



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PLASMAS BINARIOS DE  
ALCOHOL ETÍLICO CON GASES INERTES”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA**

**FÍS. SALVADOR PERUSQUÍA HERNÁNDEZ**

**ASESORES**

**DR. PEDRO GUILLERMO REYES ROMERO**

**DR. HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA**



**EL CERRILLO DE PIEDRAS BLANCAS, ESTADO DE  
MÉXICO, MAYO DE 2016.**

## ÍNDICE

I.	PROTOCOLO DE TESIS	6
	Introducción	7
	Definición del Problema o Tema de Investigación	8
	Hipótesis	8
	Objetivos	9
	Marco Teórico	9
	Marco Metodológico	10
	Cronograma de Actividades	12
	Bibliografía	14
II.	ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN Y ACUSE DE RECIBIDO	15
	Acuse de Recibido	16
	Artículo	17
	Cover Letter	18
	Highlights	19
	Manuscript	20
III.	ANEXOS	37
	Anexo 1. Otros Trabajos	38
	Study of the Rogowski coil response in a plasma focus device	39
	PBII&D 2015 Certificate	48
	SICeIS 2015 Constancia	49
	SMF 2014	51
	SMF 2015	56

I. PROTOCOLO DE TESIS

**“Estudio experimental de plasmas binarios de alcohol etílico con gases inertes”**

## Introducción

El desarrollo e implementación de nuevas tecnologías pueden hacer posible convertir los residuos como fuente de energía, lo que es un tema de intensa investigación debido a la creciente preocupación por los problemas ambientales y los riesgos para la salud asociados con los desechos. Entre los desechos, compuestos orgánicos volátiles (VOC por siglas en inglés) han atraído mucho interés de los investigadores debido a su alta toxicidad y la gran variedad de usos en productos tales como combustibles, materias primas, y refrigerantes. Por otra parte, muchos VOCs se encuentran como contaminantes prioritarios debido a sus efectos nocivos sobre los seres humanos y los ecosistemas [1]. Muchos métodos están disponibles para la reducción de las emisiones de VOC, por ejemplo, la degradación biológica, la combustión, la destrucción catalítica, tratamiento de haz de electrones, adsorción, y de reducción de plasma. Entre estos procesos, varios métodos convencionales se utilizan en aplicaciones prácticas para el tratamiento de VOC [2]. Para el tratamiento de VOC, los métodos más eficaces dependen generalmente de la concentración de compuestos orgánicos volátiles y la tasa de flujo de gas de entrada. Urashima y Chang [2] describen la relación entre la concentración de VOC y el caudal de gas de diferentes tecnologías para la eliminación de VOC. Bio-filtración, descomposición catalítica, y las técnicas de oxidación térmica se utilizan comúnmente para el tratamiento a velocidades de flujo de gas más grandes y concentraciones bajas de VOCs.

Los procesos catalíticos para la eliminación de VOC implican pasar la corriente de VOC sobre el catalizador [3,4]. Los catalizadores empleados en la eliminación de VOC deben ser a la vez altamente reactivos y duraderos, es decir, capaz de mantener una alta eficiencia de descomposición durante un período prolongado de tiempo. Tecnologías de combustión que históricamente se han utilizado para la eliminación de VOC pueden dejar de cumplir con las regulaciones ambientales estrictas, ya que generan otras sustancias peligrosas en el gas efluente [5].

Procesos de plasmas no térmico (PNT) como la corona [6], descarga de arco deslizante [7], e híbridos de plasma [8], se han utilizado para la eliminación de compuestos orgánicos volátiles que tienen una amplia gama de velocidades de flujo de gas y las concentraciones de VOC. Sin embargo, la eficiencia de remoción fue extremadamente baja. En contraste, el uso de plasma térmico para la eliminación de VOC puede lograr una mayor eficiencia de eliminación debido a su alta temperatura y alta reactividad química. Sin embargo, el alto consumo de energía eléctrica de estos procesos de plasma térmico puede limitar su aplicación práctica en la industria.

El tratamiento de residuos, mediante plasmas de agua, ha atraído la mayor atención como una tecnología verde para la utilización de los residuos orgánicos, [9] y [10] para lo cual desarrollaron un soplete de plasma híbrido con un arco eléctrico estable usando un remolino de agua y el flujo de gas para la gasificación de la biomasa. En la potencia de arco de  $8,0 \times 10^4$  a  $3,0 \times 10^5$  W con una velocidad de salida de plasma en la línea central de  $2,0 \times 10^3$  a  $6,5 \times 10^3$  m s<sup>-1</sup>, la cantidad de gas producido fue de hasta 120 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>, mientras que la concentración de gas de síntesis era entre el 79 y el 97 %. [11] Así mismo se desarrolló un soplete de plasma de agua con corriente continua para el tratamiento de gases de efecto invernadero que consta de hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Para

una solución de fenol con una alta demanda de oxígeno químico (COD), un estudio mostró que el 0,1-1% en moles de fenol se descompuso drásticamente por la antorcha de plasma DC de agua con eficiencias de energía de  $1,9 \times 10^{-8}$  a  $2,2 \times 10^{-8}$  moles.

El alcohol etílico es un VOC que se aplica en innumerables productos como disolvente y diluyente de pintura, sino que también se emite a la atmósfera a partir de una variedad de fuentes antropogénicas y naturales. En este estudio, una alta concentración de alcohol etílico, que se utiliza como un modelo de VOC, se descompondrá mediante un plasma de alcohol etílico mezclado con gases inertes. Se estudiará el comportamiento de la presión, el flujo de gas. El efecto de la corriente sobre la descomposición de etanol y la influencia de las especies activas, tales como  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO^+$ ,  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ , y en la formación de subproductos del plasma se examinarán mediante el análisis de los productos generados. Por otra parte, el mecanismo de descomposición de alcohol por plasmas será discutido con detalle.

La información del análisis de las descargas eléctricas luminiscentes generadas a partir de alcohol etílico y sus mezclas con gases inertes aportaran al conocimiento datos confiables sobre las reacciones atómicas y moleculares que se llevan a cabo, además de la temperatura y densidad electrónicas del plasma que podrían ser utilizados en aplicaciones industriales.

### **Definición del Problema o Tema de Investigación**

En la actualidad el estudio de plasmas generados a partir de VOC, han sido tema de gran interés por numerosos Laboratorios alrededor del mundo, razón por la cual este trabajo se centra en el “**Estudio experimental de plasmas binarios de alcohol etílico con gases inertes**”. La descarga producida con esta atmósfera, se analizará por medio de espectroscopia óptica de emisión y usando sondas de Langmuir. Se estudiarán las regiones normales, la cual es rica en procesos radiactivos, lo que las ha hecho ser extensamente estudiadas en áreas como láseres, química de plasmas, física atómica y espectroscopia.

### **Hipótesis**

La espectroscopia óptica de emisión (OES) es un método no intrusivo para determinar los diferentes compuestos y/o átomos producidos mediante procesos atómicos y moleculares en un plasma. Esta técnica también ha sido de gran ayuda para saber qué elementos se forman al interaccionar componentes distintos químicamente. En este trabajo se utilizará este método OES, para analizar diferentes descargas luminiscentes de la mezcla etanol y helio, para posteriormente determinar los procesos atómicos y moleculares presentes en dichas descargas; para así verificar si es posible la descomposición del etanol mediante plasmas de baja temperatura. Por otro lado, también se determina la temperatura electrónica y la densidad de electrones del plasma mediante una sonda simple de Langmuir.

## Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es realizar la descarga luminiscente de la mezcla de etanol y helio, manteniendo la presión total de 2 Torr para las diferentes descargas, las que se realizarán variando las concentraciones de etanol y helio en la mezcla.

Los objetivos específicos son caracterizar la descarga mediante la sonda simple de Langmuir y también la caracterización óptica mediante los espectros de emisión. El voltaje y corriente para las descargas a realizar se mantendrá en valores tales que la potencia permanezca fija y los flujos de los gases se mantendrán constantes.

## Marco Teórico

La temperatura electrónica ( $T_e$ ) y la densidad electrónica ( $n_e$ ) serán obtenidas en este trabajo utilizando los datos obtenidos mediante una sonda simple de Langmuir, la cual será construida y calibrada. El proceso por el cual se calcularán estos dos parámetros se conoce como método de Druyvesteyn [12-14], el que consiste en evaluar la función de probabilidad de energía de los electrones (EEDF) utilizando la expresión:

$$f(E) = \frac{2\sqrt{2m_e} d^2 I_p}{e^3 A dV^2} \quad (1)$$

Donde  $e$  y  $m_e$  son la carga y masa del electrón,  $V$  y  $I_p$  son el voltaje y la corriente medidos con la sonda de Langmuir y  $A$  es el área transversal de la sonda. Entonces podemos determinar la función de distribución de la energía de los electrones (EEDF o  $F(E)$ ),  $n_e$  y  $T_e$  mediante las siguientes expresiones:

$$F(E) = \sqrt{E} f(E) \quad (2)$$

$$n_e = \int_0^{\infty} F(E) dE \quad (3)$$

$$T_e = \frac{2}{3n_e} \int_0^{\infty} E F(E) dE \quad (4)$$

Donde  $E$  es la energía de los electrones. Entonces en este trabajo ocuparemos la teoría anteriormente descrita para calcular la densidad y la temperatura electrónicas de plasma formado en la atmósfera de etanol y helio.

Por otro lado, estas mismas variables ( $n_e$  y  $T_e$ ) pueden también ser obtenidas utilizando espectroscopia óptica de emisión, ya que de la ley de Distribución de Boltzmann se tiene que:

$$\frac{N_n}{N_m} = \frac{g_n}{g_m} \exp\left(-\frac{E_n - E_m}{kT_e}\right) \quad (5)$$

dónde:

$N_n$ ,  $N_m$  son números de densidad de las partículas.

$g_n, g_m$  son los pesos estadísticos o degeneración de los niveles n y m.  
 $E_n, E_m$  son las energías de los niveles n y m.  
 $T_e$  es la temperatura  
 $k$  es la constante de Boltzmann,  $k=8.6173 \times 10^{-5} \text{ eV}/^\circ\text{K}$

La intensidad de línea espectral emitida  $I_{mn}$  es una medida de la población de los niveles de energía en el plasma. Si el plasma está en equilibrio termodinámico local (LTE), entonces de acuerdo a la ecuación de Boltzmann:

$$I_{mn} = \frac{hc}{4\pi\lambda_{mn}} \frac{N(T)}{U(T)} g_m A_{mn} \exp\left(-\frac{E_m}{kT_e}\right) \quad (6)$$

$I_{mn}$  es la intensidad o línea de transición observada  
 $\lambda_{mn}$  es la longitud de onda de transición  
 $A_{mn}$  es la probabilidad de transición  
 $g_m$  es el peso estadístico del nivel superior o degeneración del nivel m.  
 $E_m$  es la energía del estado excitado m.  
 $N(T)$  es el número total de estados  
 $U(T)$  es una función partición  
 $T_e$  es la temperatura electrónica

De la ecuación 6 para dos líneas de la misma especie, pero con intensidades diferentes, se deduce la siguiente ecuación:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\lambda_2 g_1 A_1}{\lambda_1 g_2 A_2} \exp\left(\frac{E_2 - E_1}{kT_e}\right) \quad (7)$$

Despejando la temperatura:

$$T_e = \frac{E_2 - E_1}{k} \left[ \ln\left(\frac{I_1 \lambda_1 g_2 A_2}{I_2 \lambda_2 g_1 A_1}\right) \right]^{-1} \quad (8)$$

Los subíndices 1 y 2 corresponden a cada línea de emisión observada.

## Marco Metodológico

En este trabajo se pretende realizar un estudio experimental de un plasma generado al realizar una descarga eléctrica entre dos electrodos dentro de una cámara de vacío con una atmósfera de  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O} - \text{He}$ , variando las proporciones y con una presión total de 2 Torr. Para cada una las mezclas, se realizará el diagnóstico correspondiente, esto es: el análisis espectroscópico de las mezclas, así como también el análisis de los procesos atómicos y moleculares que se llevan a cabo dentro del plasma; se realizará también, la medición de los parámetros del plasma, como lo son la temperatura y densidad electrónica de partículas usando sondas de Langmuir, construidas con filamentos de tungsteno.

En los experimentos a realizar se tomarán en cuenta las condiciones a las cuales se produce el plasma como son:





## Cronograma de Actividades

1 <sup>er</sup> año (2014)												
Actividad	1 <sup>er</sup> mes	2 <sup>o</sup> mes	3 <sup>er</sup> mes	4 <sup>o</sup> mes	5 <sup>o</sup> mes	6 <sup>o</sup> mes	7 <sup>o</sup> mes	8 <sup>o</sup> mes	9 <sup>o</sup> mes	10 <sup>o</sup> mes	11 <sup>o</sup> mes	12 <sup>o</sup> mes
Seminario Interdisciplinario I	X	X	X	X	X	X						
Mecánica Clásica	X	X	X	X	X	X						
Electrodinámica	X	X	X	X	X	X						
Curso en Ciencias 3A	X	X	X	X	X	X						
Seminario Interdisciplinario II							X	X	X	X	X	X
Física Estadística							X	X	X	X	X	X
Mecánica Cuántica							X	X	X	X	X	X
Curso en Ciencias 3B							X	X	X	X	X	X
Actividades de Investigación de Maestría I y II:	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
-Estudio Bibliográfico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
-Planteamiento del experimento						X	X	X	X	X	X	X

**2do año (2015)**

<b>Actividad</b>	1 <sup>er</sup> mes	2 <sup>o</sup> mes	3 <sup>er</sup> mes	4 <sup>o</sup> mes	5 <sup>o</sup> mes	6 <sup>o</sup> mes	7 <sup>o</sup> mes	8 <sup>o</sup> mes	9 <sup>o</sup> mes	10 <sup>o</sup> mes	11 <sup>o</sup> mes	12 <sup>o</sup> mes
<b>Seminario Interdisciplinario III</b>	X	X	X	X	X	X						
<b>Seminario Interdisciplinario IV</b>							X	X	X	X	X	X
<b>Actividades de Investigación de Maestría III y IV:</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>-Desarrollo del Experimento y Análisis de Resultados</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>-Elaboración de la Tesis</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>-Participación en Congresos del Área</b>					X	X				X	X	X
<b>-Entrega del Artículo de investigación</b>											X	X
<b>-Defensa de la Tesis y/o Obtención de grado</b>												X

## Bibliografía

- [1] Tiwari, V., Hanai, Y., Masunaga, S., 2010. *Japan. Air Qual. Atmos. Health* 3, 65–75.
- [2] Urashima, K., Chang, J.S., 2000. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 7, 602–614.
- [3] Fukahori, S., Yumi, I., Ichiura, H., Kitaoka, T., Tanaka, T., Wariishi, H., 2007. *Chemosphere* 66, 2136–2141, 2007.
- [4] Fukahori, S., Yumi, I., Ichiura, H., Kitaoka, T., Tanaka, T., Wariishi, H., 2007. *Chemosphere* 66, 2136–2141.
- [5] Centeno et al., 2002.
- [6] Ke-Feng, S., Zhe, Z., Xiu-Yan, Z., Xiao-Chen, W., 2010. *Adv. Mater. Res.* 113, 146–149.
- [7] Bo, Zh., Yan, J.H., Li, X.D., Chi, Y., Cen, K.F., Cheron, B.G., 2007. *Plasma Chem. Plasma Process.* 27, 546–558.
- [8] Atsushi, O., Keiichi, S., Hyun-Ha, K., Masami, S., Hirofumi, A., Hisahiro, E., 2010. *Plasma Chem. Plasma Process.* 30, 33–42.
- [9] Hrabovsky, M., Konrad, M., Kopecky, V., Hlina, M., Kavka, T., 2006. *Czech. J. Phys.* 56, B1199–B1206.
- [10] Oost, G.V., Hrabovsky, M., Kopecky, V., Konrad, M., Hlina, M., Kavka, T., 2009. *Vacuum* 83, 209–212.
- [11] Watanabe, T., 2005. *Asian J. Chem. Eng.* 5, 30–34.
- [12] N. Kang, S. Oh and A. Ricard. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41 (2008) 155203.
- [13] V. A.Godyak, R. B. Piejak, and B. M. Alexandrovich. *J. Appl. Phys.* 73 (1993) 3657.
- [14] T. H.Chung,H. R.Kang, andM. K. Bae. *Phys. Plasmas* 19 (2012) 113502.

II. ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ENVIADO Y ACUSE DE RECIBIDO



S Perusquía &lt;sph901020@gmail.com&gt;

---

**Submission Confirmation**

2 mensajes

**Surface & Coatings Technology** <surfcoat@elsevier.com>

1 de abril de 2016, 12:16

Para: sph901020@gmail.com

SI: PBII&amp;D 2015

Dear Prof. Perusquía Hernández,

Your submission entitled "Experimental Study of Ethanol and Helium Mixture Glow Discharge" has been received by Surface and Coatings Technology

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/surfcoat/>.

Your username is: [sph901020@gmail.com](mailto:sph901020@gmail.com)

Your password is: \*\*\*\*\*

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System  
Surface and Coatings Technology

---

**S Perusquía** <sph901020@gmail.com>

1 de abril de 2016, 12:20

Para: Pedro RR &lt;pgr.uaemex@gmail.com&gt;, Horacio Martinez &lt;hm@fis.unam.mx&gt;, Aaron Gomez &lt;aaron\_kfg@hotmail.com&gt;, Kenny Sxe &lt;kenny.sxe4@gmail.com&gt;

[El texto citado está oculto]

Manuscript Number:

Title: Experimental Study of Ethanol and Helium Mixture Glow Discharge

Article Type: SI: PBII&D 2015

Keywords: Ethanol; Helium; glow discharge; single Langmuir probe; OES.

Corresponding Author: Prof. Salvador Perusquía Hernández,

Corresponding Author's Institution:

First Author: Salvador Perusquía Hernández

Order of Authors: Salvador Perusquía Hernández; Pedro G Reyes Romero, PhD; Marcos C Gonzalez Dominguez; Aarón Gómez Díaz, PhD; Horacio Martínez Valencia, PhD; Josefina Vergara Sánchez

Abstract: This work is focused on the study of a glow discharge generated from the mixture of ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) and helium (He). The plasma was generated at different concentrations of ethanol and helium gases maintained at total pressure of 2.0 Torr. We used optical emission spectroscopy (OES) to analyze the discharge mixture at different concentration of helium. The species identified by OES technique correspond to O<sub>2</sub>, CO<sup>+</sup>, CO, H $\beta$ , H $\alpha$ , and He. Single Langmuir probe was used to obtain the electron temperature (Te) and electron density (ne). Te was found below 1.2 eV and ne in the order of 10<sup>14</sup> particles per cm<sup>3</sup>. Also, the OES lines (He 667.96, 706.57 nm, H $\alpha$  656.27 nm and H $\beta$ 486.13 nm) were used to evaluate the Te by the Boltzmann equation and compared with the value obtained by single Langmuir probe.

Suggested Reviewers: Julio J Martinell PhD  
Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México  
martinel@nucleares.unam.mx

Ronghua Wei PhD  
Southwest Research Institute  
rwei@swri.org

T H Chung PhD  
Dong-A University

Norihiro Inagaki PhD  
Tatung

## Experimental Study of Ethanol and Helium Mixture Glow Discharge

S. Perusquía<sup>1</sup>, P. G. Reyes<sup>1</sup>, M. C. González<sup>1</sup>, A. Gómez<sup>1</sup>, H. Martínez<sup>2</sup>, J. Vergara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Laboratorio de Física Avanzada, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Col. Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México.*

<sup>2</sup>*Laboratorio de Espectroscopia, Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 48-3, C. P. 62251, Cuernavaca, Morelos, México.*

<sup>3</sup>*Laboratorio de Análisis y Sustentabilidad Ambiental, Instituto Profesional de la Región Oriente, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, C.P. 62715, Xalostoc, Morelos, México.*

### A B S T R A C T

This work is focused on the study of a glow discharge generated from the mixture of ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) and helium (He). The plasma was generated at different concentrations of ethanol and helium gases maintained at total pressure of 2.0 Torr. We used optical emission spectroscopy (OES) to analyze the discharge mixture at different concentration of helium. The species identified by OES technique correspond to O<sub>2</sub>, CO<sup>+</sup>, CO, H<sub>β</sub>, H<sub>α</sub>, and He. Single Langmuir probe was used to obtain the electron temperature ( $T_e$ ) and electron density ( $n_e$ ).  $T_e$  was found below 1.2 eV and  $n_e$  in the order of 10<sup>14</sup> particles per cm<sup>3</sup>. Also, the OES lines (He 667.96, 706.57 nm, H<sub>α</sub> 656.27 nm and H<sub>β</sub>486.13 nm) were used to evaluate the  $T_e$  by the Boltzmann equation and compared with the value obtained by single Langmuir probe.

Keywords: Ethanol; Helium; glow discharge; single Langmuir probe; OES.

## Experimental Study of Ethanol and Helium Mixture Glow Discharge

### Highlights

- In this work is make different glow discharges of the ethanol and helium mixture.
- Optical emission spectroscopy (OES) is used to analyze the different discharges.
- The species identified by OES technique correspond to  $O_2$ ,  $CO^+$ ,  $CO$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\alpha$ , and He.
- $T_e$  was found below 1.2 eV and  $n_e$  in the order of  $10^{14}$  particles per  $cm^3$ .
- The  $T_e$  also are obtained by the OES data and compared with the results by SLP.





## Experimental Study of Ethanol and Helium Mixture Glow Discharge

S. Perusquía<sup>1</sup>, P. G. Reyes<sup>1</sup>, M. C. González<sup>1</sup>, A. Gómez<sup>1</sup>, H. Martínez<sup>2</sup>, J. Vergara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Laboratorio de Física Avanzada, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Col. Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México.*

<sup>2</sup>*Laboratorio de Espectroscopia, Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, A. P. 48-3, C. P. 62251, Cuernavaca, Morelos, México.*

<sup>3</sup>*Laboratorio de Análisis y Sustentabilidad Ambiental, Instituto Profesional de la Región Oriente, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, C.P. 62715, Xalostoc, Morelos, México.*

### A B S T R A C T

This work is focused on the study of a glow discharge generated from the mixture of ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) and helium (He). The plasma was generated at different concentrations of ethanol and helium gases maintained at total pressure of 2.0 Torr. We used optical emission spectroscopy (OES) to analyze the discharge mixture at different concentration of helium. The species identified by OES technique correspond to O<sub>2</sub>, CO<sup>+</sup>, CO, H<sub>β</sub>, H<sub>α</sub>, and He. Single Langmuir probe was used to obtain the electron temperature ( $T_e$ ) and electron density ( $n_e$ ).  $T_e$  was found below 1.2 eV and  $n_e$  in the order of  $10^{14}$  particles per cm<sup>3</sup>. Also, the OES lines (He 667.96, 706.57 nm, H<sub>α</sub> 656.27 nm and H<sub>β</sub> 486.13 nm) were used to evaluate the  $T_e$  by the Boltzmann equation and compared with the value obtained by single Langmuir probe.

Keywords: Ethanol; Helium; glow discharge; single Langmuir probe; OES.

## 1. Introduction

At the present time, many contaminants are present in our environment; different forms of removing these compounds are one of the principal goals of research in several science areas. An example of those is the Ethanol or Ethyl Alcohol ( $C_2H_6O$ ,  $C_2H_5OH$ ), which is a chemical compound in liquid state, colorless and volatile. It is obtained by the ethylene with the sulfuric acid hydrolysis. In natural form is obtained by fermentation. In the industry, the ethanol is used like dissolvent in the synthesis of drugs, plastics, cosmetics, perfumes, and others products; for the obtainment of acetaldehyde, vinegar, butadiene, etc.; like a fuel, in antifreezes mixtures, prime matter in the physiological and pathological specimen's preservation and surgery antiseptic [1-4]. It is highly volatile compound; where it can be inhaled by living beings, but in little doses the damage is not dangerous, while that in high concentrations produce respiratory tract and eyes irritation, etc.

Another risk is that the ethanol is flammable causing explosive mixtures in closed areas. That is the reason why the ethanol is classified like a Volatile Organic Compound (VOC); these compounds are contaminants in the atmosphere and are interesting to study for their decomposition [5-6]. Different methods can be employed to VOC decomposition, like bio-filtration, catalytic decomposition, thermic oxidation process, and by plasma [7-9].

The ethanol and helium mixture plasma has been studied for film deposition via APPD (atmospheric pressure plasma deposition) [10], the results in this work, shows that the treatment of different materials by these means, make possible change their hydrophilic properties.

The objectives for this work are to study the  $C_2H_6O$  – He mixture glow discharge was produced at 2.0 Torr of pressure, by the electrical characterization using a Single Langmuir

Probe, and by the optical characterization, in fact the OES data was analyzed. We also used the OES data to evaluate the electron temperature and the electron density by the Boltzmann equation; these are compare with the data obtained by the Langmuir probe.

## **2. Experimental Setup**

The experimental device is the same from the previous work [11] and it is show in figure 1, consists of: 1. Aluminum cylindrical vacuum chamber. 2. Mechanical pump, which reach a base pressure of  $1.0 \times 10^{-3}$  Torr. 3. Two movable copper electrodes with 5.0 cm of diameter, those electrodes are positioned at the center of the vacuum chamber with 1.0 cm gap spacing. 4. Two electrical feedthroughs connected to the power supply (1 kW, Spellman SA4); 5. Pressure meter Pirani (MKS 103170027SH), the total pressure for the discharges in this work was 2.0 Torr. 6. Flowmeter (Matheson Tri.GasFM – 1050). 7. Spectrometer Ocean Optics (HR4000CG-UV-NIR), with resolution of 0.025 nm in an interval of 200 – 1100 nm wavelength. 8. A computer with Ocean Optics software. And 9. Single Langmuir Probe (SLP).

To generate the plasma, first the vacuum chamber are evacuated with the mechanical pump, after it is filled with the gases  $C_2H_6O - He$ , and finally the discharge are made between the electrodes at 420 V and 20 mA.

The single Langmuir probe is an intrusive method to determinate the plasma electron temperature and the electron density. It was built and consists in a tungsten electrode which has a diameter of 1mm and a length of 5.5 mm. This probe are connected to a multimeter (Fluke 8846A) and to a DC power supply (GW INSTEK GPR 30H100), the voltage difference applied to the probe was in the range from +300 V to -150 V.

### 3. Results

#### 3.1 Electrical Characterizations.

I – V curves responses of the single Langmuir probe for different conditions 100% He, 50% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O /50% He, and, 100% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O at 2.0 Torr are show in figure 2. The electron temperature ( $T_e$ ) and electron density ( $n_e$ ) can be evaluated by the Druyvesteyn method [12-14], it consists in calculated the electron energy probability function (EEDF) by the expression

$$f(E) = \frac{2\sqrt{2m_e} d^2 I_p}{e^3 A dV^2} \quad (1)$$

Where  $e$  and  $m_e$  are the electron charge and mass,  $V$  and  $I_p$  are the probe voltage and current and  $A$  is the probe area [15]. Then, the electron energy distribution function (EEDF or  $F(E)$ ), the  $n_e$ , and the  $T_e$  are given by

$$F(E) = \sqrt{E} f(E) \quad (2)$$

$$n_e = \int_0^{\infty} F(E) dE \quad (3)$$

$$T_e = \frac{2}{3n_e} \int_0^{\infty} E F(E) dE \quad (4)$$

Where  $E$  is the electron energy. In figure 3 is plotted the evolution of EEDF for the different discharges (100% He, 50% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O /50% He, and, 100% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) versus the electron energy. The EEDF remains a Maxwellian distribution function for the 100% He, and for the 50% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O /50% He, and, 100% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O the EEDF can be describe as a two temperature distribution of electrons with an excessive energy tail.

The next step was evaluated the  $n_e$ , and the  $T_e$  using the equations 3 and 4. The errors of these values are given by the standard deviation, in these cases the results are of 10% in both values. The electron density and electron temperature as a function of the helium percentage are plotted

in the figure 4. The values for  $T_e$  are in the range of 1.2 to 0.1 eV, this decrease as a function of the helium percentage, is attributed to the lower ionization energy for the  $C_2H_6O$  molecule ( $\sim 10.41$  eV) [16] with respect to helium value ( $\sim 24.58$  eV) [17], then when is increase the percentage of the helium in the plasma mixture is more expensive to ionized the gases at the chamber; this results in a loss of energy, and consequently the electron temperature decrease when the helium rise up in the discharges.

On the other hand, the values for the  $n_e$  are between of  $8.3 \times 10^{14}$  and  $3.3 \times 10^{13}$  particles/cm<sup>3</sup>, that decrease of the  $n_e$  as a function of helium percentage (figure 4), is due by the decrease of ethanol in the mixture, the electron impact dissociation for ground state ethanol molecules increase the number of free electrons in the discharge, then the ethanol discharge have more electron density than the discharges which contains helium in the mixture.

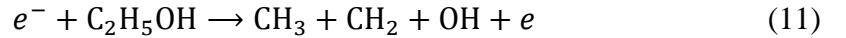
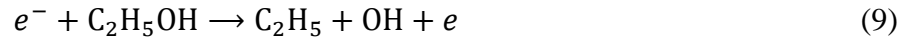
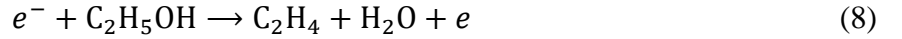
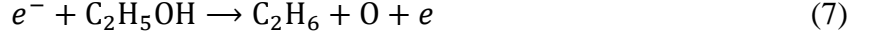
### *3.2 Optical Emission Spectroscopy (OES) Measurements*

Figure 5 shows the optical emission spectra of all glow discharges study in this work. The species observed were: at 391.4 nm for  $O_2$  ( $A^2\Pi - X^2\Sigma$ ) Comet – Tail system; at 427.73 nm for  $CO^+$  ( $B^3\Sigma_u^- - X^3\Sigma_g^-$ ) Schumann – Runge system; at 483.53, 518.85, 561.02 and 606.99 nm for  $CO$  ( $B^1\Sigma - A^1\Pi$ ) Angstrom system; at 486.13 nm for  $H_\beta$ ; at 656.27 nm for  $H_\alpha$ ; at 501.56, 587.59, 667.96, 706.57 and 728.13 nm for He.

Furthermore, the changes of the intensity of the most intense peaks as a function of the helium percentage are plotted in figure 6, from that picture is possible to see that the bands of  $O_2$  (391.4 nm),  $CO^+$  (427.73 nm),  $CO$  (561.02 nm) and the line  $H_\alpha$  (656.27 nm) decrease when the helium percentage increase, while the helium lines (667.96 nm) decreases. The difference in population of this species may be due to their different excitations and ionization energies and the

rise of helium metastable states He I (501.56, 587.59, 667.96, 706.57 and 728.13 nm) in the discharge.

The atomic and molecular reactions presents in the C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O – He mixture plasma are:



The equation 5 corresponds to excitation, the equation 6 to ionization, and the others equations 7 – 12 corresponds to dissociation. These reactions show the dissociation of the C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O molecule, which there have as products the species observed in the figure 5.

Another analysis, is the determination of the electron temperature using the Boltzmann distribution law:

$$\frac{N_n}{N_m} = \frac{g_n}{g_m} e^{\left(\frac{-E_n - E_m}{kT_e}\right)} \quad (13)$$

Here the  $N_n$  and  $N_m$  are the number density of the particles for the  $n$  and  $m$  states with energy  $E_n$  or  $E_m$ ,  $g_n$  and  $g_m$  are the degeneracy of the energy level  $n$  or  $m$ ,  $k$  is the Boltzmann constant and the  $T_e$  is the electron temperature. Considering the plasma is thermodynamic local equilibrium, then the intensity of the lines measure by OES ( $I_{mn}$ ) can be re-write using the Boltzmann equation:

$$I_{mn} = \frac{hc}{4\pi\lambda_{mn}} \frac{N(T)}{U(T)} g_m A_{mn} e^{\left(\frac{-E_m}{kT_e}\right)} \quad (14)$$

Where the  $\lambda_{mn}$  is the wavelength for the emitted line,  $A_{mn}$  is the Einstein transition probability for spontaneous emission ( $s^{-1}$ ),  $h$  is the Planck constant,  $c$  is the speed of light,  $N(T)$  is the total states number and  $U(T)$  is the partition function. Then, the electron temperature for two different lines of the same atom:

$$T_e = \frac{E_2 - E_1}{k} \left( \ln \left[ \frac{I_1 \lambda_1 g_2 A_2}{I_2 \lambda_2 g_1 A_1} \right] \right)^{-1} \quad (15)$$

In these cases, the values for the energy, the degeneracy and the values for the Einstein transition probability are taken of the NIST Atomic Spectra Database Lines Form [18]. The lines used to evaluate the electron temperature were He 667.96 and He 706.57 nm in the C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O – He mixture discharges; and, H <sub>$\alpha$</sub>  656.27 and H <sub>$\beta$</sub>  486.13 nm for 100% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O discharge. The errors for this calculate are obtained from the standard deviation (10%). Figure 7 shows the comparison for the two different methods to determinate the  $T_e$ . For the Boltzmann method, the  $T_e$  is found between the 1.27 and 0.154 eV, and by the Single Langmuir Probe (SLP) is found in the range of 1.16 to 0.17 eV. Both measures are little different, but the two are consistent, that is due for the fact that the SLP is an intrusive method.

#### 4. Conclusions

In this work the C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O and He mixture plasma was made at 2 Torr of total pressure, changing the concentrations of each gas, and we analyzed the optical emission spectroscopy for that glow discharge.

The decomposition of the ethanol molecule was achieved, that was corroborate by the lines and bands observed by OES, these were O<sub>2</sub> (A<sup>2</sup>Π – X<sup>2</sup>Σ), CO<sup>+</sup> (B<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>-</sup> – X<sup>3</sup>Σ<sub>g</sub><sup>-</sup>), CO (B<sup>1</sup>Σ – A<sup>1</sup>Π), H <sub>$\beta$</sub> , H <sub>$\alpha$</sub>  and He. The formation of the hydrogen atoms H <sub>$\alpha$</sub>  and the molecules of CO<sup>+</sup> and CO can be attributed to the electron impact dissociation of C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O.



The electron density and the electron temperature were evaluated using a single Langmuir probe data.  $T_e$  was found in the range of 1.2 – 0.1 eV and  $n_e$  in the order of  $10^{14}$  particles per  $\text{cm}^3$ . The interval for the electron temperature was also obtained using the OES data of the atom lines. In figure 9, is show these results, and the two methods are consistent.

To dissociate different gases, like the VOC, the glow discharge is an efficient method because the plasma generated has a higher chemical reactivity.

## **Acknowledgments**

We are grateful to N. Rodriguez (FC-UAEM), H. H. Hinojosa (ICF-UNAM) and O. Flores (ICF-UNAM) for their technical assistance. This work was partially supported by DGAPA IN-101613 project and CONACyT 225991.

## References

- [1] D. S. Levko, A. N. Tsymbalyuk, and A. I. Shchedrin. *Plasma Physic Reports*. 38 (2012) 913.
- [2] F. Chen, X. Huang, D. Cheng and X. Zhan. *Int. J. Hydrogen Energy*. 39 (2014) 9036.
- [3] X. Zhu, T. Hoang, L. L. Lobban and R. G. Mallinson. *Int. J. Hydrogen Energy*. 39 (2014) 9047.
- [4] J. C. M. Brust, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 7 (2010) 1540.
- [5] A. Daneshkhah, S. Shrestha, M. Agarwal and K. Varahramyan, *Sensors and Actuators B* 221 (2015) 635.
- [6] S. Öztürk, A. Kösemen, Z. A. Kösemen, N. Kilinc, Z. Z. Öztürk and M. Penza, *Sensors and Actuators B* 222 (2016) 280.
- [7] J. S. Chang, *Sci. Technol. Adv. Mater* 2 (2001) 571.
- [8] M. Hrabovsky, M. Konrad, V. Kopecky, M. Hlina and T. Kavka. *Czech. J. Phys.* 56 (2006) B1199.
- [9] S. Fukahori, I. Yumi, H. Ichiura, T. Kitaoka, T. Tanaka and H. Wariishi, *Chemosphere* 66 (2007) 2136.
- [10] K. S. Chen, S. C. Liao, S. W. Lin, S. H. Tsao, T. H. Ting, N. Inagaki, H. M. Wu and W. Y. Chen, *Surf. Coat. Technol.* 231 (2013) 408.
- [11] J. Torres, P. G. Reyes, C. Torres, H. Martínez and J. Vergara, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 43 (2015) 846.
- [12] N. Kang, S. Oh and A. Ricard. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41 (2008) 155203.
- [13] V. A. Godyak, R. B. Piejak, and B. M. Alexandrovich. *J. Appl. Phys.* 73 (1993) 3657.
- [14] T. H. Chung, H. R. Kang, and M. K. Bae. *Phys. Plasmas* 19 (2012) 113502.
- [15] H. J. Roh, N. K. Kim, S. Ryu, S. Park, S. H. Lee, S. R. Huh and G. H. Kim, *Curr. Appl. Phys.* 15 (2015) 1173.
- [16] J. L. Holmes and F. P. Lossing, *Org. Mass Spectrom.* 26 (1991) 537.

[17] NIST Atomic Spectra Database Lines Form USA, National Institute of Standards and Technology (NIST) USA, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/heliumtable1.htm>, 2016 (accessed 15.03.16).

[18] NIST Atomic Spectra Database Lines Form USA, National Institute of Standards and Technology (NIST) USA, [http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html), 2016 (accessed 15.03.16).

## List of captions

Figure 1. Experimental device.

Figure 2. Examples of I – V response of the single Langmuir probe for different mixture plasmas.

Figure 3. Electron energy distribution function for the 100% He, 50% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O / 50% He, and, 100% C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O discharges.

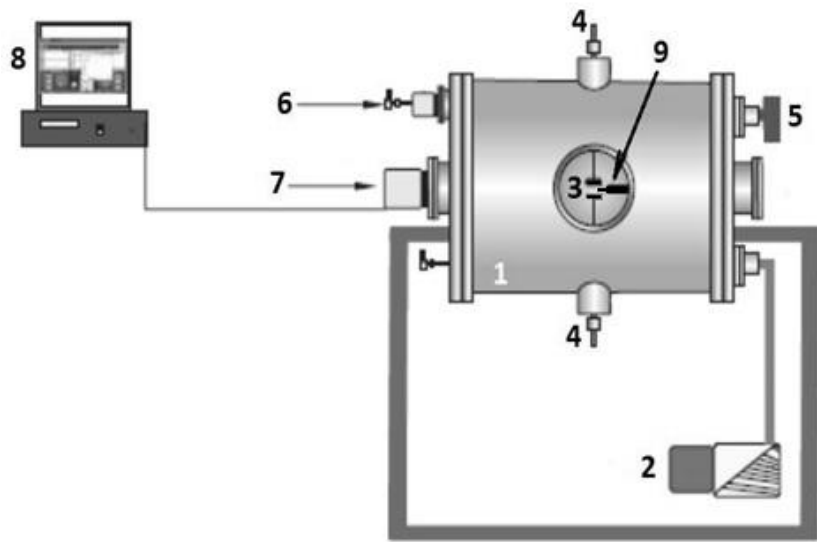
Figure 4.  $T_e$  and  $n_e$  as a function of the helium percentage.

Figure 5. OES of Ethanol and Helium mixture glow discharge.

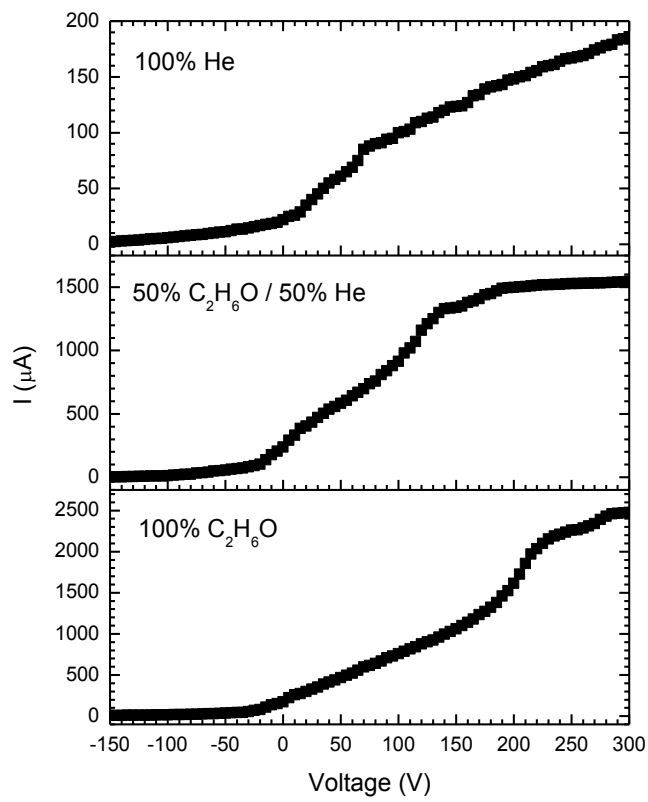
Figure 6. Intensity of the most intense lines and bands observed in the mixture glow discharge as a function of He percentage.

Figure 7.  $T_e$  evaluated by the single Langmuir probe data (SLP) and  $T_e$  results of the principal OES main data; plotted versus the helium percentage.

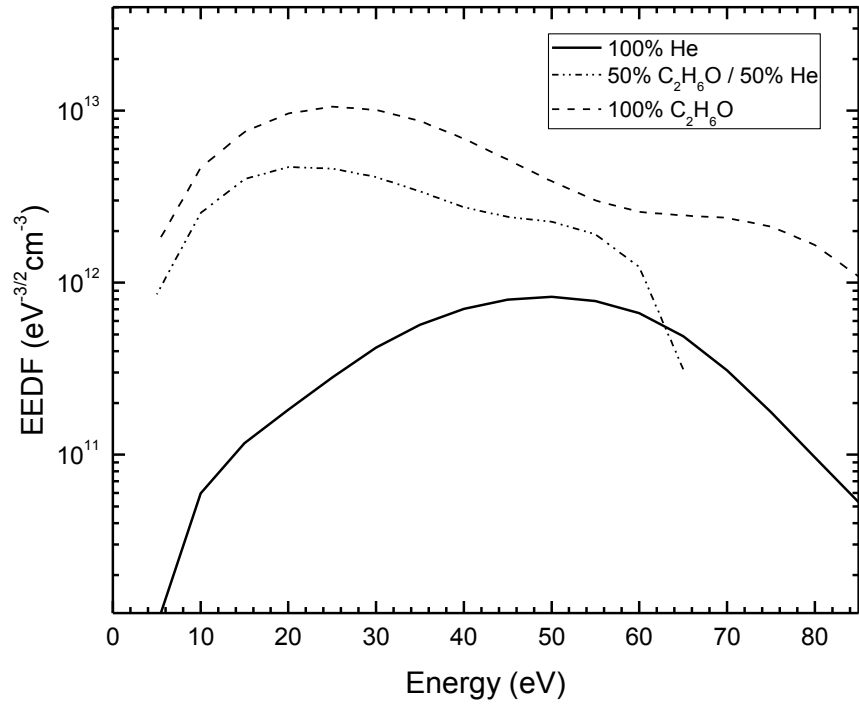
Figures.



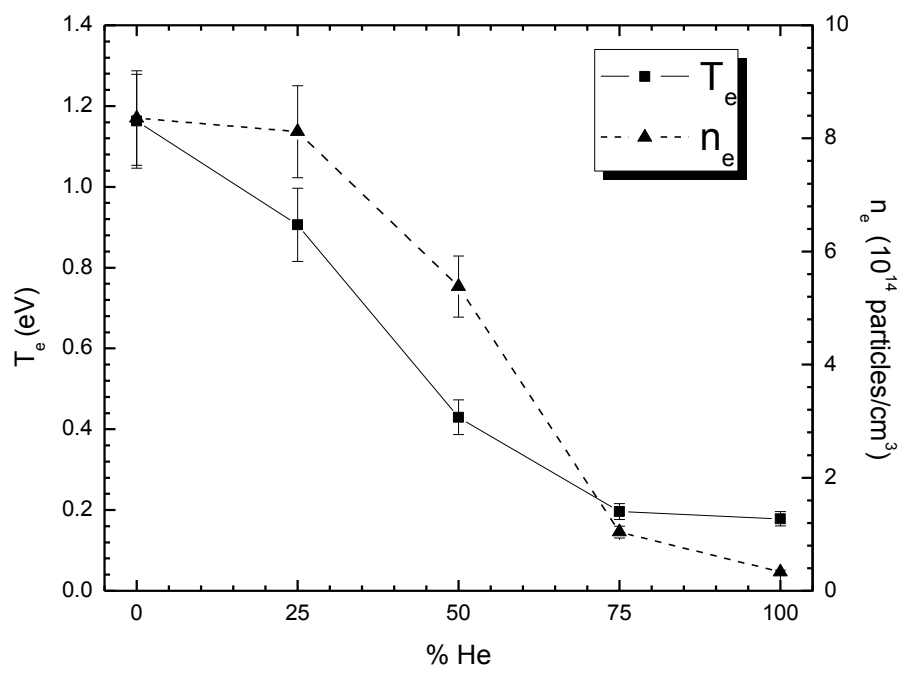
1



2



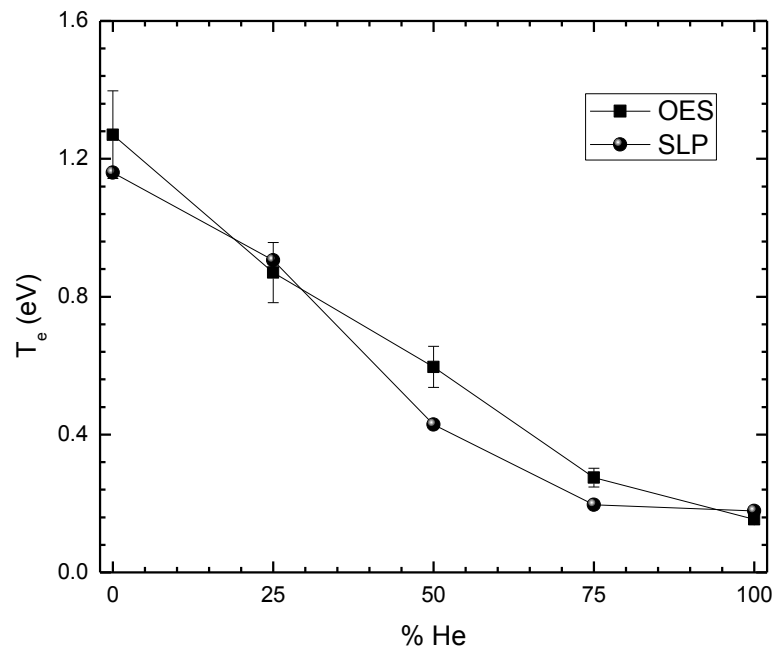
3



4







7

### III. ANEXOS

## **ANEXO 1. OTROS TRABAJOS**

## Study of the Rogowski coil response in a plasma focus device

This content has been downloaded from IOPscience. Please scroll down to see the full text.

2015 J. Phys.: Conf. Ser. 591 012028

(<http://iopscience.iop.org/1742-6596/591/1/012028>)

View [the table of contents for this issue](#), or go to the [journal homepage](#) for more

### Download details:

IP Address: 148.215.78.184

This content was downloaded on 13/04/2016 at 17:30

Please note that [terms and conditions apply](#).

## Study of the Rogowski coil response in a plasma focus device

S. Perusquía<sup>1</sup>, F. Castillo<sup>2</sup>, P. G. Reyes<sup>1</sup>, H. Martínez<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, Laboratorio de Física Avanzada, Universidad Autónoma del Estado de México, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Físicas, Laboratorio de Espectroscopia, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 48 3, C.P. 62251, Cuernavaca, Morelos, México.  
ciro@fis.unam.mx

**Abstract.** In plasma physics is very important understand the behaviour and amplitude of high intensity currents. The high intensity current pulses are measured by resistive and inductive sensors. Coil configurations are employed in the same form as inductive sensors. Rogowski coil is a representative example; that coil consists of a toroidal-shaped winding. In this work we built a Rogowski coil. The coil operation was realized in a plasma focus device. The results show a good performance. We also used the coil to measure the current and voltage changes with respect to time, during the normal operation of the plasma focus device. The maximum value of the current (348kA) was obtained. As a complementary work, we analysed the results by changing the central electrode of the device (needle electrode, gap electrode and plane electrode). It founds that the pinch time is independent of the configuration of the central electrode.

### 1. –Introduction

In power system applications as well as in other scientific fields, it is necessary to determine the characteristics of high intensity currents. High current pulses have been studied in lightning, electric arcs, and in plasma physics experiments. The current amplitude can vary from several few hundred amperes to kilo – amperes, in a few nanoseconds [1, 2].

These current pulses in plasma physics experiments are measured by resistive and inductive sensors. Unlike resistive sensors, inductive transducers are a non-intrusive measurement and provide good insulation between the circuit under test and measuring equipment. Different types of configurations of magnet coils can be used as inductive sensors.

A representative example of such sensors is a Rogowski coil. Walter Rogowski (1881 - 1947), best known for his research in electrical engineering, electro-technology, telecommunications and electronics primarily physical. In 1912 proposed the use of Rogowski coil, with toroidal shaped for polling the current changes with respect to time.

There are several forms to generate plasma in the laboratory, discharges in gases, and plasmas by magnetic confinement, inertial confinement plasmas, among others. However, the magnetic confinement systems can be classified into two groups:

- Equilibrium conditions, where the plasma pressure is balanced by external magnetic fields. Usually these systems are also characterized by using closed or quasi-closed geometry of the device: Tokamak, Stellarator, magnetic mirrors, etc. [3, 4].



• Non-equilibrium condition, where the plasma is accelerated by its own magnetic forces generated by the same link and self-confined, the geometry is opened in these devices: Z- Pinch,  $\theta$  -Pinch Plasma Focus, etc. [5, 6].

The magnetic confinement consists in generating electrical pulses in a gaseous medium, producing plasma, without allowing inhomogeneity between the center and the walls of the device.

Rogowski coils are employed to measure the electrical currents of the system [7]. The principal objective of this work, it is build a Rogowski coil to measurement the current variations ( $dI/dt$ ) in a pulsed discharge device. It is why in this section will explain the Rogowski coil and the pulsed discharge device briefly. The Rogowski coil (RC) consists in a helical winding around a toroidal-shaped, a representative form of this coil is shows in Figure 1 [8 – 15]. His principal operation is based in the measurement of the current induced by the magnetic field produced by the device. In that case, the total induced voltage is given by:

$$V_{coil} = -\mu_0 AN \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

The equation (1) represents the relationship between the current variation ( $dI/dt$ ) and the total potential difference induced ( $V_{coil}$ ) in the coil, where A is the coil cross section, N is the turns number and  $\mu_0$  is the magnetic permeability.

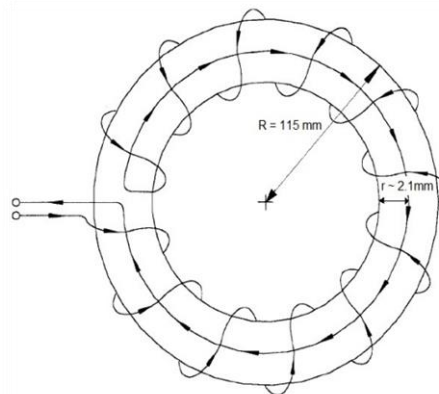
In general, it can be said that the magnetic field variation produced by the current flowing through the coil conductor induces a voltage proportional to the change of the current with respect to time. Being proportional with the mutual inductance ( $M$ ), then:

$$V_{coil} = -M \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

Where:

$$M = \mu_0 AN \quad (3)$$

Interest in devices capable of generating high voltage and current in a very short time, of the order of nanoseconds, they have been grown considerably recently. Then, for that purpose several machines have been designed and constructed. In particular, pulsed discharges are formed to generate high voltage and current, specifically in this work we use a plasma focus device [16, 17]. In that device the variations of high voltage and current are critical, hence the use of a Rogowski coil for measuring the current variation can be done [18].



**Figure 1.**Dimensions of the Rogowski coil.

## II. - Experimental Setup

This work was performed using a small plasma focus device (PFD) [16]; its capacity is 5kJ of energy at 38 kV. The device has an oxygen-free copper anode, with 40 mm long, and 50 mm diameter. The coaxial cathode is formed by ten copper rods arranged in a squirrel cage configuration at a radius of 50 mm. The insulator is an annular *Pyrex*® tube located at the base of the anode, Figure 2. Throughout the present work the plasma focus was operated in its neutron optimised regime, corresponding to a 2.75 torr of deuterium gas pressure.

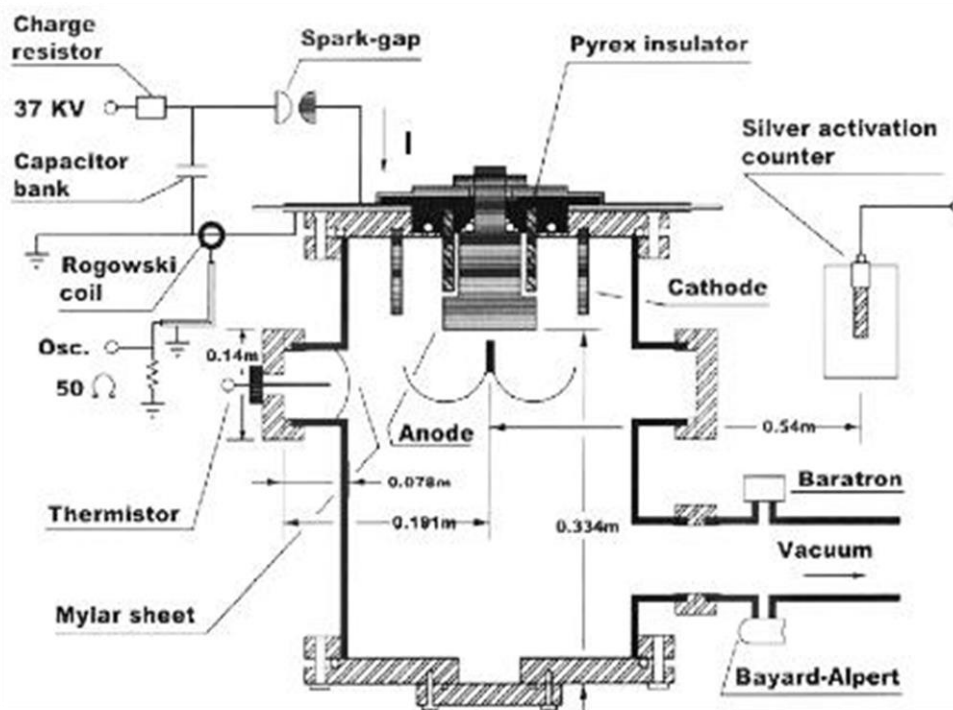


Figure 2. Pulsed Discharge device experimental setup [16].

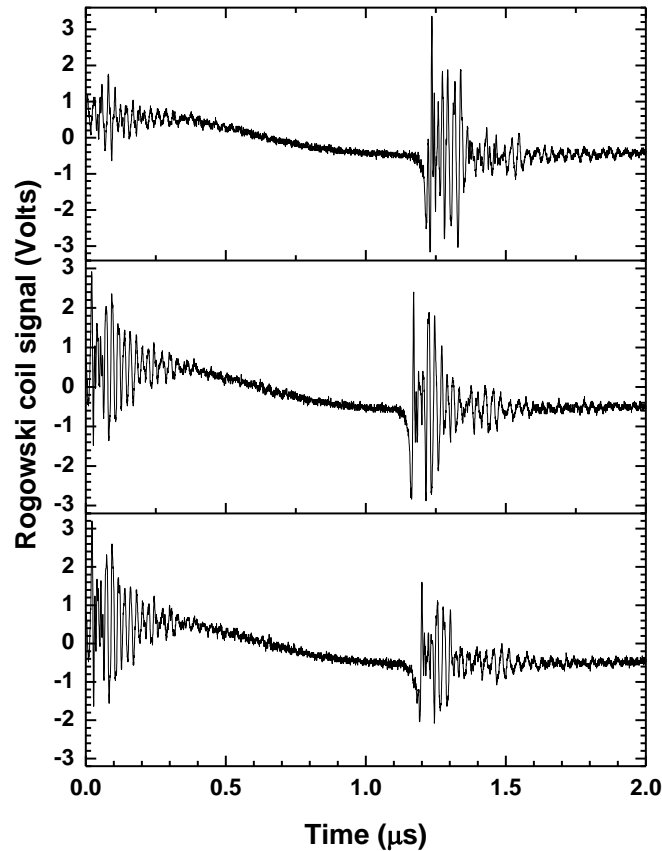
The Rogowski coil [9 - 12] consists of a winding of 95 turns, toroidal-shaped of 21 cm in diameter and 4.2 mm internal diameter. Then, the mutual inductance provided by the Rogowski coil is:

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi r} N^2 A = 317.6 \text{ nH} \quad (4)$$

It is noteworthy that the coil was connected to an oscilloscope for recording the signal. Figure 1 shows the dimensions of the coil built.

### III. –Results

Typical Rogowski coil signals during normal operation are shown in Figure 3.



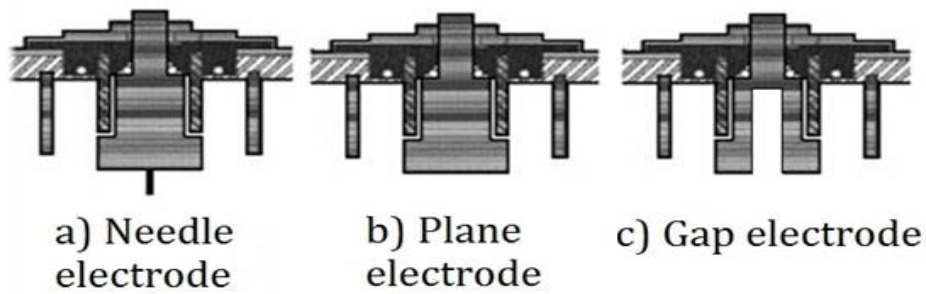
**Figure 3.** Rogowski coil signals during normal operation.

In a period time of 1.16  $\mu\text{s}$  for pulse, it produced 35.2 ns of pinch time. Taking these values, the current was obtained by:

$$I(t) = I_0 \sin(\omega t) \approx (348 \pm 35) \text{ kA} \quad (5)$$

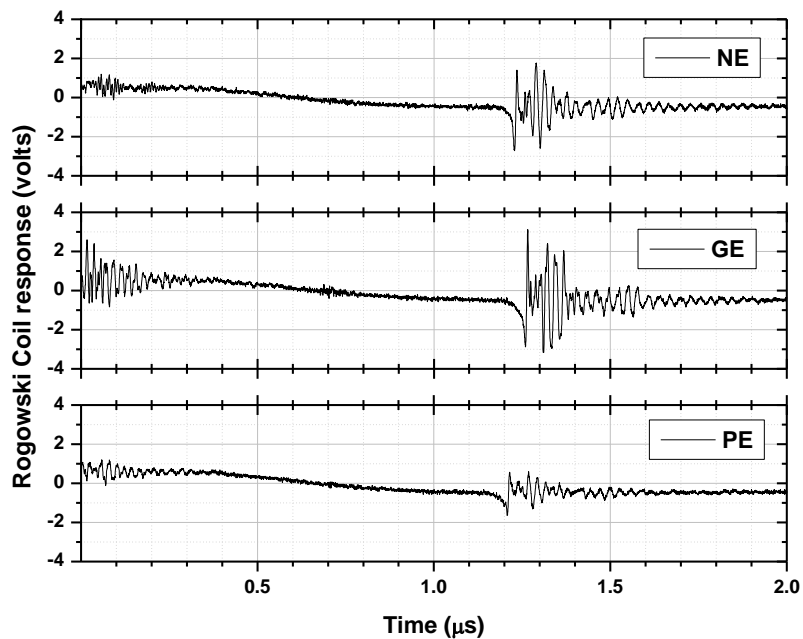
Different configurations of the central electrode were performed (Figure 4): with gap, planar electrodes and needle-shaped electrodes. The change in the pinch time with these configurations will be measure in each case.





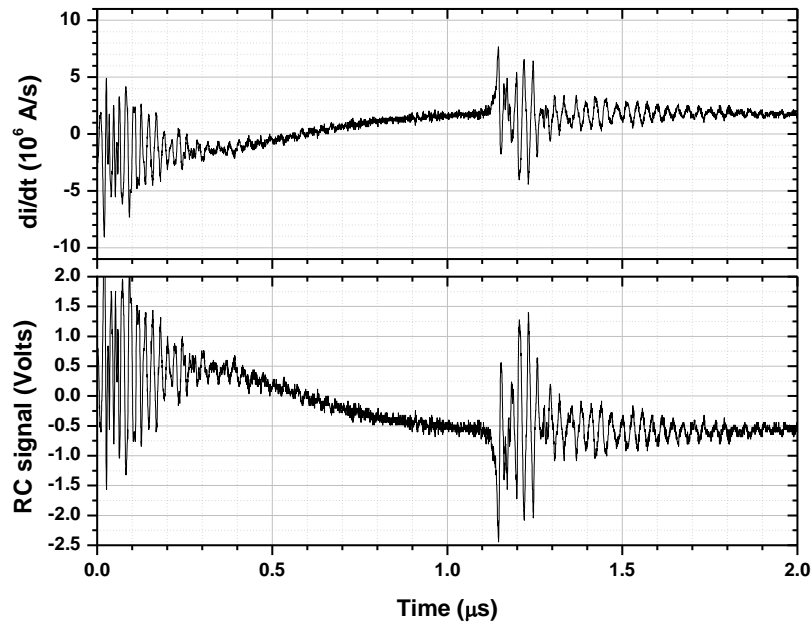
**Figure 4.** Central electrodes arranged on the PFD.

The Rogowski coil response produced in each configuration is displays in Figure 5. It can be that the pinch time is approximately the same for the three configurations. That implies that the pinch time does not depend on configuration of the central electrode.

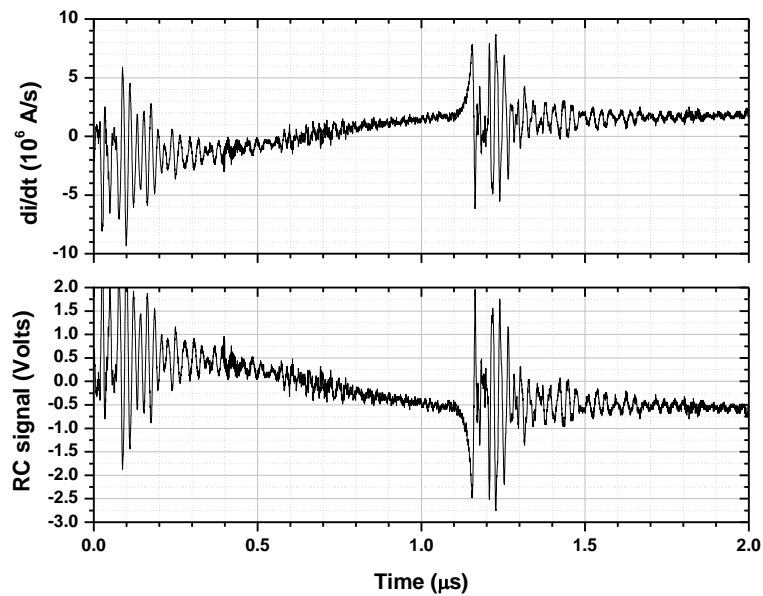


**Figure 5.** Rogowski Response. NE - Needle electrode, GE – Gap electrode and PE - Plane electrode.

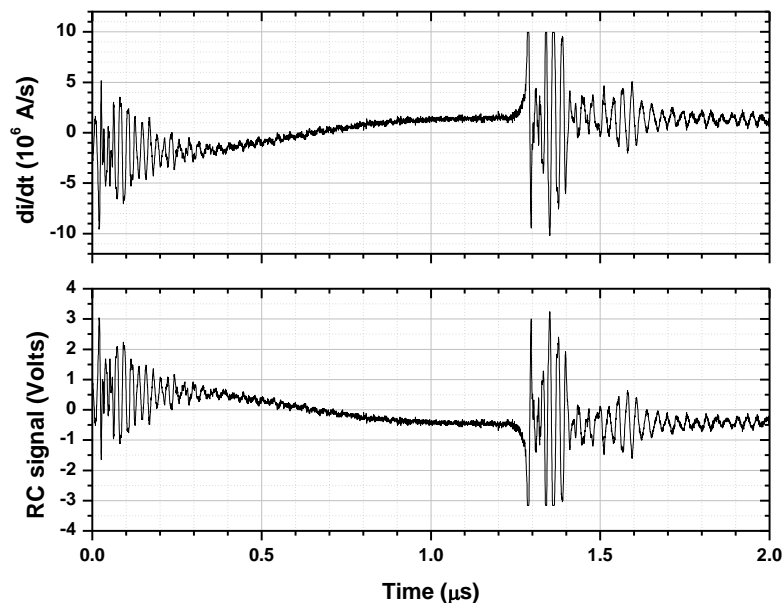
Individual results for each configuration are shown in Figures 6, 7 and 8.



**Figure 6.** Rogowski coil signals using Needle electrode.



**Figure 7.** Rogowski coil signals using Gap electrode.



**Figure 8.** Rogowski coil signals using Plane electrode.

From Figures 6, 7, and 8, it observes that the maximum values of  $dI/dt$  are between  $5 \times 10^6$  and  $10 \times 10^6$  A/s, in a pinch time of approximately 37 ns. The pinch time is approximately the same for the three types of electrodes studied in this work (see Figures 5, 6, 7 and 8), which is consistent with existing theories [19, 20, 21]. That pinch time depends on the dimensions of electrodes and not from the configuration of the central electrode.

These changes in the configurations of the central electrode are present in the final stage (compression) and its subsequent evolution. For example, in PE configuration the hard x-rays are the radiation main production; in GE configuration, the ions and electrons become more important and in NE configuration, the production of neutrons and soft x-rays generation emerge as the principal source of emission. These results verified that the changes in the central electrode configuration do not modify or change the evolution of the current sheet, only modifies the compression stage. Likewise the current calculated for each case shown. It known that in plasma focus, the signal changes from shot to shot.

#### IV. -Conclusions

The conclusions of this work are:

- A Rogowski coil was built.
- The Rogowski coil operation in short circuit testing was proof.
- Maximum values of current variation ( $dI/dt$ ) were found in the order of  $10^6$  A/s.
- Time pinch were approximately of 37 ns.
- The pinch time is independent of the configuration of the central electrode.
- The maximum value of the pinch current was  $(348 \pm 35)$  kA.
- The Rogowski coil is a very good instrument to measure the current variation in pulsed devices.

## Acknowledgements

The authors are thankful to J. Herrera and J. Rangel for technical assistance. This research was partially sponsored by DGAPA 1IN101613 and CONACYT 128714.

## Referencies:

- [1]Sato E, et. al., 1994 *Med.Biol. Eng. Comput.* **32** (3), 295-301.
- [2]Hurricane O. A., et. al., 2014 *Nature* **506**, 343 – 348.
- [3]Harris, J.H., et al. (1985) *Nuclear Fusion*, 25, 623.
- [4]Shultis, J.K., and Faw, R.E. (2002) *Fundamentals of nuclear science and engineering*, CRC Press ISBN 0-8247-0834-2.
- [5]Castell, R., et al. (2010) *Revista Mexicana de Física*, 56 (1), 9-13.
- [6]Milanese, M., et al. (2012) *Anales AFA, Malargüe* **22**, 64-70.
- [7]Pellinen, D. G., et al., 1980 *Rev. Sci. Instrum.* **51**(11), 1535 – 1540.
- [8]Cooper, J. 1963 *Plasma Physics (Journal of Nuclear Energy. Part C)* **5**, 285 – 289.
- [9]Ramboz, J. D., 1996 *IEE Transactions on Instrument and Measurement*, **45** (2), 511 – 515.
- [10]Ray, W. 1993 *EPE Journal* **3** (1), 51 – 59.
- [11]Ray, W. 1993 *EPE Journal* **3** (2), 116 – 122.
- [12]Rogowski, W. and Steinhaus, W., 1912 *Arch Electrotech* **1**, 141 – 150.
- [13]Smirnov, V.P., 2010 *Nucl. Fusion* **50**, 14003.
- [14]Habibi, M., et. al., 2008 *Brazilian Journal of Physics* **38**, (2).
- [15]Milanese, M., et. al., 2012 *Anales AFA, Malargüe* **22**, 64 – 70.
- [16]Castillo, F. et. al., 2002 *Brazilian Journal of Physics* **32**, (1).
- [17]Castillo, F., et. al., 2007 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **40**, 5902–5906.
- [18]Podlesak M., 1990 *Rev. Sci. Instrum.* **61**, (2) 892 – 896.
- [19]Soto, L., et. al., 2004 *12<sup>th</sup> International Congress on Plasma Physics ICPP2004*, Niza France
- [20]Lee S. and Saw S.H. (2008) *Applied Physics Letters*, 92 (2), 021503.
- [21]Lee S., Saw S.H., Lee P., Rawat R.S. and Schmidt H. *Applied Physics Letters*, 92 (11), 111501.



**PBI&D 2015**

13th International Conference on  
Plasma Based Ion Implantation & Deposition

5 - 9 October  
Buenos Aires, Argentina



## CERTIFICATE

I hereby certify that

**Salvador Perusquía**

from Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico

attended the

**13<sup>th</sup> International Conference on Plasma Based Ion Implantation & Deposition,**  
held in Buenos Aires, Argentina, from 5<sup>th</sup> to 9<sup>th</sup> October, 2015,

and presented the work

*“Experimental study of ethanol and helium mixture glow discharge”*

by Salvador Perusquía, Pedro G. Reyes, Aaron Gómez, Fermín Castillo, Horacio Martínez, Josefina Vergara  
in the poster session.

Dr. Adriana Márquez  
Chair of the Organizing Committee  
PBI&D 2015



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO



TES V G  
VILLA GUERRERO

# El Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero

Otorga el presente:

## Reconocimiento

a

**FIS. SALVADOR PERUSQUÍA HERNÁNDEZ, DR. AARON GÓMEZ DÍAZ, DR. CÉSAR TORRES SEGUNDO, DRA. JOSEFINA VERGARA SÁNCHEZ, DR. PEDRO GUILLERMO REYES ROMERO Y DR. HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA**

Por su participación como expositor del trabajo **“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PLASMAS BINARIOS DE ALCOHOL ETÍLICO CON HELIO”**, dentro del **1<sup>er</sup> Simposio Internacional Ciencia e Ingeniería Sustentable: Alimentos, Agricultura Orgánica y Ambiente**

MODALIDAD: CARTEL

FOLIO: 1922BAM-C

ATENTAMENTE



**M. en C. MARIO CARLOS GARCÍA GARCÍA**  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



**1<sup>ER</sup> SIMPOSIO INTERNACIONAL CIENCIA E INGENIERÍA SUSTENTABLE**

ALIMENTOS, AGRICULTURA ORGÁNICA Y AMBIENTE

del 24 al 26 de Junio de 2015 en Villa Guerrero, Estado de México.

EL PRESENTE RECONOCIMIENTO QUEDA REGISTRADO CON EL  
NUMERO 4412 EL DÍA 26 DE Junio DE 2015 SEGÚN  
CONSTA EN EL LIBRO NUMERO 1 FOLIO 88 DE  
RECONOCIMIENTOS Y CONSTANCIAS OTORGADOS POR EL  
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE VILLA GUERRERO

AUTORIZA



M. EN C. MARIO CARLOS GARCÍA GARCÍA  
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE VILLA GUERRERO  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO DE LA DIRECCIÓN ACADÉMICA

Sociedad Mexicana de Física

**LVII Congreso Nacional de Física**  
**XXIX Encuentro Nacional de Divulgación Científica**

PROGRAMA Y RESÚMENES



Mazatlán, Sinaloa.  
Mazatlán International Center  
del 6 al 10 de octubre de 2014



**EDITORES:**

**Fis. Ma. Luisa Marquina Fábrega**

M. en C. Raúl Espejel Morales

Paris Manuel Sánchez Carreón

José R. Dorantes Velázquez

**PROGRAMA Y RESÚMENES  
DEL LVII CONGRESO NACIONAL DE FÍSICA  
D.R.© SOCIEDAD MEXICANA DE FÍSICA, A.C.**

Departamento de Física 2o. piso

Facultad de Ciencias, UNAM

Circuito Exterior, Ciudad Universitaria

Universidad Nacional Autónoma de México

Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

smf@ciencias.unam.mx

smf@unam.mx

<http://www.smf.mx>

**ISSN 0187-4713**

**Los resúmenes son  
responsabilidad de sus autores.**

dios en Física y Matemáticas Básicas y Aplicadas, Universidad Autónoma de Chiapas; Roberto Arceo Reyes, roberto.arceo@unach.mx, Centro de Estudios en Física y Matemáticas Básicas y Aplicadas, Universidad Autónoma de Chiapas;

Las tormentas solares consisten en violentas explosiones de plasma y de partículas cargadas, llamadas fulguraciones, y sobre todo eyecciones de masa coronal, durante una tormenta solar se expulsan y se expanden por todo el Sistema Solar millones de toneladas de plasma y partículas cargadas, estas partículas tardan en alcanzarnos de uno a tres días, aunque a veces llegan en sólo unas horas, algunas de éstas chocan con el campo magnético de la Tierra produciendo tormentas geomagnéticas. En este trabajo calculamos el potencial de la capa polar que se produjo con la tormenta solar de clase X1 del 9 al 16 marzo del 2011. Para esta simulación se usaron las ecuaciones Magneto Hidrodinámicas.

**4MC05 Tormenta Magnética producida en septiembre del 2011** Edwin González Solís, edwinglez\_solis@hotmail.com, Centro de Estudios en Física y Matemáticas Básicas y Aplicadas, Universidad Autónoma de Chiapas; Roberto Arceo Reyes, roberto.arceo@unach.mx, Centro de Estudios en Física y Matemáticas Básicas y Aplicadas, Universidad Autónoma de Chiapas;

Este trabajo trata sobre las actividades magnéticas que se produjeron durante los días del 6 al 8 de septiembre del 2011, estudiando los parámetros del campo magnético, el potencial producido en la capa polar y los daños que produjo este suceso. El campo magnético de la Tierra es generado por las corrientes que van al núcleo de la Tierra. El viento solar y la ionósfera interactúan con la magnetósfera de la Tierra, que es la región del espacio dominado por nuestro campo magnético.

**4MC06 Caracterización mediante espectroscopia de emisión óptica y espectrometría de masas de una descarga luminiscente de He-N<sub>2</sub>** S. Perusquía<sup>2</sup>, O. Flores<sup>1</sup>, F. Castillo<sup>1</sup>, H. Martínez<sup>1</sup>, M. Villa<sup>2</sup>, S. Villalobos<sup>1,3</sup>, P. G. Reyes<sup>2</sup>. <sup>1</sup>Laboratorio de Espectroscopia, Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos, México. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México. <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México.

En este trabajo se analiza la descarga luminiscente de una mezcla de He y N<sub>2</sub>, a una presión de 2.0 Torr y una potencia de 10 W, mediante el uso de la espectroscopia de emisión óptica y espectrometría de masas. Las principales especies observadas fueron N<sub>2</sub><sup>+</sup> (B<sup>2</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup> → X<sup>2</sup>Σ<sub>g</sub><sup>+</sup>), N<sub>2</sub> (C<sup>3</sup>Π<sub>u</sub> → B<sup>3</sup>Π<sub>g</sub>), y He, que concuerdan con los resultados obtenidos de la espectrometría de masas. Además, se determinó la densidad de temperatura y de iones de electrones mediante el uso de una sonda doble de Langmuir. Los resultados indican que la temperatura de los electrones es-

tá en el intervalo de 1,55 a 2,93 eV, y la concentración de electrones es del orden de 10<sup>10</sup>cm<sup>-3</sup>. Los resultados experimentales de temperatura y densidad iónica de N<sub>2</sub> y He, coinciden con los valores reportados en la literatura. Este trabajo fue apoyado parcialmente por los proyectos DGAPA IN-101613 y CONACyT 128714.

**4MC07 Estudio de una descarga luminiscente de una mezcla CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/He** Margarita Villa Ortega, mago\_vo@hotmail.com, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Osvaldo Flores Cedillo, osveldo@fis.unam.mx, ICF, Universidad Nacional Autónoma de México; Fermín Castillo Mejía, ciro@nucleares.unam.mx, ICF, Universidad Nacional Autónoma de México; Salvador Perusquía Hernández, chavarock\_polanco@hotmail.com, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Salvador Villalobos, villasalen@hotmail.com, ICF, Universidad Nacional Autónoma de México; Pedro Guillermo Reyes Romero, pgrrr@uaemex.mx, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Horacio Martínez Valencia, hm@ce.fis.unam.mx, ICF, Universidad Nacional Autónoma de México;

En este trabajo se analiza la descarga luminiscente de la mezcla CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/He. Se observaron las reacciones atómicas y moleculares del plasma. El sistema experimental consiste de una cámara esférica, dentro de esta están colocados dos electrodos separados a 10mm de distancia, conectados a una fuente de poder(Bertan105). La cámara fue evacuada a una presión base de 10<sup>-6</sup>Torr utilizando una bomba turbomolecular(varianD5302), posteriormente la cámara fue llenada con la mezcla CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/He a flujo constante; se aplicó una diferencia de potencial entre los electrodos de 260V y corriente de 3.03mA, los espectros de emisión fueron obtenidos con un espectrómetro(Ocean OpticsHR2000CG-UV-NIR). Las principales especies observadas fueron CO<sub>2</sub>,N<sub>2</sub>,N<sub>2</sub><sup>+</sup>,N,C<sub>2</sub>O,CN, la temperatura y densidad electrónica fueron obtenidas con una sonda de Langmuir y se obtuvieron los valores de 2.93eV y 10<sup>10</sup>cm<sup>-3</sup> respectivamente. Este trabajo fue apoyado por los proyectos DGAPA IN-101613 y CONACyT-PNPC.

**4MC08 Comportamiento de un Plasma de CO<sub>2</sub> en Mezclas con Gases Nobles** M.J.R.Albarran<sup>1</sup>, P.G.Reyes<sup>1</sup>, C.Torres<sup>1</sup>, J.Torres<sup>1</sup>, H.Martinez<sup>2</sup> <sup>1</sup>Laboratorio de Física Avanzada, F. Ciencias, UAEMex, Instituto Literario 100, Col. Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México. <sup>2</sup>Laboratorio de Espectroscopia, ICF, UNAM, A. P. 48-3, C. P. 62251, Cuernavaca, Morelos, México.

El tratamiento de gases tóxicos mediante tecnología de plasma con mezclas con gases nobles es un tema de interés en la actualidad. El dióxido de carbono emitido por autos e industria es el principal agente que aumenta el efecto invernadero; la adición de un gas noble al plasma favorece los procesos de ionización y disociación de la molécula de CO<sub>2</sub>. Se realizó el estudio sistemático de las mezclas de

agradecen a Nayeli Rodríguez Osorio por su asistencia técnica en este trabajo y a los proyectos DGAPA IN-101613 PROMEP 103.5/13/6626.

#### **4MC13 OBSERVACIÓN DE LA FORMACIÓN DE ESTRÍAS EN UN PLASMA DE ALCOHOL**

Genaro Medina García, *escuadronb201@gmail.com*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Pedro Guillermo Reyes Romero, *pgrr@uaemex.mx*, Universidad Autónoma del Estado de México; Horacio Martínez Valencia, *hm@fis.unam.mx*, Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México; Aarón Gómez Díaz, *agomezd@uaemex.mx*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Marcos Crecencio González Domínguez, *kenny.sze4@gmail.com*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México;

Cuando se ioniza un alcohol es posible observar la formación de estrías, este es un fenómeno que se presenta bajo condiciones físicas que dependen de la separación de los electrodos, configuración geométrica, presión, potencia de la descarga y el alcohol. Este tipo de procesos han sido poco estudiados para plasmas producidos en cámaras que poseen una distancia entre electrodos pequeña y de diferente configuración geométrica. El trabajo muestra la variación de parámetros del plasma en la formación de estrías para una descarga eléctrica en una atmósfera de Alcohol Etílico, los cuales se muestra que se observan en función de la potencia y la presión del gas. Para el caso estudiado se observa un máximo de cuatro estrías formadas, las cuales van generándose de manera directa al aumentar la potencia suministrada a la descarga. También se estudia el espectro óptico de emisión y a partir de este se infieren las principales reacciones atómicas y moleculares que se llevan a cabo en la descarga. Los autores agradecen a Nayeli Rodríguez Osorio por su asistencia técnica en este trabajo y al proyecto DGAPA IN-101613.

#### **4MC14 DESCARGA LUMINISCENTE DE LA MEZCLA DE ALCOHOL ETÍLICO CON HELIO**

Salvador Perusquía Hernández, *chavarock\_polanco@hotmail.com*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Pedro Guillermo Reyes Romero, *pgrr@uaemex.mx*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; César Torres segundo, *cetose@gmail.com*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Aarón Gómez Díaz, *agomezd@uaemex.mx*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Jorge Mulia Rodríguez, *jmr@uaemex.mx*, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México; Horacio Martínez Valencia, *hm@fis.unam.mx*, Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México;

El diagnóstico de mezclas binarias es importante debido a sus diferentes aplicaciones que tienen en la industria. Este trabajo estudia la descarga luminiscente generada en una atmósfera de Alcohol Etílico (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) y Helio (He) a di-

ferentes magnitudes de presión, analizando los espectros de emisión, a partir de los cuales se identifican las principales líneas y bandas correspondientes a las transiciones atómicas y moleculares que se lleva a cabo, las especies encontradas a partir de estos espectros son: CO, OH, y He. Además se realizaron mediciones por medio de una sonda de Langmuir, determinando una temperatura electrónica menor a 10 eV y su densidad iónica del orden de 10<sup>9</sup> partículas por cm<sup>3</sup>. A su vez el diagnóstico de estos plasmas al interactuar con metales podrían generar depósitos de películas delgadas de Carbono. Los autores agradecen a Nayeli Rodríguez Osorio por su asistencia

#### **4MD Cáos y Sistemas Dinámicos II** **Lobby Principal**

**4MD01 Redes Booleanas con retardo implementadas con arquitectura flexible** Roberto Rafael Rivera Durón, *roberto.rivera@ipicyt.edu.mx*, División de Matemáticas Aplicadas, IPICYT; Eric Campos Cantón, *eric.campos@ipicyt.edu.mx*, División de Matemáticas Aplicadas, IPICYT;

El comportamiento dinámico de algunos sistemas puede ser muy complicado, por esto, es importante contar con herramientas que ayuden a simplificar y a comprender el comportamiento de éstos. Unas de estas simplificaciones son las redes Booleanas. Una red Booleana consiste de un número de nodos conectados unos con otros a través de enlaces dirigidos o no dirigidos. Cada nodo está asociado con una variable de estado binaria y su valor está determinado por una función lógica Booleana. En este trabajo se analiza una topología de red Booleana que consiste de tres nodos, los cuales fueron implementados con un circuito de arquitectura reconfigurable. En la red se observa que la evolución temporal del voltaje en cualquier nodo presenta un patrón no repetitivo con claras transiciones binarias y sensibilidad a las condiciones iniciales. La topología de la red contiene lazos de retroalimentación con retardos inconmensurables lo que produce que la dinámica de los estados tengan pulsos de muy corta duración, un régimen en el cual las variaciones de los retardos producen caos. Trabajo apoyado por CONACYT a través del proyecto No. 181002.

**4MD02 Flujo de información en redes neuronales** Bertha Vázquez Rodríguez, *bertha@fis.unam.mx*, UNAM, Instituto de Ciencias Físicas; Hernán Larralde Ridaura, *hernan@fis.unam.mx*, UNAM, Instituto de Ciencias Físicas; David Sanders, *dpsanders@ciencias.unam.mx*, UNAM, Facultad de Ciencias;

En el cerebro, las neuronas son las responsables de la codificación, transmisión e integración de las señales que se originan dentro y fuera de nuestro sistema nervioso, ¿cómo podemos explicar que un grupo de neuronas trabajando juntas produzca la variedad de comportamientos que exhibe nuestro cerebro? Para medir las propiedades de un sistema complejo existen muchas herramientas y diferen-

Perez Padron, Joel:  
3MG09, 158

Perez Padron, Jose Paz:  
3MG09, 158

Pérez Peña, Juan Manuel:  
3MA08, 127

Pérez Pérez, Jairo:  
4MB23, 199

Pérez Pérez, René:  
4MB23, 199

Pérez Reyes, Edgar Obed:  
1MD26, 23

Pérez Rodríguez, Felipe:  
3SA05, 179

Pérez Rodríguez, Jaime:  
3SA02, 178

Pérez Salas, Alain:  
4MB28, 201

Pérez Salas, Raúl:  
4MB28, 201

Pérez Sánchez, F.L.:  
2SA04, 119

Pérez Solis, Ricardo:  
1MA11, 3

Pérez Trejo, Leonor:  
2MB37, 78; 2MI05, 104

Pérez Urizar, José:  
3MI07, 166

Pérez Urquizo, Joel:  
1MN17, 51

Pérez Zavala, Eustacio:  
1MN16, 51

**Perusquía Hernández, Salvador:**  
4MC06, 207; 4MC07, 207; 4MC14, 209

Pierzo Hernández, Juan Antonio:  
3MH10, 162

Pilo Gonzalez, Jorge:  
2MD14, 90

Piña, Omar:  
1SE04, 67

Piña Hernández, Hugo Roberto:  
1MB42, 14

Pineda León, Horacio Antolín:  
4MF20, 222; 4MF21, 223

Pinedo Vega, Jose Luis:  
3SD06, 186

Pinto Barrera, José Francisco:  
2MB27, 76

Plata Medina, Gerardo:  
4MK04, 237

Pliego Pastrana, Patricia:  
2ME03, 91

Polanco Euan, Elias Natanael:  
2ME07, 92

Policroniades Rueda, Rafael:  
1SC01, 62; 4ML05, 240; 4ML10, 241

Poltev, Valery:  
1MJ08, 41; 2MJ06, 110; 2MJ07, 110; 3MI05, 165

Ponce Cano, Rosa Yetzira:  
3SE04, 187

Ponce Flores, Hugo:  
2MK09, 113

Ponce Lancho, Epifanio Lorenzo:  
4ME09, 214

Ponciano Ojeda, Francisco Sebastián:  
4MI10, 230

Poom Medina, José Luis:  
2MC28, 86

Porras, Yair:  
4MB02, 195

Porras Flores, Pedro:  
1MD13, 20

Porras Juárez, Bertha Alicia:  
3SC05, 183

Porta Contreras, Andrés V.:  
1MD09, 19; 1MD10, 20; 1MN08, 49; 2MB21, 75

Posada Amarillas, Alvaro:  
4MF14, 221

Posada Ramirez, Berenice:  
3MB11, 134

Pottiez, Olivier:  
1ML07, 45; 1ML08, 45; 3MM13, 172

Pozada Ramirez, Berenice:  
4MJ04, 231

Pozos Guillén, Amaury de Jesús:  
3MI07, 166

Prado Reynoso, Miguel Ángel:  
4SB04, 251; 4SB05, 251

Priego Hernández, Gastón Alejandro:  
1MI05, 39; 4MB30, 201; 4MB32, 201

Puch Ceballos, Felipe Roman:  
4SA04, 249

Puente Leos, Estela Margarita:  
1MB46, 15

Quecholac, Estefanía:  
4MB34, 202

Quevedo Lopez, Manuel:  
3SE02, 187

Quezada Mata, Luis Fernando:  
4MB24, 200

Quijano Briones, José de Jesús:  
3MN04, 173; 3MN05, 173; 3MN06, 173

Quintana Garcia, Manuel Gerardo:  
2MB25, 75

Quintana Ruiz, Mildred:  
1MJ02, 40; 2MJ03, 109; 2MJ04, 109

Quintero Téllez, G.:  
1ME27, 29

Quintero Vallejo, Edson Yael:  
3MB34, 139

Quiros Rodriguez, Israel:  
4MB07, 196

# Programa General

LVIII Congreso Nacional de Física y  
Congreso Latinoamericano de Física 2015

XXX Encuentro Nacional de Divulgación Científica



Mérida, Yucatán  
Hoteles Fiesta Americana y Holiday Inn  
del 5 al 9 de octubre de 2015

EDITORES:

Rosario Paredes Gutiérrez  
Federico González García  
Paris Manuel Sánchez Carreón  
José R. Dorantes Velázquez

PROGRAMA GENERAL  
DEL LVIII CONGRESO NACIONAL DE FÍSICA  
D.R. © SOCIEDAD MEXICANA DE FÍSICA, A.C.

Departamento de Física 2o. piso  
Facultad de Ciencias, UNAM  
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.  
[smf@ciencias.unam.mx](mailto:smf@ciencias.unam.mx)  
[smf@unam.mx](mailto:smf@unam.mx)  
<http://www.smf.mx>  
ISSN 0187-4713  
Los resúmenes son  
responsabilidad de sus autores.  
Impreso en México / Printed in Mexico

trostática en el transporte de carga empleando los parámetros de electronegatividad aceptora ( $\chi^+$ ) y donadora ( $\chi^-$ ) [2], así como la energía de enlace de los sistemas ( $C_5H_5N + Ag$ )<sup>δ</sup> con carga global  $\delta = (0, \pm 1)$ . Paralelamente, se evalúan y se presentan los modos normales de vibración de las moléculas de piridina adsorbidas sobre nanocluster metálicos con diferentes geometrías. [1] A. Kaczor et al, J. Phys. Chem. C 2010, 114, 39009-3917. [2] F. J. Tenorio et al, International Journal of Quantum Chemistry 2012, 112, 3516-3524. Agradecimientos: PAPIIT-IA100813 y CONACYT: Exp. Ayte-11909, Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE).

**IMD02 Propiedades Electrónicas de la Perovskita  $CH_3NH_3PbI_3$  en las Fases Cúbica, Tetragonal y Ortorrómbica** Iván de Jesús Ornelas Cruz\* (*macondoenergy@gmail.com*), ESIME Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional; Jorge Pilo González (*tyloeternal@hotmail.com*), ESIME Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional; Eliel Carvajal Quiroz (*eliel.carvajal@gmail.com*), ESIME Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional; Miguel Cruz Irisson (*irisson.ipn@gmail.com*), ESIME Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional. \*Expositor.

La perovskita híbrida cuyo sitio A es ocupado por un compuesto orgánico y obedece a la fórmula química  $CH_3NH_3PbI_3$ , ha generado gran interés, por incrementar la eficiencia de conversión de energía en las celdas solares sensibilizadas por colorante. Sin embargo, no todas las fases del compuesto comparten las propiedades para ser incorporado a los sistemas fotovoltaicos; así que en este trabajo, se realiza un estudio teórico de primeros principios a partir de los resultados de cálculos basados en la teoría de las funcionales de la densidad (DFT), de la estructura cristalina y las propiedades electrónicas de la perovskita mencionada. Se recurrió a la aproximación del gradiente generalizado y la funcional de Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE), como está implementado en el código DMol<sup>3</sup>. Se efectuó la optimización geométrica de cada fase cristalina del material, identificando la estructura de menor energía en cada caso. Además, se calcularon la densidad de estados electrónicos, la estructura de bandas electrónicas y la distribución de carga para las tres fases que presenta la perovskita  $CH_3NH_3PbI_3$ , haciendo una comparación entre los datos obtenidos y los experimentales.

**IMD03 Diseño, Construcción y Caracterización de un Láser de 1049 nm para la Producción de Átomos de Rydberg** José Eduardo Navarro Navarrete (*rssi\_2nava@ciencias.unam.mx*), UNAM, Instituto de Ciencias Nucleares; Victor Samayoa Donado (*vasamayoa@ciencias.unam.mx*), UNAM, Instituto de Ciencias Nucleares; Jesús Flores (Mijangos), UNAM, Instituto de Ciencias Nucleares; Fernando Ramírez Martínez (*ferama@nucleares.unam.mx*), UNAM, Instituto de Ciencias Nucleares; José Ignacio Jiménez Mier y Te-

rán (*jimenez@nucleares.unam.mx*), UNAM, Instituto de Ciencias Nucleares.

En el presente trabajo se expondrá el diseño, la construcción y la caracterización de un láser de cavidad extendida en configuración Littrow, con una longitud de onda de 1049 nm, para la producción de niveles bajos de Rydberg en átomos de Rubidio. Dicha configuración utiliza una rejilla de difracción por reflexión con 1200 surcos/mm, con su dirección normal orientada a un ángulo de 39° con respecto a la dirección de propagación de la radiación emitida por el diodo. De este modo, el haz incidente coincide con el orden  $m=1$  del haz difractado, el cual es retroalimentado dentro del diodo generando una cavidad resonante y por consiguiente un aumento en la ganancia de los modos longitudinales externos en la región activa. De esta forma se obtiene un control muy fino en la sintonía de la frecuencia, ya sea por medio de variaciones en la corriente suministrada al diodo, en la temperatura del mismo, o en el voltaje aplicado a dos elementos piezoeléctricos.

**IMD04 Desarrollo Teórico del Método de Actinometría Para Determinar la Concentración de Átomos o Moléculas en un Sistema Ionizado** M.C.González, UAEMéx., Facultad de Ciencias; P.G.Reyes, UAEMéx., Facultad de Ciencias; A.Gómez, UAEMéx., Facultad de Ciencias; H.Martínez, UNAM, Instituto de Ciencias Físicas; C.Torres, UAEMor., Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc.

Una desventaja de los métodos para determinar la concentración de las moléculas, átomos y radicales en el sistema ionizado sobre el espectro de emisión es que estos métodos pueden ser utilizados para medir la concentración de la partícula directamente sólo en el estado excitado, el problema para determinar la concentración de las partículas en estados fundamentales sobre los espectros de emisión es relativamente complicado porque se requiere información cuantitativa sobre los mecanismos de excitación y decaimiento de las partículas examinadas. La actinometría óptica hace posible evitar estas dificultades, permitiendo determinar la densidad absoluta de especies excitadas, relacionando las intensidades de las líneas y el porcentaje suministrado de cada gas utilizado para la creación del sistema ionizado. En este trabajo se presenta el desarrollo teórico del método llamado actinometría para poder determinar la concentración de átomos o moléculas dentro de un de un sistema ionizado, considerando sus estados electrónicos, vibracionales y rotacionales, además de las transiciones permitidas dentro del sistema generado para cada átomo y molécula.

**IMD05 ANALISIS DE LAS REACCIONES ATOMICAS Y MOLECULARES EN UNA MEZCLA DE GASES IONIZADOS DE  $C_2H_6O-He$ .** S. Perusquia<sup>\*1</sup>, P. G. Reyes<sup>1</sup>, A. Gmez<sup>\*1</sup>, H. Martnez<sup>2</sup>, F. Castillo<sup>2</sup>. <sup>1</sup>Laboratorio de Física Avanzada, Facultad de Ciencias, UAEMéx. Instituto Literario 100, Col. Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Espectroscopia, UNAM, A. P. 48-3, C. P. 62251, Cuernavaca, Morelos, México. \*Expositor.

El estudio sobre los mecanismos que se llevan a cabo durante el proceso de ionización de uno o varios gases son importantes debido a sus diferentes aplicaciones que tienen en la industria. Una herramienta utilizada es la espectroscopia de emisión óptica (OES), mediante la cual se determinan las especies producidas, para después determinar los mecanismos de las reacciones atómicas y moleculares mediante las cuales se produjeron dichas especies. En este trabajo se presenta el análisis para la descarga luminiscente de Alcohol Etilico ( $C_2H_6O$ ) y Helio (He) a diferentes de presiones totales, analizando los OES, a partir de los cuales mediante la identificación las principales líneas y bandas es posible determinar las transiciones atómicas y moleculares, las principales especies encontradas son:  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO^+$ ,  $H_\alpha$ ,  $C$ ,  $He$ ,  $H_2$ ,  $H_2O^+$ ,  $C_2$  y  $CO_2$ , las cuales se producen mediante procesos de: disociación, excitación y ionización. Los autores agradecen a N. Rodríguez Osorio por su asistencia técnica y a los proyectos DGAPA IN-101613 y CONACyT 225991.

**1MD06 El átomo de helio confinado en una caja esférica penetrable** Olga Oralia Arias Lara\* (*olga.arias@correo.fisica.uson.mx*), Departamento de Física, Universidad de Sonora; Adalberto Corella Madueño\* (*acorella@correo.fisica.uson.mx*), Departamento de Física, Universidad de Sonora; Rodrigo Arturo Rosas Burgos\* (*rosas@correo.fisica.uson.mx*), Departamento de Física, Universidad de Sonora. \*Expositor.

Se usa el método variacional para estimar algunas propiedades físicas del átomo de He confinado en una caja esférica penetrable. Se calcula la energía del estado base, la presión, la polarizabilidad, el momento dipolar y el cuadrupolar, así como las condiciones bajo las cuales ocurre la ionización del átomo. Se realiza un análisis comparativo con los resultados obtenidos para el caso del átomo de He confinado en una caja esférica con paredes impenetrables. La función de onda de prueba se construye como un producto de dos funciones de onda hidrogenoides y una función auxiliar simple que permite que se satisfagan las condiciones en la frontera.

**1MD07 Análisis de centelladores respecto a un evento transitorio** Eduardo Tirado Bueno\* (*etb.tirado@gmail.com*), FCFM, BUAP; Eduardo Moreno (*emoreno@fcfm.buap.mx*), FCFM, BUAP. \*Expositor.

En el siguiente trabajo se analizan los datos proporcionados por los detectores de centelleo los cuales cuentan con dos sistemas de adquisición de datos principales, pero en este trabajo se hará uso del sistema de conteo el cual da una tasa de conteo del número de partículas en un intervalo de tiempo, que se usará para la búsqueda de eventos transitorios largos como son las llamaradas solares, las cuales, se pueden detectar debido al decremento en la tasa de conteo de los datos del día en que se registró el evento, para eso, se procede a realizar un análisis de los

de los mismos con un software diseñado en Python, donde después se grafica la información obtenida en Gnuplot, para así encontrar el evento buscado. En este trabajo se presentan los resultados de una llamarada solar registrada el día 07 de noviembre de 2014 la cual fue una de las de clase más alta en la clasificación y que fue detectada en distintas gráficas se muestra el decremento de la tasa de conteo de los centelladores de ese día y los subsecuentes. También, se presentan gráficas en donde se muestra la estabilidad de los detectores, mediante análisis estadístico.

**1MD08 Cotas sobre efectos de teorías efectivas en parámetros del Higgs** Francisco V. Valerio López\* (*franz\_val@hotmail.com*), FCFM, BUAP; Javier M. Hernández López (*javierh@fcfm.buap.mx*), FCFM, BUAP. \*Expositor.

Utilizando los resultados de la corrida I del LHC, calculamos cotas a los parámetros efectivos asociados a interacciones anómalas del bosón de Higgs, en el contexto de una descripción de lagrangianos efectivos. Nos enfocamos en procesos relacionados con bosones vectoriales neutros. Las cotas son restrictivas en el espacio de parámetros de posibles teorías más allá del Modelo Estándar.

**1MD09 Espectro de electrones ionizados en la colisión  $p+He \rightarrow e^-$**  Alejandro Amaya Tapia\* (*jano@fis.unam.mx*), Instituto de Ciencias Físicas, UNAM; Armando Antillón (*armando@fis.unam.mx*), Instituto de Ciencias Físicas, UNAM. \*Expositor.

La ionización es uno de los procesos fundamentales en las colisiones ión-átomo. El estudio de las distribuciones en la energía electrónica permite conocer detalles de este proceso que no aparecen en la sección total de ionización. Para obtener el espectro continuo de los electrones ionizados, en este trabajo se aplica la Transformada de Fourier a las soluciones de la ecuación de Schrödinger para un electrón en la aproximación de parámetro de impacto con un método de acoplamiento cercano. El sistema que se considera es la colisión de un haz de protones incidiendo a 50 keV sobre un gas de He, discutiéndose dos aproximaciones para extraer la probabilidad de ionización, así como el efecto sobre la sección diferencial que tiene el considerar diversos esquemas de incorporación del segundo electrón. Se hace una comparación con resultados teóricos y experimentales reportados en la literatura, mostrándose que el modelo usado es viable para su aplicación a sistemas más complejos.

**1MD10 Análisis teórico de la transición cuadrupolar eléctrica  $5P(3/2) - 6P(3/2)$  en rubidio** Cristian Mojica-Casique\* (*xtianadan@gmail.com*), Francisco Ponciano-Ojeda, Jesus Flores-Mijangos, Fernando Ramírez-Martínez, Jose Jimenez-Mier; Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

Se presenta un modelo teórico para estudiar la transición cuadrupolar eléctrica  $5P(3/2) > 6P(3/2)$  en átomos de rubidio. El modelo permite comparar los espectros experi-



- Pérez Ángel, Gabriel Guillermo, 51, 54
- Perez Boleaga, Arturo Ivan, 220
- Pérez Castillo, Isaac, 220
- Pérez Cortés, Mario, 7, 11, 78, 152–154, 231
- Pérez Flores, María Jacqueline, 272
- Pérez García, Blanca, 174
- Pérez Guerrero Noyola, Armando Cuauhtémoc, 272
- Pérez Gutiérrez, Enrique, 154
- Pérez Huerta, José Samuel, 9
- Pérez López, José Elías, 282
- Pérez López, Luis Enrique, 124
- Pérez Martínez, María Isabel, 112, 113
- Pérez Mendoza, José Rubén, 220
- Pérez Montaña, Luis Enrique, 30
- Pérez Mratínez, María de Lourdes, 108
- Pérez Oregon, Jennifer, 25
- Pérez Pacheco, Argelia, 20, 205, 289
- Perez Padron, Joel, 96
- Perez Padron, Jose P., 96
- Pérez Pérez, Eunice, 110
- Pérez Ramírez, María Fernanda, 196
- Pérez Rey, Luis Armando, 74
- Pérez Reyes, Edgar Obed, 198
- Perez Rodríguez, Alain, 2, 151
- Pérez Rodríguez, Felipe, 292
- Pérez Ruiz, Ismael Eliézer, 173
- Perez Salas, Raul, 2, 151
- Pérez Sánchez, Gerardo Francisco, 236, 240, 251
- Perez Sanchez, Luis Rodolfo, 118
- Pérez Sánchez, María Milagrosa, 11
- Pérez Serrano, Froylán, 185
- Perez Tijerina, Eduardo Gerardo, 242, 297
- Perez Tiscareño, Andrea, 153
- Perez Trejo, Leonor, 53
- Pérez Valverde, Maritza, 1
- Pérez Villegas, Ángeles, 145
- Pérez Xaxalpa, José T., 232
- Pernas Salomón, René, 3
- Perusquía, Salvador, 19**
- Piazza, Valeria, 79
- Piceno Martínez, José Antonio, 51, 263
- Pichardo, Bárbara, 145
- Pichardo Cadena, Judith Elizabeth, 166
- Pichardo Méndez, Josué Lobsang, 43, 101
- Pilo González, Jorge, 18, 302
- Pimentel Castro, Linett Anahí, 105, 183
- Piña, Omar, 299
- Piña Garza, Eduardo, 133, 134
- Piña Hernández, Hugo Roberto, 42
- Pineda Arvizu, Flavio Joao, 277
- Pineda Calderón, Inti, 286
- Pineda Vázquez, Diana, 50
- Pinedo Vega, Miguel Eduardo, 65
- Piraux, L., 302
- Piters, Tom, 2, 151
- Pitthan, Eduardo, 282
- Pizaña Pérez, Fernando A., 129, 131, 275
- Plascencia Jatomea, Maribel, 243, 252
- Plata Medina, Gerardo, 202
- Pliego Carrillo, Adriana, 162
- Pliego Pastrana, Patricia, 102
- Poblano Mones, Maurilio, 236
- Policróniades Rueda, Rafael, 33
- Poltev, Valeri, 167, 169, 170, 174–176
- Ponce Cano, Rosa Yetzira, 205
- Ponce Castañeda, Selina R. del C., 221
- Ponce Lancho, Epifanio Lorenzo, 23, 70, 118
- Ponciano Ojeda, Francisco Sebastián, 19–21, 68
- Poot, Marcos, 181
- Popoca Rodríguez, Xochilt, 264
- Porrás Aguilar, Rosario, 13
- Porrás Flores, Pedro, 14
- Porta Contreras, Andrés Valentín, 107, 229
- Portilla Aguilar, Juan Miguel, 198
- Portillo Sánchez, Ana Karén, 147
- Posada Ramírez, Berenice, 81, 229
- Posadas García, Yuridia Selene, 169
- Pottiez, Olivier, 81, 160
- Poveda Cuevas, Freddy Jackson, 21
- Poveda Jaramillo, Juan Carlos, 68
- Prado Escamilla, A., 119
- Prado Moreno, Jessica Johana, 36
- Prado Reynoso, Miguel Angel, 61
- Priede, Janis, 49
- Priego Portillo, Carlos, 173
- Prieto López, Carlos, 235
- Prieto Ruiz, Ángel, 49
- Puente, Margarita, 269
- Puga Candelas, Alejandro, 175
- Quarton, Tyler, 159, 216
- Quecholac, Estefania, 90
- Queijeiro Fontana, Alfonso, 23, 196
- Quijano Quiñones, R.F., 280
- Quiñonez Aldape, Eber, 242
- Quintana Bautista, Christian, 141
- Quintana García, M., 226
- Quintana Ruiz, Mildred, 175
- Quintero, Miguel, 163
- Quintero Téllez, Ma Guadalupe, 84, 234
- Quispe Quispe, Nancy, 279
- Ramírez, Claudio, 139
- Ramírez, Sergio, 147
- Ramírez Bermúdez, Luis Alberto, 273, 276
- Ramírez Bolaños, Alexander, 61
- Ramírez Cruz, Nadia, 95
- Ramírez Damaso, Gabriel, 73, 199
- Ramírez Duvergier, Aldo Santiago, 42, 80
- Ramírez Elías, Miguel Ghebre, 152
- Ramírez Franco, Jorge, 165
- Ramírez García, Eloy, 239
- Ramírez García Correa, Uriel, 261
- Ramírez Gómez, Leonardo Emmanuel, 94
- Ramírez Guadarrama, Dalia Luce-ro, 206
- Ramírez Guerra, Catalina, 85
- Ramírez Hernández, Josué, 230
- Ramírez Hernández, Lariza Sarahí, 40, 276
- Ramírez Jarquín, Marcelino, 299
- Ramírez Martínez, Fernando, 18–21, 27, 68, 69, 107, 143
- Ramírez Méndez, Mirna V., 78, 133
- Ramírez Montoya, Raúl Jovanny, 116
- Ramírez Rincón, Jorge Andres, 200
- Ramírez Romero, Cupatitzio, 67, 134
- Ramírez Rosales, Daniel, 179
- Ramírez Rosales, Daniel, 28, 52, 106, 108, 271
- Ramírez San Juan, Julio César, 13
- Ramírez Sánchez, Roberto, 262
- Ramírez Sánchez, Roberto, 50, 51, 80, 109, 159, 206, 211, 258, 262–264, 278, 299
- Ramírez Solano, Erwin, 258
- Ramírez Solano, Sadi, 262
- Ramírez Torres, Marco Tulio, 43
- Ramírez Villegas, R., 302
- Ramírez Zavaleta, Fernando Igua-zú, 37, 38, 195, 224
- Ramos Ayala, Manuel Alejandro, 88
- Ramos Beltrán, José de Jesús, 235
- Ramos Frausto, Victor Manuel, 141