



## DEPARTAMENTO DE PLASMA TERMONUCLEAR

### MIEMBROS

Dr. Leopoldo Soto, físico investigador, Jefe del Departamento (Isoto@cchen.cl)  
Dr. José Moreno, físico investigador  
Dr. Marcelo Zambra, físico investigador  
Dr. Cristian Pavez, físico investigador  
Dr. Felipe Veloso, físico investigador  
Sr. Patricio San Martín, técnico mecánico  
Srta. Karla Cubillos, traductora / asistente administrativa

### OBJETIVO

Realizar investigación y desarrollos en física de plasmas, así como en física y tecnologías nucleares y otras disciplinas derivadas y/o soportantes. Investigar y crear conocimiento en el tema de la fusión nuclear y sus aplicaciones, para contribuir a la producción y el bienestar social de Chile.

### LÍNEAS DE TRABAJO

- Investigación en torno a plasmas densos transientes generados a través de descargas eléctricas donde se estudia física básica como procesos de ionización, estabilidad, emisión de radiación electromagnética (luz visible, UV, rayos-X blandos y duros) y partículas (neutrones, iones y electrones).
- Estudios de fuentes de neutrones y rayos-X a partir de plasmas densos transientes. Para ello cuenta actualmente con una variedad de generadores en un rango amplio de energías. Generadores de baja energía en la configuración Plasma Foco: Nanofoco (100 mJ), PF-50J (30-70 Joules), PF-400J (180-400 Joules). Un plasma foco de energía media llamado SPEED4 que puede trabajar con una energía de 4 a 6 KJoules y el generador SPEED2 de una energía nominal de 180 KJoules y 4 Mega-amperes de corriente. El SPEED2 es el generador de plasmas densos transientes de mayor potencia del hemisferio sur y fue donado por la Universidad de Dusseldorf a la CCHEN en el año 2002. En la actualidad puede ser operado en las configuraciones Plasma Foco y Z-pinch. También se cuenta con una descarga de cátodo hueco y una descarga capilar.
- Estudios y desarrollo de tecnologías asociadas a potencia pulsada. Estas tecnologías tienen aplicaciones en varios campos de ciencia e ingeniería: producción de descargas eléctricas transientes y plasmas, generación de radiación y haces de iones, materia de alta densidad, producción de campos magnéticos pulsados intensos y ondas de choque.
- Aplicaciones de neutrones retrodispersados a la detección de sustancias. El DPTN cuenta con un detector HYDAD (HYdrogen Density Anomaly Detector), este detector fue desarrollado por investigadores del iThemba LABS en Sud Africa. Como resultado de un trabajo de colaboración con los investigadores de Sud Africa, financiado y supervisado por el OIEA, en el DPTN se ensambló un equipo HYDAD. Durante el año 2009 el equipo fue usado para detectar minas antipersonales en condiciones de laboratorio y en terreno bajo condiciones controladas en un trabajo conjunto con el Comando Nacional de Desminado del Ministerio de Defensa y con el Ejército de Chile. El detector HYDAD usa una fuente radioactiva convencional de neutrones. Junto con profundizar en el estudio y desarrollo de esta área, el DPTN se ha propuesto desarrollar una fuente portátil de neutrones (no radioactiva on-off) en base a un equipo plasma focus portátil, con el propósito de reemplazar la fuente radioactiva convencional. De esta manera se tendría un equipo más seguro de transportar y operar.



El departamento cuenta con equipamiento especializado para diagnosticar el plasma generado en los dispositivos, como: osciloscopios rápidos (resolución superior a 1 ns), detectores de neutrones (plata activada, contadores proporcionales en base a tubos de  $^3\text{He}$ , centellador+fotomultiplicador), detectores de rayos-X (centellador+fotomultiplicador, diodos, cámara pin-hole, cámara MCP multicuadro, espectrómetro), cámara para el visible ICCD (ventana de 5 ns), cámara MCP multicuadro para VUV y rayos X y un láser pulsado Nd-YAG (8ns, 1.2J,  $1.06\mu\text{m}$ ; 600mJ, 532nm; 200mJ, 266nm) para diagnósticos ópticos entre otros.

## PROYECTOS CON FINANCIAMIENTO EXTERNO

Durante el año 2010 la investigación fue apoyada principalmente por proyectos obtenidos de fondos concursables:

- “Fortalecimiento de la Investigación en Física de Plasmas y Desarrollo de Aplicaciones y Tecnologías Derivadas” PSD-01, financiado por el Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología de CONICYT y el Banco Mundial.
- “Centro de Investigación y Aplicaciones en Física de Plasmas y Potencia Pulsada”, PBCT-ADI-26 (2007-2009). Proyecto Anillo en C y T del Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología, CONICYT. Director: Dr. Leopoldo Soto, investigadores titulares Dres. José Moreno y Claudio Tenreiro (este último perteneciente a la Universidad de Talca).
- “Experimental studies on driver-load coupling of Z-pinches plasma configurations”. Proyecto de Iniciación, Fondecyt N° 11090377 (desde Octubre de 2009). Encargado Dr. Cristian Pavez Morales.

## RESULTADOS Y HECHOS RELEVANTES

- Se continuó trabajando en las líneas de trabajo iniciadas en años anteriores y descritas anteriormente, obteniendo diversos resultados los que se presentaron en conferencias internacionales y en artículos enviados a revistas internacionales.
- Como parte de las actividades de divulgación de uno de los proyectos del DPTN (Anillo “Centro de Investigación en Física de Plasmas y Potencia Pulsada, P4”, CONICYT) se llevó a cabo la idea original de Vanessa Miller y Leopoldo Soto de realizar tres videos de temas científicos desarrollados en el DPTN. Los videos están disponibles para ser vistos gratuitamente en los canales “cienciaentretenida’s channel” y “entertainmentscience’s” canal de Youtube, en sus versiones en español y en inglés:

Capítulo1,

### QUÉ ES EL PLASMA:

<http://www.youtube.com/cienciaentretenida#p/a/u/1/QeTyZEiCO8U>

### WHAT IS PLASMA?

[http://www.youtube.com/user/EntertainingScience#p/a/u/2/cBy5mk\\_X3xo](http://www.youtube.com/user/EntertainingScience#p/a/u/2/cBy5mk_X3xo)





Capítulo 2,

**QUÉ ES LA POTENCIA PULSADA:**

<http://www.youtube.com/cienciaentretenida#p/a/u/0/58wXVIZXZLk>

**WHAT IS PULSED POWER?**

<http://www.youtube.com/user/EntertainingScience#p/a/u/1/0ndSt2bycR0>

Capitulo 3,

**QUÉ ES LA FUSION NUCLEAR:**

<http://www.youtube.com/user/cienciaentretenida#p/a/u/0/veq5sJrs5rs>

**WHAT IS NUCLEAR FUSION?**

<http://www.youtube.com/watch?v=84XyLFn0JCY>

En sólo 10 meses la versión en español tuvo más de 5200 visitas principalmente desde Chile y Latinoamérica, en tanto la versión en inglés en menos de 3 semanas, desde su creación, tuvo más de 1370 visitas desde todos los continentes.

A una semana de haber creado la versión en inglés del canal de youtube “Cienciaentretenida” (“Entertaining Science”) se recibió una solicitud desde Europa para mostrar los videos en la Fusion Expo Exhibition de Bruselas (<http://www.iterbelgium.be/en/fusion-exposition-2010-brussels>), una actividad de difusión y divulgación para todo público respecto de fusión nuclear. Este es un importante reconocimiento.

- Se organizó y se realizó exitosamente la escuela internacional de física de plasmas “XIII LAWPP School on Plasma Physics” durante la semana comprendida entre el 1 al 6 de agosto 2010. Esta actividad se desarrolló en las dependencias del CEN La Reina y contó con la participación de 50 asistentes entre estudiantes de pre- y post- grado, junto con jóvenes investigadores de 11 países (Chile, Argentina, Perú, Brasil, Venezuela, Colombia, Costa Rica, México, Pakistán, Georgia, y USA). Como profesores de esta escuela participaron los Drs. Luis Felipe Delgado-Aparicio (Princeton University, USA), Homero Maciel (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil), Marina Stepanova (USACH, Chile), Victor Muñoz (U de Chile, Chile), Juan Alejandro Valdivia (U de Chile, Chile) y los profesionales del DPTN Felipe Veloso y Leopoldo Soto. Esta escuela es un evento relacionado con la conferencia internacional ICPP-LAWPP 2010 y su objetivo fue preparar a estudiantes y científicos jóvenes para una mejor comprensión de los temas tratados en la conferencia.
- Se organizó y se realizó con éxito el XV Internacional Congress on Plasma Physics en combinación con el Latin American Workshop on Plasma Physics, ICPP-LAWPP-2010. El congreso se llevó a cabo entre el 8 y el 13 de Agosto en el Centro de Extensión de la Universidad Católica y contó con la participación de 180 asistentes de 34 países. Hace 16 años que no se realizaba esta conferencia de plasmas en un país Latinoamericano. Los artículos correspondientes a las charlas invitadas serán publicadas por la revista Plasma Physics and Controlled Fusion y los artículos correspondientes a las contribuciones se publicarán en la revista Journal of Physics: Conference Series, ambas de la prestigiosa editorial europea, Institute of Physics Publishing del Reino Unido. Estas actividades eran parte del Programa Bicentenario y era la única línea bicentenario de la CCHEN. Esta conferencia fue organizada por el Departamento de Plasmas Termonucleares, para lo que se apoyó en una productora de eventos contratada por el DPTN para esos efectos (Agosto 2010).





- Los investigadores del DPTN participaron en la 15ª versión del Congreso Internacional sobre Física de Plasma realizada en Santiago entre el 8 y el 13 de Agosto presentando 11 trabajos tanto en la modalidad de charlas como poster.
- Participación de los investigadores del DPTN durante el mes de Octubre en las jornadas de divulgación de las ciencias del programa EXPLORA de Conicyt “1000 Científicos 1000 Aulas”.
- Asistencia de los investigadores del DPTN Drs. José Moreno, Marcelo Zambra y Felipe Veloso al Simposio SOCHIFI 2010 que se realizó en Pucón desde el 10 al 12 de noviembre, quienes presentaron 9 trabajos que dan cuenta de las últimas investigaciones realizadas por el grupo en laboratorio del DPTN (noviembre de 2010)
- Durante la primera semana de Diciembre se puso en operación el sitio web del Center for Research and Applications in Plasma Physics and Pulsed Power, P<sup>4</sup>, proyecto de Investigación Asociativa de CONICYT ADI-26 (Anillo Bicentenario ACT-26) adjudicado por el DPTN-CCHEN y la Universidad de Talca en 2007. <http://www.pppp.cl>

#### COMISIONES EN EL EXTRANJERO

- Estadía de investigación del Dr. C. Pavez en el Laboratorio de Espectroscopia Atómica del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), de la ciudad de La Plata, Argentina, tuvo como finalidad recoger los aspectos básicos de la espectroscopia óptica de plasmas para iniciar trabajos de investigación en los plasmas desarrollados en el laboratorio. Por otra parte, la visita al CIOP permitió establecer nexos de colaboración tanto en espectroscopia óptica, como en holografía digital para análisis refractivos en plasmas (octubre de 2010).
- Participación del Investigador y Jefe del DPTN Leopoldo Soto, como “invited lecturer” en el Joint ICTP-IAEA Workshop on Dense Magnetized Plasma and Plasma Diagnostics ([http://cdsagenda5.ictp.trieste.it/full\\_display.php?smr=0&ida=a09172](http://cdsagenda5.ictp.trieste.it/full_display.php?smr=0&ida=a09172)) realizado en Multidisciplinary Laboratory del International Centre for Theoretical Physics de la UNESCO y el OIEA en Trieste Italia, entre el 15 y 26 de Noviembre de 2010. El Dr Soto dictó tanto clases teóricas como de laboratorio. Es importante destacar que en la realización de las clases de laboratorio se utilizó un dispositivo plasma focus del tipo nanofoco (PF-2J), el cual fue diseñado y construido en la CCHEN y es único en el mundo. La portatibilidad de dicho equipo permitió que fuese trasladado desde la CCHEN al ICTP en forma personal. Además, sesenta participantes de diferentes países del mundo se beneficiaron del Workshop.

Las comisiones al extranjero fueron financiadas con fondos externos a la CCHEN (P4 Anillo PBCT-CONICYT ACT-26, ICTP y FONDECYT).

#### PUBLICACIONES EN REVISTAS INTERNACIONALES

- “Demonstration of x-ray Emission from an ultraminiature pinch plasma focus discharge operating at 0.1 J. Nanofocus”, Cristian Pavez and Leopoldo Soto, IEEE Trans. Plasma Science, **38**, 1132 (2010).
- “Studies on scalability and scaling laws for the plasma focus: similarities and differences in devices from 1MJ to 0.1J”, Leopoldo Soto, Cristian Pavez, Ariel Tarifeño, José Moreno and Felipe Veloso, Plasma Sources Sci. and Technol. **19**, 055017 (2010).





- “Dynamics and Density Measurements in a Small Plasma Focus of Tens of Joules Emitting Neutrons”. Ariel Tarifeño-Saldivia, Cristian Pavez; José Moreno, Leopoldo Soto. IEEE Transaction on Plasma Science, aceptado para publicación, a ser publicado en Febrero de 2011.
- “Neutron emission demonstration in a extremely small plasma focus Nanofocus at 0.1 Joule”. Leopoldo Soto, Cristian Pavez, José Moreno, Luis Altamirano, Luis Huerta, Mario Barbaglia, Alejandro Clausse and Roberto Mayer. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 119 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “On the applicability of the planar model for hybrid-type fast plasma focus of very low energy”. Leopoldo Soto, Felipe Veloso, Cristian Pavez and Ariel Tarifeño. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 118 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Experimental study on the optimization for neutron emission in a small fast plasma focus operated at tens of joules”. Ariel Tarifeño-Saldivia and Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 117 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Plasma Jet observations in a table top plasma focus”. Ariel Tarifeño, Cristian Pavez and Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 116 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Pinch density measurements in compact plasma foci of 400 and 50J”. Ariel Tarifeño, Cristian Pavez and Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 115 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Plasma Focus of 2J for field applications Pinch evidence”, Leopoldo Soto, Cristian Pavez, José Pedreros and Luis Altamirano. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 114 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Potentiality of a table top plasma focus as X-ray source: radiographic applications”. Cristian Pavez, Marcelo Zambra, Felipe Veloso, José Moreno and Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 113 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Initial stages of hundreds of joules plasma focus operating in deuterium-argon mixture: preliminary results”. Felipe Veloso, Leopoldo Soto, Cristian Pavez, José Moreno and Ariel Tarifeño. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 112 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.

- “Preliminary results of ions emission using ToF method and CR39 SSNTD in a Small Plasma Focus device of hundred of joules”. José Moreno, José Pedreros and Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 111 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Absolute calibration of proportional counter based fast pulsed neutron detectors with resolution below  $10^5$  neutro/pulse”. Ariel Tarifeño-Saldivia, R. E. Mayer, Cristian Pavez and Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 51 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.
- “Overview of plasma physics in Chile”. Leopoldo Soto. 15<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics and 13<sup>th</sup> Latin American Workshop on Plasma Physics 2010. Books of Abstracts ICPP-LAWPP, pp. 6 (2010). Aceptado para publicación en Journal of Physics: Conf. Series, IOP.

## PRESENTACIONES EN CONGRESOS NACIONALES

- “Absolute calibration of proportional counter based fast pulsed neutron detectors with resolution below  $10^5$  neutron/pulse”. A. Tarifeño-Saldivia, R. E. Mayer, C Pavez and L Soto. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 74 (2010).
- “Scalability and scaling laws for plasma focus similarities and differences in devices from 1MJ to 0.1J”. Leopoldo Soto, Cristian Pavez, Ariel Tarifeño-Saldivia, José Moreno and Felipe Veloso. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 96 (2010).
- “Análisis complementario de imágenes radiográficas generadas a partir de rayos-x pulsados en un plasma focus pequeño”. M. Zambra, C. Pavez, J. Moreno, F. Veloso y L. Soto. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 97 (2010).
- “Applications of pulsed power to materials science: development of a solenoid for a rare-earth permanent magnets pulsed magnetizer”. José Luis Giordano, Luis Altamirano and Leopoldo Soto. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 102 (2010).
- “Estudio de la emisión de iones usando método de ToF y SSNTD CR39 en un plasma focus de cientos de joules”. J. Moreno, J. Pedrero y L.Soto. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 250 (2010).
- “Fuentes no radioactiva de radiaciones para aplicaciones de campo. Evidencia experimental de efecto pinch en un plasma focus compacto de 2 joules”. L. Soto, C. Pavez, J. Pedrero y L. Altamirano. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 254 (2010).
- “Jet de plasma en un plasma focus de sobremesa”. A, Tarifeño-Saldivia, C. Pavez y L. Soto. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 255 (2010).
- “On the applicability of the planar model for hybrid-type fast plasma focus of very low energy”. L. Soto, F. Veloso, C. Pavez and A. Tarifeño-Saldivia. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 256 (2010).
- “Correlaciones entre emisión de neutrones y características dinámicas de un plasma focus obtenidas desde las señales eléctricas”. F. Veloso, C. Pavez, J. Moreno, V. Galaz y L. Soto. XVII Simposio Chileno de Física, Libro de Resúmenes, pp. 261 (2010).



## **SEMINARIOS DICTADOS EN EL DPTN**

- “Theoretical Studies of Stable Spherically Symmetric Plasma Structure”, charla dictada por el doctor Maxim Dvornikov, investigador de la Universidad Técnica Federico Santa María. Octubre.

## **VISITAS CIENTÍFICAS AL DPTN**

- Durante el mes de enero, los Drs. José González y Federico Casanova del PLADEMA – Argentina, trabajaron con los profesionales del DPTN en simulaciones computacionales de plasma focus.
- Durante el mes de septiembre, el Dr. Fermín Castillo de la Universidad Nacional Autónoma de México – México, trabajó con los profesionales del DPTN en técnicas de diagnóstico de plasmas densos y neutrones de fusión nuclear.

Las visitas científicas fueron financiadas por fondos externos a la CCHEN (P4 Anillo PBCT-CONICYT ACT-26)

## **COLABORACIONES NACIONALES E INTERNACIONALES**

- Dr. Claudio Tenreiro, Dr. Luis Huerta, Dr. José Luis Giordano, Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca.
- Dr. Jorge Ramos, Dr. Rodrigo Escobar, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Dr. Hilal Goktas Canakkale Onsekiz Mart University de Turquía.
- Dr. Alejandro Clausse, Comisión de Energía Atómica Argentina.
- Dr. José González y Dr. Federico Casanova, PLADEMA, Argentina.
- Dr. Julio Herrera y Dr. Fermín Castillo, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Dr. Farhat Beg y Dr. Simon Bott, Departamento de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial, Universidad de California, San Diego, Estados Unidos.
- Dr. Sing Lee, Institute for Plasma Focus Studies, INTI University College, Malaysia. Nanyang Technological University, NIE, Singapore.
- Prof. F. Brooks, ItembaLab, South Africa.

## **ESTUDIANTES EN PRÁCTICA Y TESIS**

- Ariel Tarifeño, estudiante de Doctorado en Física, Universidad de Concepción.
- José Pedreros, estudiante en práctica de Ingeniería Física, Universidad de Santiago de Chile.
- Ignacio Archondo, estudiante programa preuniversitario Universidad Mayor San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Fabián Reyes, estudiante en práctica profesional carrera de Administración Pública, Universidad de Santiago.

