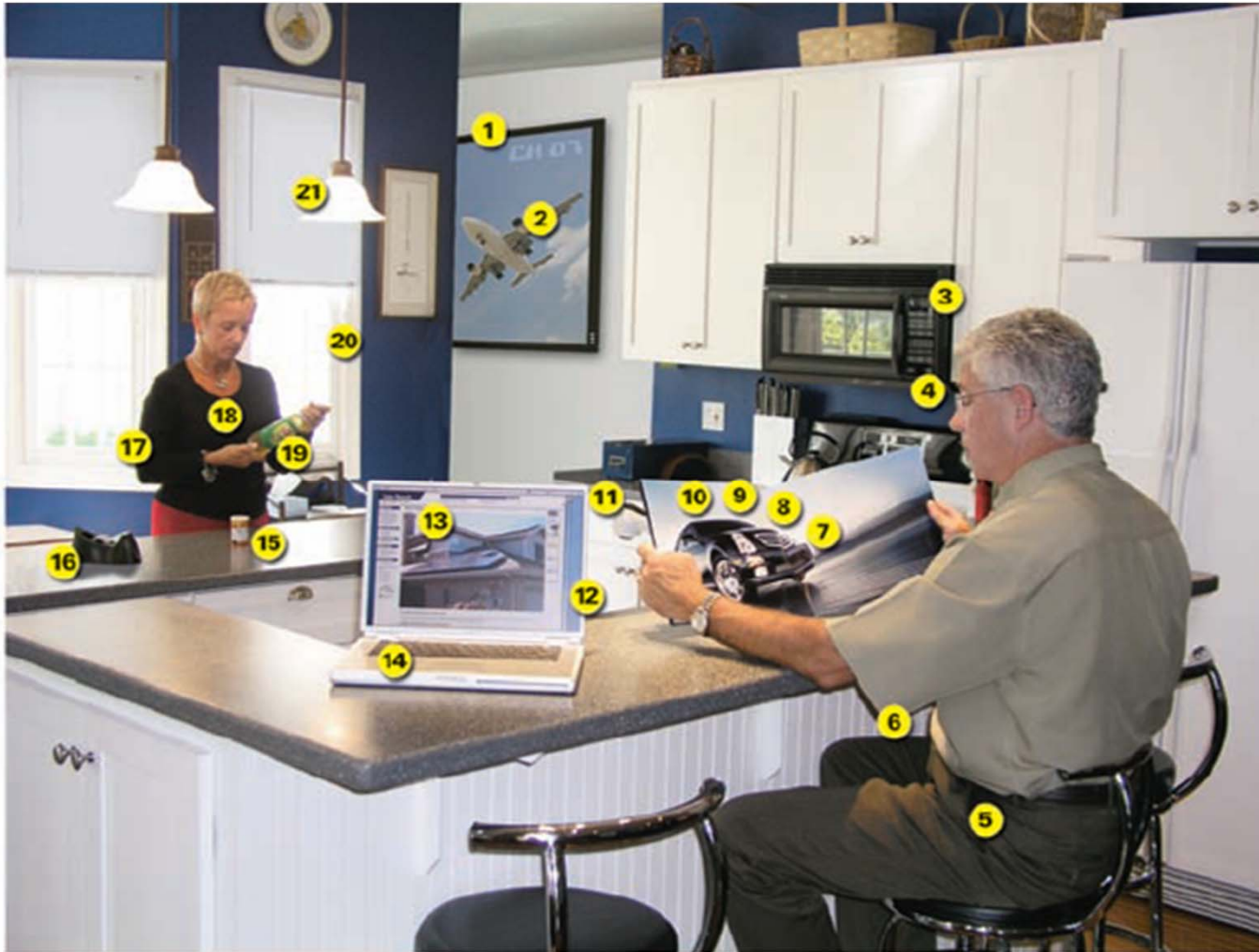
El plasma puede ser considerado como un fluido (sensible a campos EM)  $\longrightarrow$  Magnetohidrodinámica

$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \nabla(\rho \vec{v}) = 0$	Eq de continuidad	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
$\rho \frac{d}{dt} \vec{v} = \vec{J} \times \vec{B} - \vec{\nabla} p$	Eq de estado	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
$\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = \eta \vec{J}$	Ley de Ohm	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
$p \rho^{-\gamma} = \text{constante}$	Ley adiabática	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$





# Algo de aplicaciones de plasmas



- 01—Plasma TV
- 02—Plasma-coated jet turbine blades
- 03—Plasma-manufactured LEDs in panel
- 04—Diamondlike plasma CVD eyeglass coating
- 05—Plasma ion-implanted artificial hip
- 06—Plasma laser-cut cloth
- 07—Plasma HID headlamps
- 08—Plasma-produced H<sub>2</sub> in fuel cell
- 09—Plasma-aided combustion
- 10—Plasma muffler
- 11—Plasma ozone water purification
- 12—Plasma-deposited LCD screen
- 13—Plasma-deposited silicon for solar cells
- 14—Plasma-processed microelectronics
- 15—Plasma-sterilization in pharmaceutical production



- Que es el plasma
- Quienes somos (grupo)
- Que se hace en el grupo
- Que hago yo





El Grupo de Optica y Plasma nace en la década de los 80's, bajo el impulso del Prof. Hernán Chuaqui

Asi nació el primer laboratorio de Fisica Experimental en la PUC; y primero en Chile en su tipo.

Dio paso a la formación en Física Experimental (primer doctor en física experimental formado en Chile)

Con los años, el Grupo ha formado a la mayor cantidad de físicos experimentales, comparado con cualquier otro laboratorio del país

Hasta ahora...	32	Licenciados en Fisica
	9	Magisteres en Física
	11	Doctores en Física

Desde su consolidación ~ 3 proyectos Fondecyt en “régimen estacionario”





# Plasma UC

Actualmente somos:

4 profesores, 2 postdocs,  
1 est doctorado, 2 est magister  
2 est licenciatura, 1 est Inacap



- Que es el plasma
- Quienes somos (grupo)
- Que se hace en el grupo
- Que hago yo



En nuestro laboratorio, es posible distinguir (al menos) cuatro grandes temas:

⇒ Fundamentos puros de la Física de Plasmas

Estabilidad y dinámica en configuraciones Z-pinches

Wire arrays

Gas-embedded Z-pinches

⇒ Aplicaciones de plasmas en Ciencia de Materiales

Implantación/depositación de iones

Lasers de alta potencia

Descargas de Radio Frecuencia

Haces emitidos por un plasma focus

⇒ Aplicaciones de plasmas como fuente de rayos X (blandos)

Emisión de rayos X en distintos rangos espectrales

Descargas capilares

X-pinches

⇒ Técnicas de diagnósticos

Diagnósticos eléctricos...

Optica aplicada a plasmas

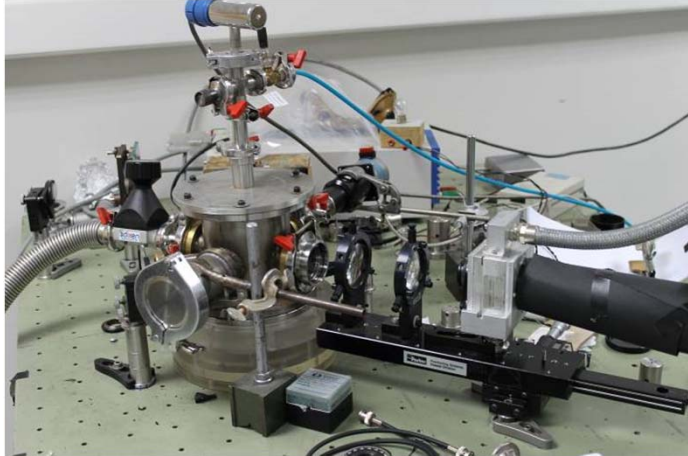
Holografía, interferometría

Rotación de polarización (Faraday)





## Equipos – Generadores de plasma



### Plasma producido por láser

(típicamente, 1064nm y 532nm, ~5ns, 0.2J)

Dinámica de plasmas de alta densidad, baja temperatura  
Implantación y depositación sobre materiales

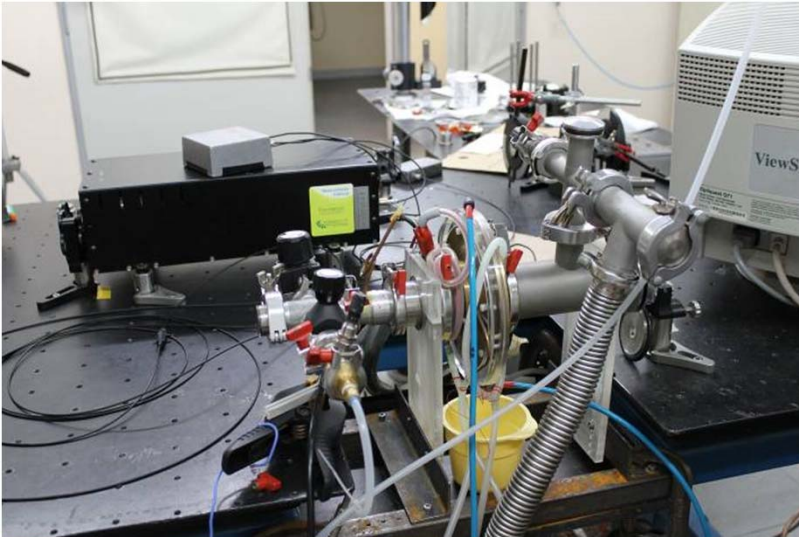


### Plasma generado por radio frecuencias (RF)

(13.56MHz)

Caraterización de plasmas RF bajo distintas condiciones  
Implantación y depositación sobre materiales

## Equipos – Generadores de plasma



### Descarga capilar pulsada

Dinámica de plasmas metálicos de alta densidad  
Fuente de rayos X en long de onda  $\sim 10$ s nm



### Plasma focus (3kJ energia)

Dinámica de plasmas de alta densidad, alta temperatura  
Implantación y depositación sobre materiales



## Equipos – Generadores de plasma



(~140kA, 110ns)



(~400kA, ~350ns)

## Generadores de potencia pulsada: GEPOPU y Llampudken

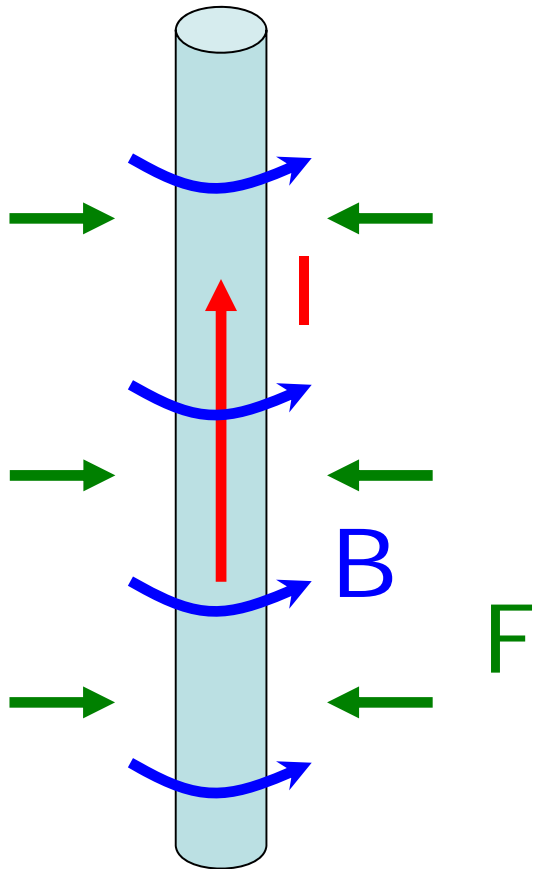
Potencia pulsada (diseño e ingeniería)

Plasmas tipo Z-pinch: Dinámica y estabilidad en plasmas de alta densidad, alta temperatura  
Fuentes de rayos X, iones y formación de nanoestructuras

- Que es el plasma
- Quienes somos (grupo)
- Que se hace en el grupo
- Que hago yo



## Estudios de Z-pinches: Arreglos de alambres



El Z-pinch es el nombre de la configuración de confinamiento magnético de plasmas con geometría cilíndrica

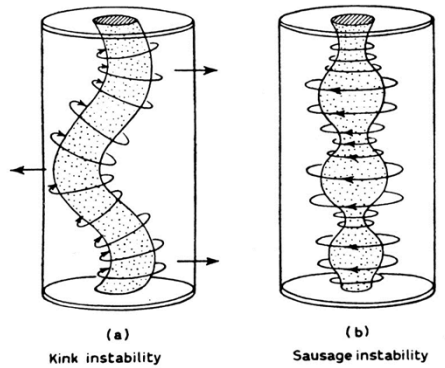
La interacción de la corriente axial con el campo magnético azimutal autogenerado produce una fuerza de implosión radial



Es una buena forma de alcanzar altas densidades de energía (altas temperaturas y alta densidad)

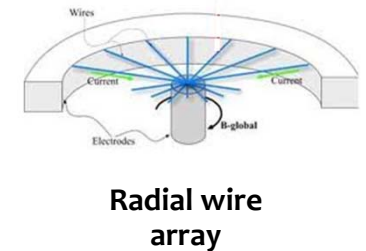
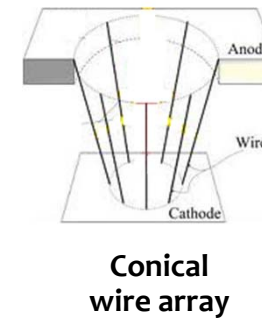
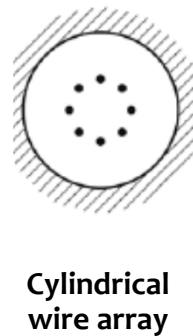
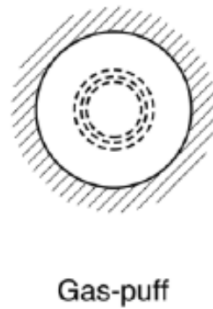
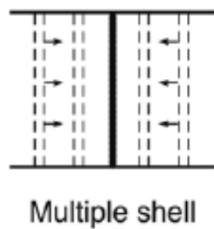
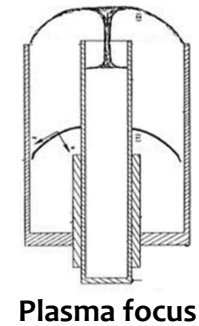
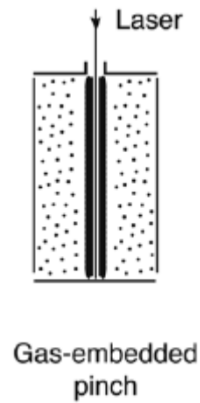
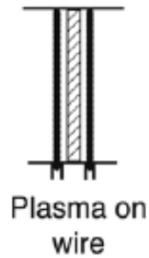
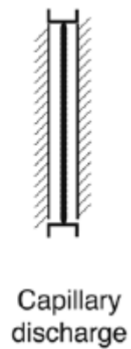
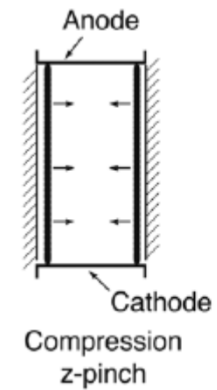


# Estudios de Z-pinches: Arreglos de alambres



Estas configuraciones son intrínsecamente inestables

*La investigación en Z-pinches tiene íntima relación con el generador de potencia pulsada a utilizar (kA-MA ; kV)*

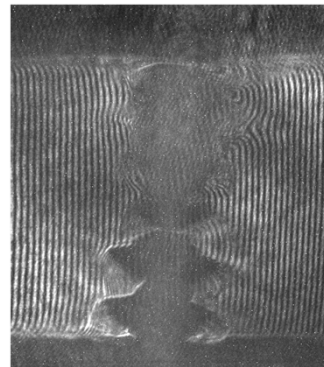
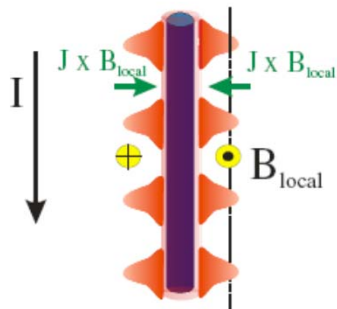
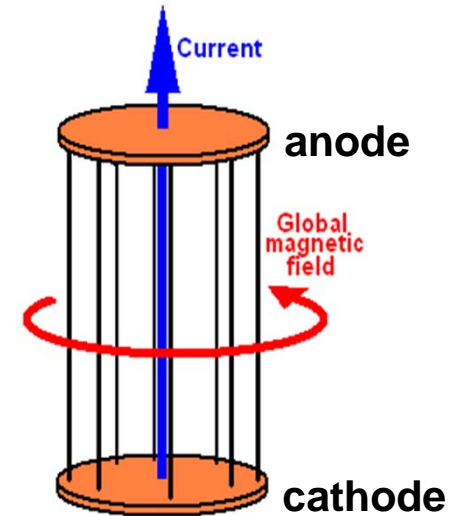


# Estudios de Z-pinches: Arreglos de alambres

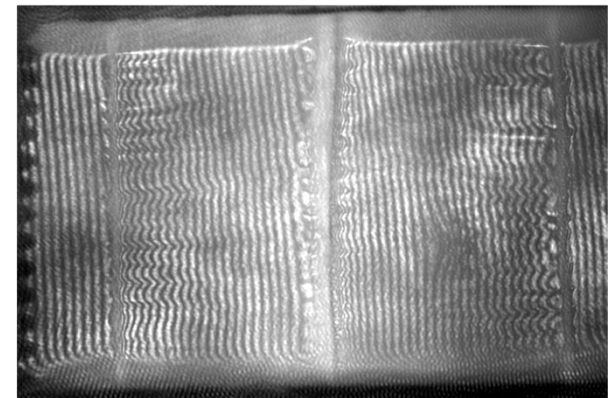
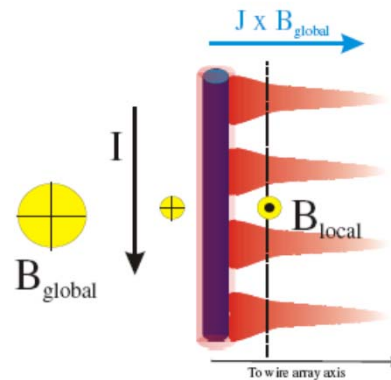
Son arreglos de alambres muy delgados ( $\sim \mu\text{m}$ ) que se transforman en plasmas tras una descarga de alta corriente

Cuando un pulso de alta corriente circula a través de los alambres, éstos se expanden y forman un plasma de baja densidad alrededor de los núcleos sólidos.

En arreglos de varios alambres, los campos magnéticos locales a cada alambre forman un campo magnético global



1 alambre



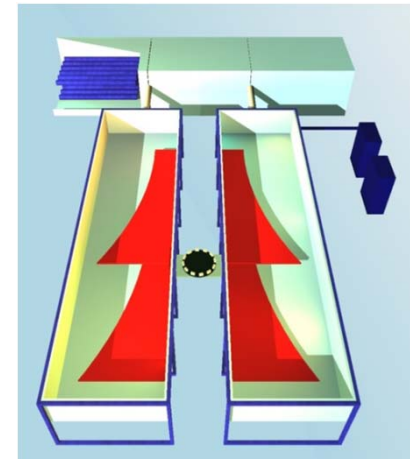
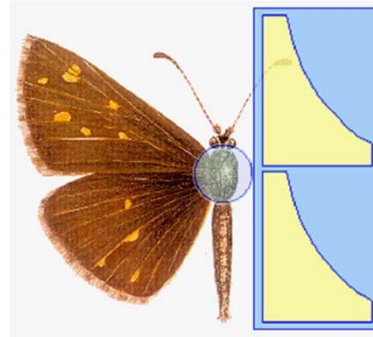
Arreglo de 4 alambres



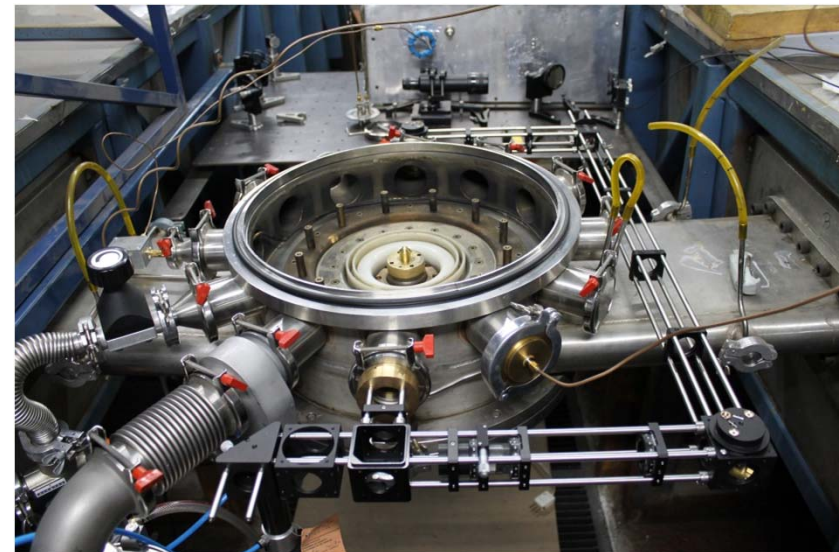


## Estudios de Z-pinches: Arreglos de alambres

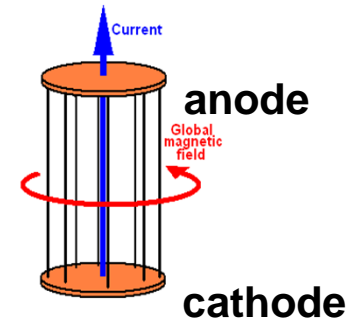
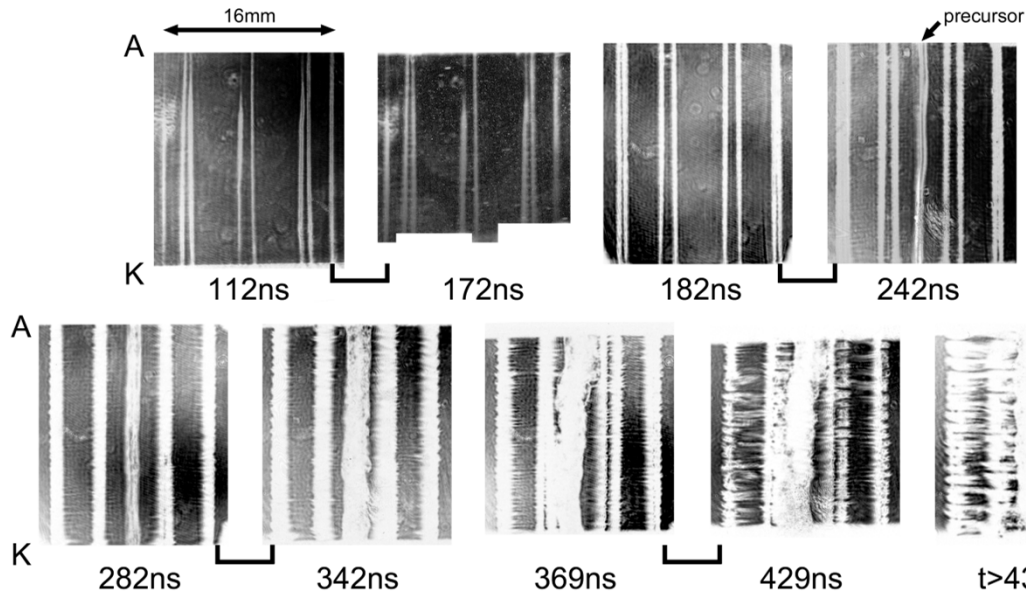
Arreglo cilindrico de alambres  
~ 10's  $\mu\text{m}$  diametro  
(similar a jaula pajaros)



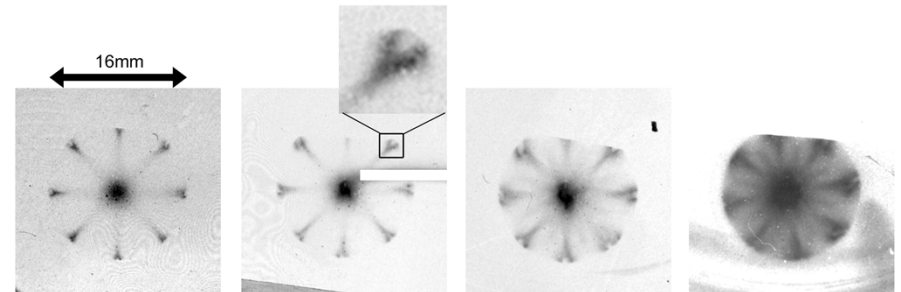
*Llampüdkeñ ~ 400kA, ~350ns*



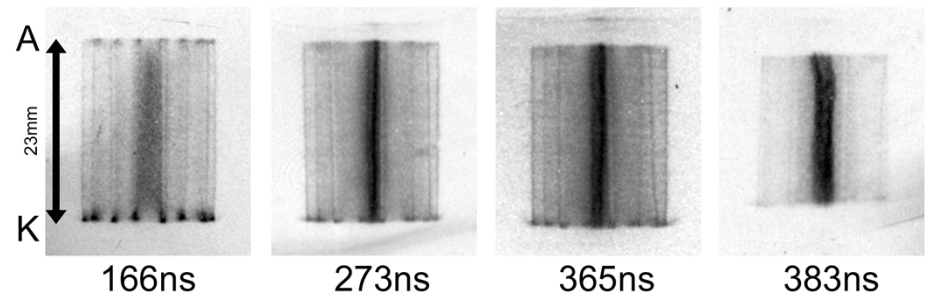
# Estudios de Z-pinches: Arreglos de alambres



*F Veloso et. al.  
IEEE Trans Plasma Science 40, 3319(2012)*

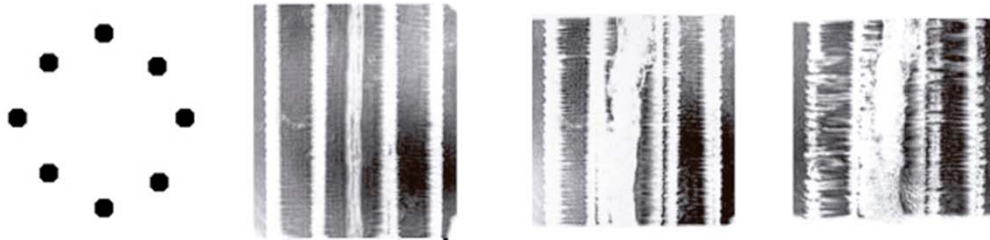


**FONDECYT Iniciación**  
*Ablation properties and plasma dynamics  
of wire-based Z-pinch plasmas driven at  
moderate current rate  
(2012 – 2015)*



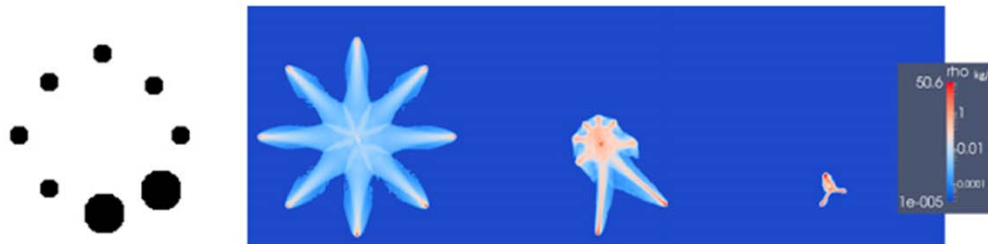
# Estudios de Z-pinches: Arreglos de alambres

Modificaciones en la dinámica de los flujos de plasmas por variaciones en los campos magnéticos globales



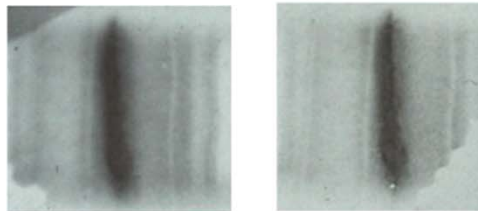
standard array  
in Llampudkeñ  
(side-on view)

Estructuras  
colisionales y no-  
colisionales

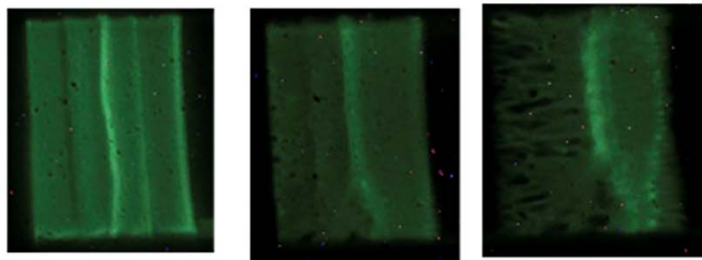


modified array  
GORGON simulations  
(end-on view)

Formación de jets  
de plasma



modified array  
Llampudkeñ generator  
(side-on view)



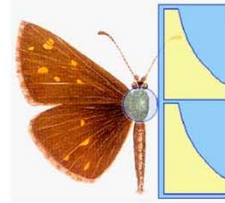
modified array  
MAGPIE generator  
(side-on view)





Instituto de Física UC

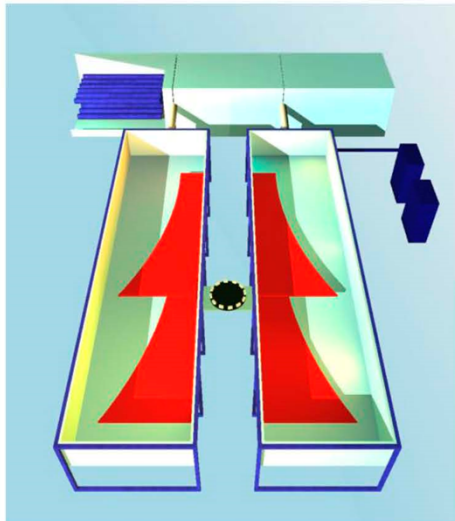
## LABORATORIO DE OPTICA Y PLASMA



SE OFRECEN TEMAS DE FISICA EXPERIMENTAL PARA  
*TESIS DE GRADO / PRACTICAS / TRABAJO TIEMPO PARCIAL*

DINAMICA DE PLASMAS DE ARREGLOS DE ALAMBRES EN EL  
GENERADOR LLAMPUDKEÑ: (Proy Fondecyt 11121621)

- Efectos en dinámica de ablación de alambres bajo variaciones de topologías de campos magnéticos
  - Estructuras colisionales y no colisionales en jets de plasmas
- ...entre otros temas



*ADEMAS, SI QUIERES CONOCER  
NUESTROS LABORATORIOS,  
NO DUDES EN SOLICITARLO*

CONTACTO:  
PROF. FELIPE VELOSO  
fveloso@fis.puc.cl

**FONDECYT Iniciación**  
*Ablation properties and plasma dynamics  
of wire-based Z-pinch plasmas driven at  
moderate current rate  
(2012 – 2015)*

# ***Investigación en Plasmas***

## ***Física experimental***

Felipe Veloso + Grupo de Optica y Plasma

<http://www.fis.puc.cl/~plasma>

<http://www.fis.puc.cl/~fveloso>

