



Estudio de ignitores de pulso(s) superpuesto(s) para el encendido de lámparas de vapor de sodio de alta presión

Estudy of ignitors of superimposed pulse(s) for the starting of the high pressure sodium lamps

Alexander Fernández- Correa
Walter - Kaiser

Yandry Rodríguez- Domínguez
Susset Guerra - Jiménez

Recibido: Octubre del 2010

Aprobado: Noviembre del 2010

Resumen/ Abstract

En este trabajo se compara el comportamiento de los ignitores serie y paralelo para lámparas de descarga de alta intensidad, se realiza una revisión de los métodos que existen en la literatura para el encendido de las mismas, cumpliendo con los requerimientos que establecen la norma Americana o la norma Europea, se analizan las especificidades que debe presentar el pulso de ignición, tales como el tiempo de subida, el ancho, la tasa de repetición y la posición que debe presentar el mismo con respecto a la tensión de la red, ya que ambas normas presentan poca información en lo que respecta al proceso de ignición de las lámparas de alta intensidad y difieren en algunos parámetros una de la otra. Se evalúa además la influencia de los componentes del circuito sobre los parámetros del pulso y además se evalúan los efectos que provocan las capacitancias parásitas sobre el pulso de ignición de la lámpara.

Palabras claves: Lámparas de sodio de alta presión, ignitores serie y paralelo, características de pulsos

In this work we compare the behavior of serial and parallel ignitors for discharge lamps, high intensity, we review the methods that exist in the literature for the ignition of the same, meeting the requirements of the standard American or European standard, we analyze the specifics to be presented by the pulse of ignition, such as rise time, width, repetition rate and the position must submit the same with respect to the supply voltage, since both rules have little information regarding the process of ignition of high intensity lamps in some parameters differ from one another. It also evaluates the influence of circuit components on the pulse parameters and also evaluated the effects of parasitic capacitances cause the pulse lamp ignition.

Keywords: High pressure sodium lamps, serie and parallel ignitors, pulses characteristics

INTRODUCCIÓN

Las lámparas de descargas empleadas en la iluminación utilizan gases inertes, cuya principal función es generar calor durante el proceso de ignición para vaporizar los compuestos metálicos, responsables por la emisión de la radiación visible. Como todo gas es un aislante eléctrico, la ignición de la descarga requiere de un pulso de alta tensión para romper la rigidez dieléctrica de la columna gaseosa. Una vez en operación, la lámpara de descarga necesita de un elemento externo conectado en serie con la misma, para estabilizar la corriente, ya que toda descarga eléctrica presenta una característica de resistencia negativa.

Las lámparas de vapor de mercurio HPM ("High Pressure Mercury"), de vapores metálicos MH ("Metal Halide") y vapores de sodio de alta presión HPS ("High Pressure Sodium") son utilizadas para la iluminación de ambientes externos e internos y pertenecen a un grupo conocido en la literatura como lámparas de descarga de alta intensidad o HID ("High Intensity Discharge"). La densidad de la potencia del arco de las lámparas HID es superior a 3 W/cm^2 y la descarga se encuentra confinada en una ampolla térmicamente estabilizada, denominada tubo de descarga.

En algunas lámparas, en particular las lámparas HPS y MH la geometría del tubo de descarga imposibilita la instalación de electrodos auxiliares, de esta forma la tensión para la ignición de la descarga es elevada y son necesarios dispositivos externos (ignitores) para generar pulsos de alta tensión aplicados entre los electrodos de las lámparas. Los ignitores comerciales para lámparas HPS que utilizan xenón, generan pulsos superpuestos a la tensión de alimentación. Las características de este pulso están especificadas en las normas IEC 60662 -1980 (europea), [1] y NEMA C78.42-1995 (EE.UU.), [2].

En el presente trabajo se realiza una revisión de los métodos de encendido de las lámparas HID encontrados en la literatura, se analizan las especificaciones normalizadas para los pulsos de encendido para lámparas HPS y la influencia de las capacitancias parásitas de los cables de interconexión sobre la amplitud del pulso del ignitor.

REVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENCENDIDO PARA LÁMPARAS HID

En la literatura especializada existen algunos procedimientos para la ignición de las lámparas HID. A continuación se muestran algunos de ellos, [3-4] presentan un método aplicado a las lámparas de vapores metálicos, que ilumina el tubo de descarga durante la aplicación del pulso de encendido con radiación ultravioleta ($\lambda = 254 \text{ nm}$) emitida por un bulbo luminiscente alojado en la base de la lámpara. El aumento en el número de electrones primarios generados por efecto fotoeléctrico permite reducir tanto el tiempo de retardo de la ruptura por corriente, como la magnitud de la tensión de ruptura.

Algunas lámparas HPS [5], están diseñadas para ser intercambiables con lámparas de vapor de mercurio, o sea utilizan el mismo reactor y no es necesario el ignitor. El tubo de descarga es monolítico y similar a las lámparas HPS convencionales. Por lo general se sustituye al xenón por una mezcla de argón y neón para reducir la tensión de ignición y se utiliza una concentración más elevada de mercurio para obtener una tensión de arco próxima a las de mercurio de alta presión.

El dispositivo de ignición se muestra en la figura 1 y está constituido de una llave térmica (disyuntor-bimetálico), inicialmente en corto circuito y una espiral de alambre que rodea el tubo de descarga. La circulación de corriente eléctrica por la espiral impone una distribución de potencial electrostático en el interior del tubo de descarga, lo que reduce la tensión de encendido de la lámpara. Después del encendido, con el calentamiento del tubo de descarga, la espiral es eléctricamente desconectada del circuito por el disyuntor térmico.

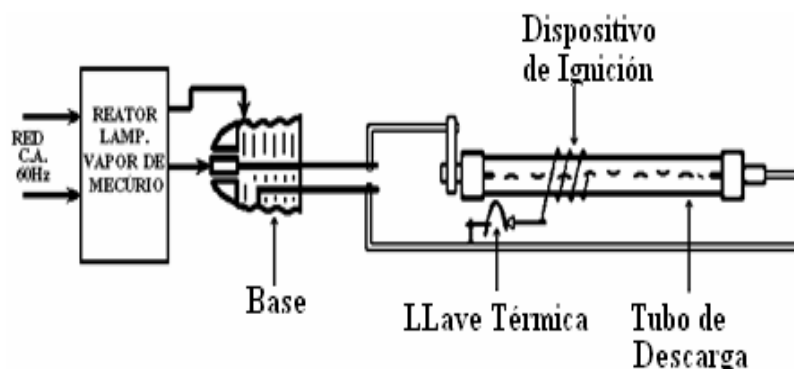


Fig. 1. Estructura interna de la lámpara HPS con el ignitor incorporado.

Las lámparas HPS con ignitor incorporado de 110W, 210W y 350W pueden ser utilizadas en lugar de lámparas de mercurio a alta presión, 125W, 250W y 400W respectivamente. La eficacia de la lámpara HPS con ignitor interno es similar a la HPS convencional, pero su tiempo de vida es 30% menor.

En la referencia 6, se presentan otras configuraciones utilizando un conductor dispuesto alrededor del tubo de descarga. De esta forma se reduce la distancia efectiva entre los electrodos y por tanto el producto $l \cdot p_0$ y la tensión de ruptura se aproxima a un punto mínimo de las curvas de Paschen, donde se consigue la ruptura a través de los transitorios generados en el reactor y el disyuntor.

En la referencia 7, presentan un ignitor para una lámpara de vapores metálicos en miniatura que opera en radiofrecuencia. El objetivo de este circuito es proveer de energía adicional en la luminiscencia y reducir el tiempo de transición para el estado del arco termoiónico. Este método se justifica para este tipo de lámpara en función del tiempo de transición alto (en comparación con las lámparas HPS) entre la etapa de luminiscencia y el arco termoiónico.

En la referencia 7, se describe un ignitor alojado en el sócalo de la lámpara que utiliza un dispositivo denominado "spiral line generator". Este dispositivo es un condensador formado por dos capas de película de poliéster enrollados en forma de espiral conectado uno de los extremos a un conductor próximo al tubo de descarga. El condensador se carga desde la red a través de una resistencia hasta que la tensión alcanza el valor de la ruptura de un centellador ("spark-gap") conectado en paralelo con el mismo. Una descarga abrupta del condensador genera una onda de tensión que se forma en el interior y se mueve fuera de la espiral, cuya magnitud es un múltiplo de la tensión de alimentación. Después de la ignición, la tensión del arco de la lámpara evita que la tensión del condensador alcance el valor de ruptura del centellador, inhibiendo la generación de pulsos. Este mecanismo puede ser utilizado en lámparas HPS intercambiables con lámparas de vapor de mercurio, pero su principal inconveniente es el hecho de que el ancho de los pulsos generados es inferior al mínimo especificado en las normas.

ESPECIFICACIONES NORMALIZADAS DE ENCENDIDO PARA LÁMPARAS HPS CON SUPERPOSICIÓN DE PULSOS

Para el encendido de las lámparas de vapor de sodio de alta presión convencionales (con contenido de xenón) son utilizados ignitores que generan pulso (s) superpuesto (s) a la tensión de alimentación. Los parámetros del pulso o de los pulsos se especifican en las normas IEC 60662 -1980 (Europea), [1] y NEMA C78.42-1995 (EE.UU.),[2] y se pueden identificar en los esquemas presentados en las figuras 2a y 2b, respectivamente.

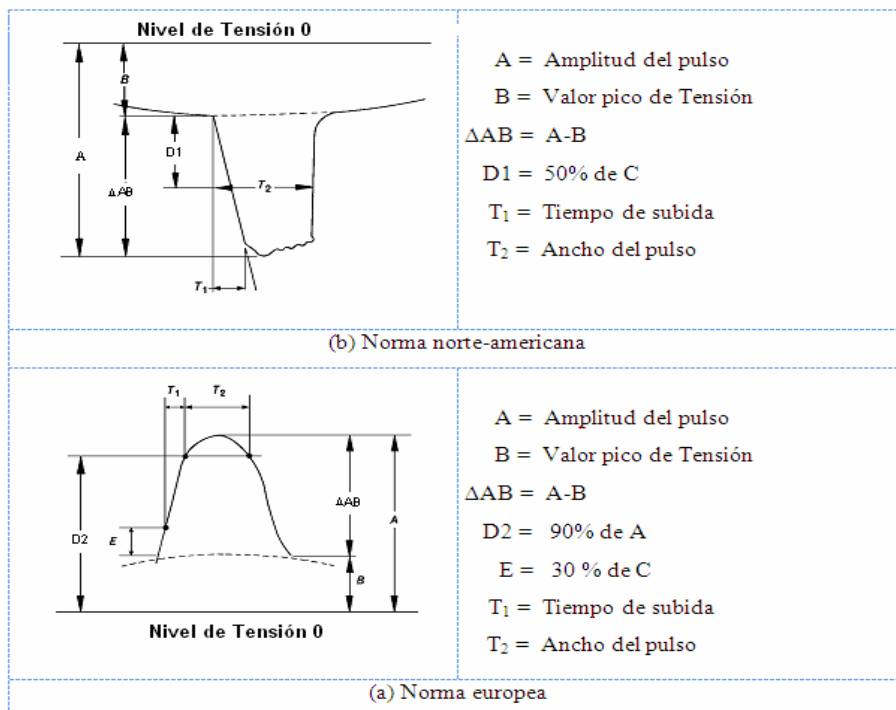


Fig.2. Características normalizadas del pulso de ignición para lámparas HPS.

A continuación son presentados los parámetros del pulso de ignición.

i. La amplitud del pulso de encendido

La amplitud del pulso es especificado por su valores mínimo y máximo, como se muestra en la tabla 1. El límite inferior establece los requisitos mínimos que garantizan el encendido de la lámpara con un impulso, teniendo en cuenta la presión del gas, la distancia entre los electrodos y la temperatura ambiente. El valor máximo es impuesto por las limitaciones de la rigidez dieléctrica de: a) la base de la lámpara (véase IEC 6061 – 1969, [8]) y b) la estructura interna de la lámpara, tanto de la fijación mecánica del tubo de descarga como de la conexión eléctrica de los electrodos. La norma europea exige que el valor máximo de los pulsos posteriores al principal no sean mayores que el 50% de la amplitud del primer pulso.

Tabla 1. Especificaciones del la amplitud del pulso y la tensión en circuito abierto de los reactores.			
Potencia de la lámpara	Amplitud del pulso (V)		Tensión en el circuito abierto (V_{RMS})
(W)	Valor Mínimo		Valor Mínimo
	IEC	NEMA	IEC / NEMA
70, 50	1775 ± 25		195
150, 250, 400	2775 ± 25	2225 ± 25	195
1000	2675 ± 25		456 e 195

ii. Tensión en circuito abierto de la salida del reactor

La especificación del valor mínimo de la tensión en circuito abierto (véase la tabla 1) es necesaria: a) para obtener un pulso de magnitud suficiente para que halla una ruptura por tensión, b) para que la fase de transición luminiscente para el arco termoiónico sea rápida y c) para que la energía transferida a la lámpara sea suficiente para una rápida sublimación del amalgama de sodio.

a. Tiempo de subida del pulso

Las normas sólo especifican su valor máximo, pero este y la forma de medición difieren de la norma europea a la Norte Americana (véase la figura 2 y tabla 2). Se verifica que en cuanto mayor es la tasa de crecimiento de la tensión del pulso tanto menor será la tensión de ruptura. Por otra parte, pulsos con tiempos de subida reducidos provocan la circulación de corrientes de fugas elevadas [9] por las capacitancias parásitas asociadas a los cables, luminarias y el sócalo de la lámpara.

Tabla 2. Especificaciones del tiempo de subida y ancho del pulso.					
Potencia de la lámpara (W)	Tiempo de subida del pulso, T_1 (μs)		Ancho del pulso, T_2 (μs)		
	Valor Máximo	Valor Máximo	Valor Mínimo		Valor Máximo
	IEC	NEMA	IEC	NEMA	Fabricante*
70, 50	1,0	0,1	1,95 ± 0,05	0,95 ± 0,05	15
150	1,0	0,1	1,95 ± 0,05	0,95 ± 0,05	15
250, 400	0,6	0,1	0,95 ± 0,05	0,95 ± 0,05	15
1000	--	0,1	3,95 ± 0,05	--	15

(*) General Electric.

iii. Ancho de pulso

Ambas normas especifican sólo el mínimo, pero su valor y la forma de medición difieren la norma europea a la de Norte de Americana (véase la tabla 2). Existen fabricantes que ofrecen recomendaciones para su valor máximo.

iv. Tasa de repetición de pulso

Ambas normas no imponen restricciones sobre el número de pulsos por ciclo de la red. La norma americana recomienda la generación de pulsos en el semi-ciclo negativo de la red, en cuanto a la europea sugieren la generación de los pulsos en el semi-ciclo positivo. La mayoría de los ignitores comerciales generan 3 pulsos por medio ciclo.

v. Posición del pulso con respecto a la tensión de la red

La tensión de ruptura depende fuertemente de la localización (posición angular medida a partir del cruce por cero de la tensión de la red) del pulso, como se muestra en la figura 3 [6]. La norma europea establece la posición del pulso en un rango de 80 a 90 grados eléctricos. La norma norte-americana especifica una ubicación de los pulsos entre 80 y 100 grados eléctricos correspondiente a un rango $\pm 10^\circ$ en torno al valor de pico de la tensión mínima de la red.

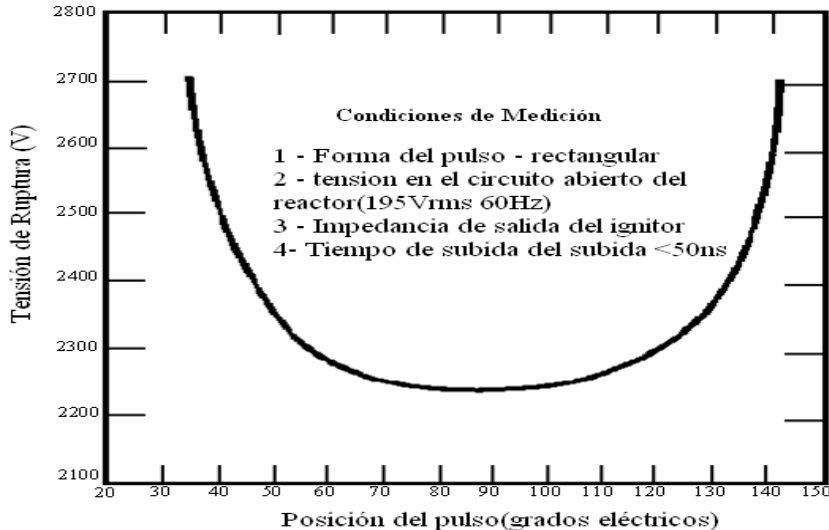


Fig.3. Tensión de partida en función de la localización del pulso (lámpara HPS 400W).

vi. Corriente mínima

La energía del pulso de salida debe ser suficiente para garantizar la ruptura por corriente y eliminar las corrientes de fuga asociadas a las capacitancias parásitas. Estas especificaciones no se encuentran en las normas, pero las siguientes recomendaciones figuran en los catálogos de fabricantes: a) lámparas Lucalox[®] (General Electric), corriente mínima $0,2 A_{pico}$ [5] y b) lámparas SUPER e DE LUXE (Osram) corriente mínima de $50 mA_{pico}$ a $60 mA_{pico}$ [10].

CAMBIOS EN EL PULSO DE IGNICIÓN PROVOCADA POR LAS CAPACITANCIAS PARÁSITAS

La amplitud de la tensión y corriente de los pulsos de encendido están fuertemente influenciadas por las capacitancias parásitas presentes en el circuito, o sea, las capacitancias: a) inherentes a los cables que conectan el ignitor y la lámpara b) interna del ignitor, c) lámpara (tubo de descarga + sócalo) d) entre la lámpara y la luminaria.

En la referencia 7, utilizando ignitores comerciales de tipo serie y capacitores de alta tensión de hasta 450 pF, examinó el efecto de la capacitancia parásita de los cables en la atenuación de la amplitud del pulso a la salida del ignitor.

En la literatura no se disponen de información sobre los efectos de la capacitancia equivalente de los cables en la amplitud del pulso de salida y de la corriente de fuga de los ignitores del tipo de paralelo. Para obtener esta información se utilizó el circuito de la figura 4, de conjunto con una combinación serie-paralelo de condensadores cerámicos de alto voltaje para simular la capacitancia parásita hasta 457 pF.

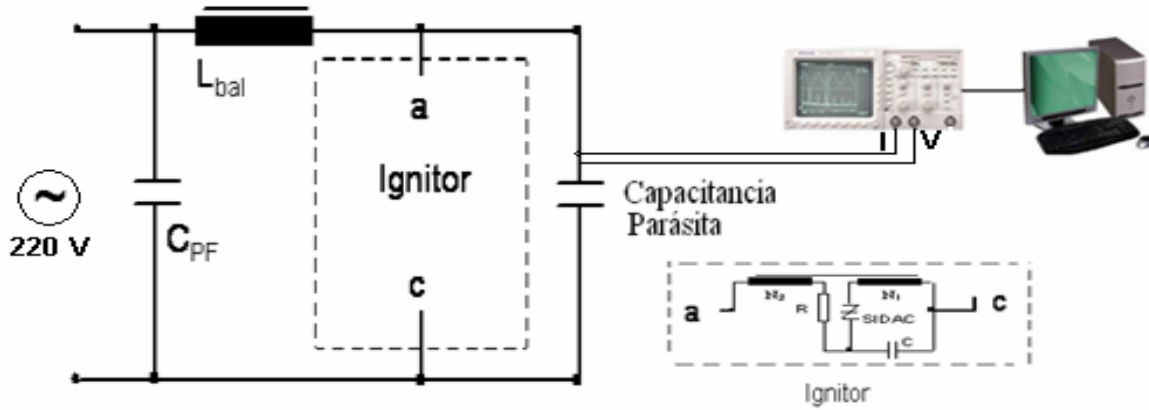


Fig.4. Instalación experimental para evaluar la influencia de la capacidad parásita de los cables en la amplitud del pulso y la corriente de fuga del ignitor paralelo.

Las mediciones fueron realizadas con dos ignitores del tipo paralelo. La primera genera un pulso con una amplitud de 2,8kV, ancho 1μ y un tiempo de subida de 538 ns. El segundo genera un pulso con una amplitud de 2,4 kV, ancho de 6μ s y un tiempo de subida de 1μ s. Los resultados son mostrados en la figura 5.

La figura 5b muestra que para un determinado valor de la capacitancia, cuanto menor sea el tiempo de subida del pulso, mayor será su atenuación. Por lo tanto, mientras menor sea el tiempo de subida, mayor será la influencia de la capacitancia de los cables sobre la corriente de fuga (véase la figura 5c) y la atenuación del pulso. La referencia 9, examinó las pérdidas por corriente de fuga en el circuito de salida del ignitor, identificando la contribución individual de cada una de las capacitancias parásitas y llegó a la conclusión de que la corriente de fuga aumenta con las capacitancias y disminuye al aumentar el tiempo de subida del pulso.

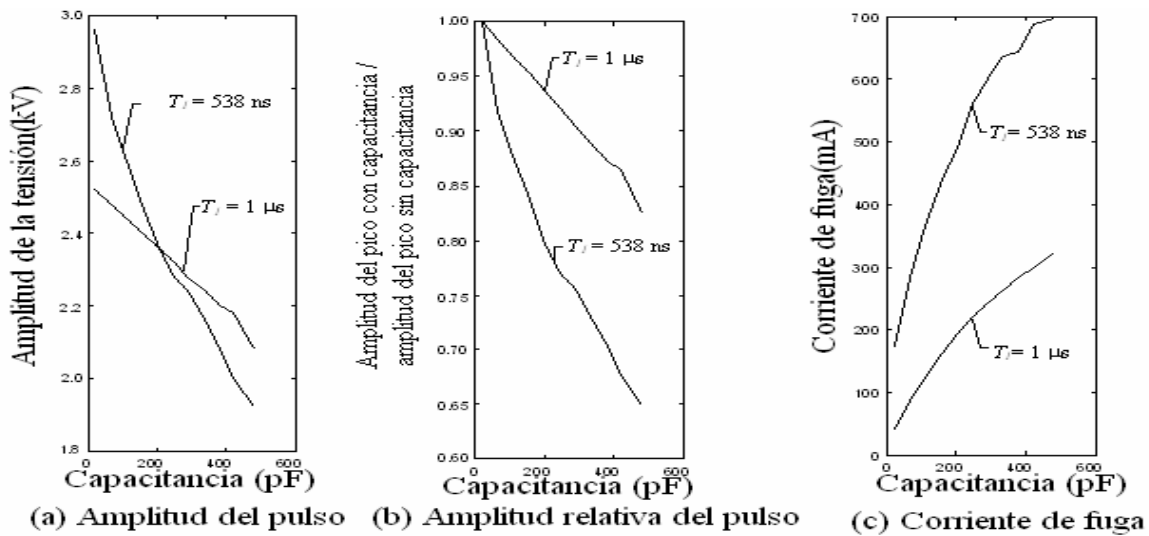


Fig. 5. Características del pulso de ignitores del tipo paralelo en función de la capacitancia de salida del ignitor.

A partir de las mediciones efectuadas, y contrariando las recomendaciones de la norma norteamericana, se sugiere que en el diseño del ignitor sean adoptadas especificaciones para el tiempo de subida del pulso no inferiores a $0,6\mu$ s. De esta forma es posible realizar un encendido de la lámpara con pulsos de tensión de menor amplitud. También, las limitaciones impuestas por el tiempo de subida del pulso reducen los efectos de las capacitancias sobre la atenuación del pulso.

Cabe destacar que la presencia de oscilaciones de alta frecuencia en la salida de pulso no es deseable, porque puede causar problemas de interferencia electromagnética. [9] afirma que estas fluctuaciones son causadas por fenómenos de resonancia entre la inductancia y la capacitancia parásita del cable que conecta el ignitor a la lámpara.

La especificación del tiempo de subida para lámparas HPS comerciales varían de las normas europeas (en algunas lámparas imponen un $T_r \leq 0,6 \mu\text{s}$ y para otras $T_r \leq 1 \mu\text{s}$). Al igual que para las normas norteamericanas ($T_r \leq 0,1 \mu\text{s}$).

En la literatura especializada no se encontró información sobre el comportamiento de la tensión de ruptura para los valores de subida especificados en las normas, se optó por realizar mediciones en las lámparas HPS convencionales de diferentes marcas y potencias mediante el procedimiento experimental. El ignitor es un modelo comercial del tipo de serie (Osram Ig Mod - 400) que proporciona los pulsos con una amplitud de 4,2 kV, tiempo de subida de 538 ns, ancho de 1 μs a 3.2 kV y una tasa de repetición de 3 pulsos por semiciclo. Los diferentes valores de tiempo de subida del pulso fueron obtenidos, variándose los parámetros del ignitor, entre ellos, el valor de inductancia en serie con el bobinado primario del transformador de pulsos.

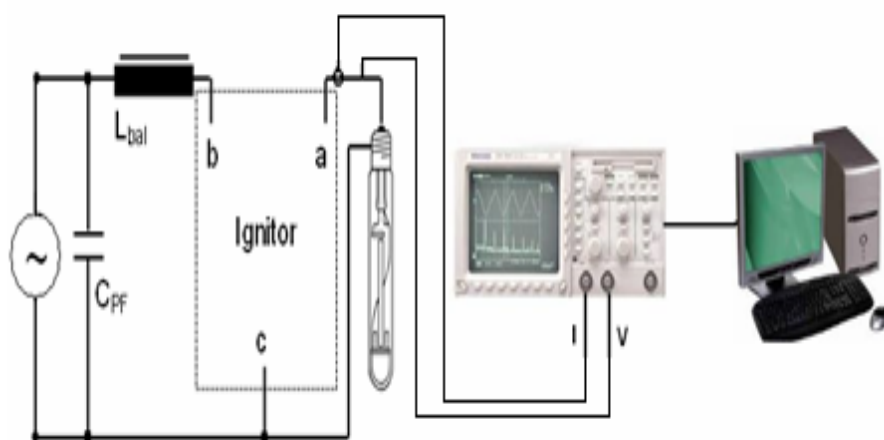


Fig. 6. Instalación experimental para evaluar la influencia del tiempo de subida del pulso de la ignición en la tensión de ruptura de lámparas HPS.

En las mediciones se consideraron sólo los impulsos generados en semiciclos positivos y se adoptaron tiempos de subida de 220 ns, 538 ns, 850 ns y 1 μs . Los tiempos de subida, se obtuvieron mediante la adopción de los criterios establecidos en la norma norteamericana NEMA C78.42-1995, [2]. Para la caracterización del pulso, la prueba se llevó a cabo sin lámpara y en el sócalo debe ser insertada una capacidad de 20 pF. La punta de prueba debe tener una impedancia de entrada de 100 M Ω y 3 pF. La figura 2.8a muestra la forma de onda de un pulso con un tiempo de subida de 538 ns, registrado con un osciloscopio digital Tektronix modelo TDS 340 y se utiliza una punta de tensión Tektronix P6015A (con atenuación de 1000 veces). Para registrar la corriente del pulso se utilizó una punta de corriente Tektronix modelo A6302 con amplificador AM503.

Las normas no especifican una metodología para la medición de la tensión de ruptura (V_b). Se adoptó en los ensayos realizados el valor de la caída de tensión (V_b), que corresponde a un valor de la tensión en los bornes de la lámpara en el momento inmediatamente anterior a su caída abrupta, como se muestra en la figura 7. En la que la punta de corriente registra un incremento abrupto de la corriente.

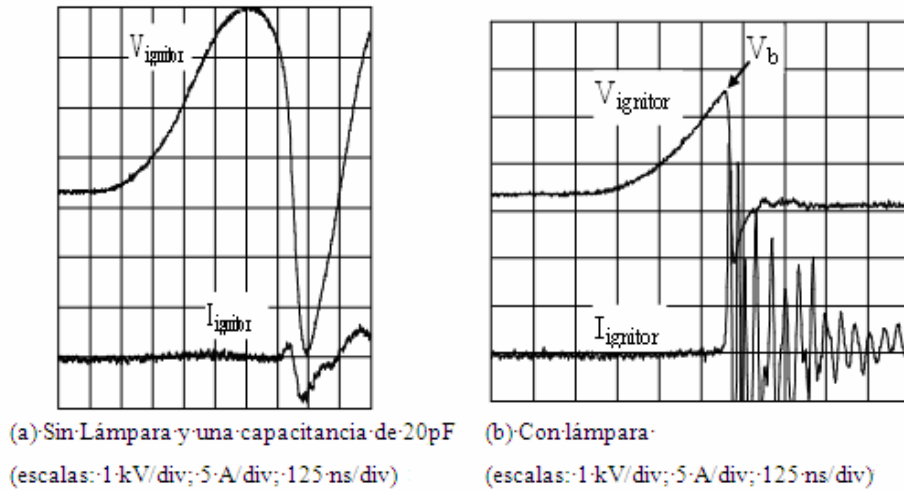


Fig.7. Formas de onda medidas en los terminales del ignitor.

Determinación de V_b .

Las mediciones se realizaron utilizando las siguientes lámparas HPS convencionales, 70 W (Philips y GE Lucalox), 250 W (GE Lucalox), 400 W (Osram) y 1000 W (Philips). En las mediciones realizadas se procuraron reducir al máximo las capacitancias parásitas, utilizando cables para la interconexión entre el ignitor y la lámpara con longitud inferior a 50 cm. Los resultados se muestran en la figura 8.

La figura 8 se verifica que las lámparas de 70 W Philips y General Electric (Lucalox) presentan tensiones de ruptura diferentes para un mismo valor de tiempo de subida del pulso de ignición. Este hecho puede atribuirse a las diferencias constructivas del tubo de descarga (diámetro, separación y la composición del material del electrodo), alteraciones en la presión de xenón o en la composición de la amalgama.

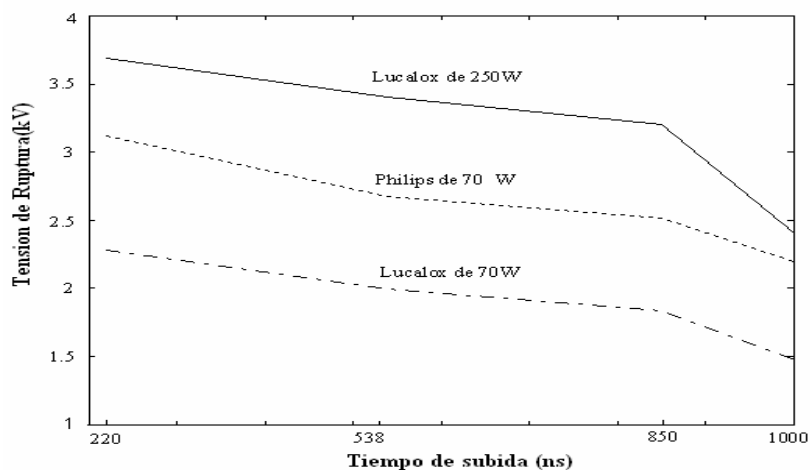


Fig. 8. Comportamiento de la tensión de ruptura en función del tiempo de subida en lámparas HPS comerciales de 70W y 250W.

En las restantes lámparas se verifica que: a) para un tiempo de subida dado, la tensión de ruptura aumenta con la potencia de la lámpara, b) para una determinada potencia, la tensión cae con el aumento del tiempo de subida y c) todas las lámparas HPS de 70 W a 1000 W presentan una tensión de ruptura menor de 2,7 kV para pulsos de encendido con tiempos de subida en el orden de 1 μ s.

Por lo tanto, en el diseño de un ignitor que sea aplicable a una amplia gama de potencia de lámparas se debe tener en cuenta que, para pulsos con $T_f \leq 0,2 \mu s$, la amplitud del pulso deberá ser como mínimo de 3,8 kV. Esta cifra no tiene en cuenta cualquier sobredimensionamiento para compensar los efectos provocados por la capacitancia parásita. Cabe destacar que para algunas lámparas HPS como Lucalox de 250 W se observa una diferencia de hasta 1 kV en la tensión de ruptura cuando se varía el tiempo de subida entre 220 ns y 1 μs , lo que puede ser verificado en la figura 9.

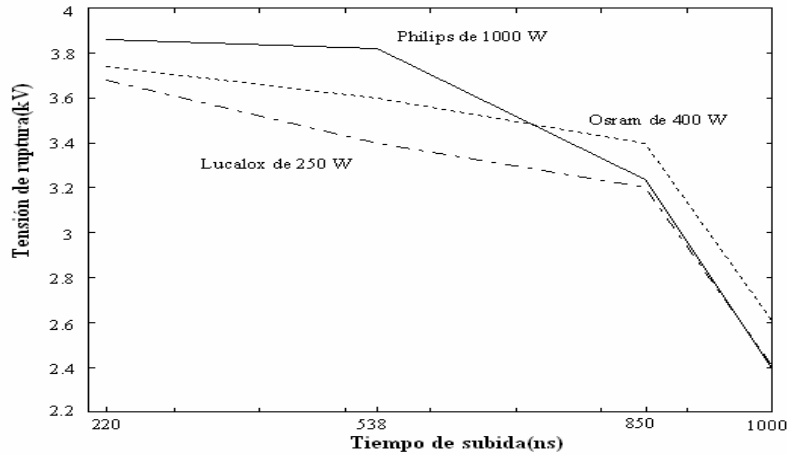


Fig. 9. Comportamiento de la tensión de ruptura en función de tiempo de subida de lámparas HPS comerciales de 250W, 400W y 1 000 W.

Según la referencia 6, la tensión de ruptura cae exponencialmente con el ancho de pulso para tiempos de subida reducidos, como se muestra en la figura 10. Con el fin de verificar si los resultados obtenidos por [6] son válidos para tiempos de subida más elevados, fueron realizadas las mediciones de tensión de ruptura en diversas lámparas HPS con la instalación experimental indicada en la figura 11. Fueron utilizados en las mediciones ignitores del tipo paralelo que proporcionan pulsos a 90° en el semi-ciclo positivo con anchos de 1 μs y 6 μs (a 2,6 kV), una amplitud de 2,8 kV y tiempo de subida de 1 μs . Los resultados se muestran en la tabla 3.

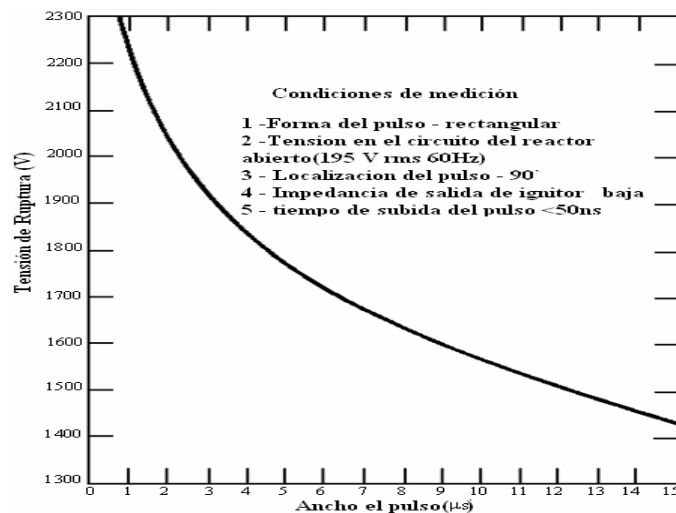


Fig.10. Tensión de partida en función del ancho del pulso (Lámpara HPS 400W).

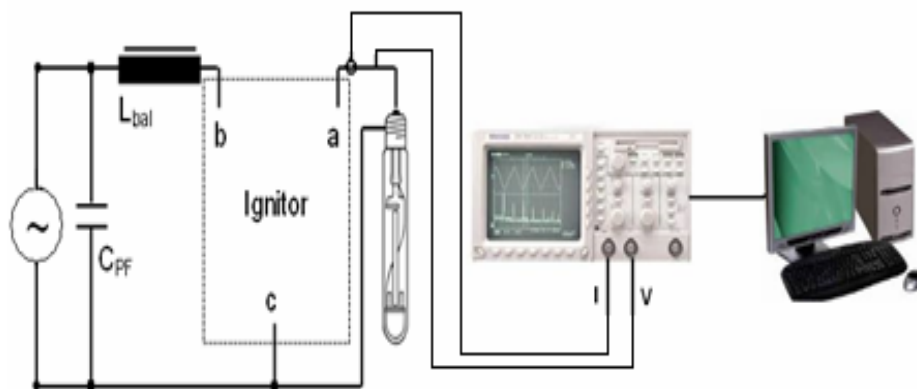


Fig. 11. Instalación experimental para validar la influencia del ancho del pulso de la ignición en la tensión de ruptura V_b de lámparas HPS.

Tabla 3. Tensión de Ruptura para diversas lámparas HPS.		
Lámpara	Acho del pulso (1 μ s)	Acho del pulso (6 μ s)
	Tensión de ruptura (kV)	
Lucalox® 70 W	1,48	1,48
Philips 70 W	2,00	2,00
Lucalox® 250 W	2,54	2,52
Osram 400 W	2,64	2,72

A partir de la tabla 3 se concluye que, para pulsos con tiempos de subida elevados, el ancho de pulso prácticamente no tiene influencia sobre la tensión de ruptura de la lámpara.

CONCLUSIONES

- Las mediciones realizadas en lámparas HPS de diferentes potencias sometidas a pulsos con tiempos de subida T_1 entre 0,2 μ s y 1 μ s muestran que la tensión de ruptura decrece con el tiempo de subida. Se observa también que la tensión de ruptura prácticamente es independiente del ancho del pulso para valores elevados de T_1 (típicamente 1 μ s).
- La presencia de capacitancias parásitas en la salida del ignitor (por ejemplo capacitancias parásitas en los cables de interconexión entre el ignitor y la lámpara) es responsable por la atenuación de la amplitud del pulso. Este efecto puede ser minimizado utilizándose pulsos con tiempos de subida elevados (típicamente 1 μ s).
- Los resultados alcanzados en este trabajo serán utilizados para elaborar un procedimiento de diseño de los ignitores de pulsos superpuestos para lámpara de sodio de alta presión.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento PEA de la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo por las facilidades laboratoriales para el desarrollo de este trabajo y a la Agencia CAPES ([Coordenção de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior](#)), Brasil por el apoyo financiero.

REFERENCIAS

- [1] INTERNATIONAL STANDARD 60662. High-pressure sodium vapour lamps. IEC 60662. 1980.
- [2] NEMA C78.42. Electric Lamps- Guidelines for high-pressure sodium lamps.1995.
- [3] BYSZEWSKI WW, B. A. "Enhanced starting of HID lamps". *Journal of IES*, n.4. 1990, p.70-75.
- [4] ZASLAVSKY, G., COHEN, S., KEEFE, W. . "Improved starting of the 100-W metal halide lamp". *Journal of IES*, n.4. 1990., p.76-83.
- [5] KRAMEL, L. F. "Methods of measurement of high pressure sodium lamp starter characteristic". *HID Engineering*, n.3932. June 1975, p.1-15.
- [6] GROOT, J., VAN VLIET. "The high-pressure sodium lamp". London, Mac Millman Educational, Chapter 6. 1986.
- [7] LESTER, J. N. C., S. "The RF starter and its application to miniature metal halide lamps". *Journal of IES*, n.4. 1986, vol. 65, n.2, p.31-40.
- [8] OSRAM, "Recommendations for ignitors for high-pressure sodium vapour lamps NAV", Jan 1989, München.
- [9] JACKSON, A. D. "Parasitic capacitance in pulse-start HID lighting systems". *Journal of Illuminating Engineering Society*. 1999., vol.28, p.174 -182.
- [10] INTERNATIONAL STANDARD 60061.Lamp caps and holders together with gauges for the control of interchangeability and safety. IEC 60061.1969.

AUTORES

Alexander Fernández Correa.

Ingeniero en Electrónica, Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae .La Habana, Cuba.

e-mail: alexande@electronica.cuaje.edu.cu.

Walter Kaiser.

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas. Trabaja actualmente en la Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.

e-mail: kaiser@lac.usp.br

Yandry Rodríguez Domínguez.

Ingeniero Electricista, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae .La Habana, Cuba.

e-mail: yandry@electronica.cuaje.edu.cu.

Dra. Susset Guerra Jiménez.

Ingeniera en Controles Automáticos, Profesora Titular. Doctora en Ciencias Técnicas. Trabaja en la Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae .La Habana, Cuba.

e-mail: susset@electronica.cuaje.edu.cu