

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE FUENTE DE MEDIA TENSIÓN

Carlos Alfonso Benítez Higueta

Sebastián Charry Naranjo

Ingeniería Electromecánica

Director del trabajo de grado

Santiago Gómez Arango

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2017

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En este trabajo se propone el diseño de una fuente de media tensión, con el fin de alimentar un generador de impulsos tipo rayo. La etapa de elevación, se plantea mediante una conversión AC/DC conformada por un transformador-elevador y un arreglo de condensadores, resistencias y diodos.

La configuración seleccionada suministra una tensión variable hasta 15kV, incluyendo una etapa de conmutación entre los flancos positivos y negativos. Adicionalmente, la simulación mediante Simulink - Matlab, permite ajustar los valores teóricos de los componentes para los parámetros requeridos.

Por último, el prototipo será dispuesto en un acrílico con dimensiones de 35 ancho x 50 largo x 25 alto, con la opción de apertura para el reemplazo de los componentes y borneras en la cara frontal para la conexión de las cargas; todo lo anterior, permite utilizar el equipo con propósitos didácticos y asegurar que los usuarios permanezcan aislados de los bornes energizados.

Palabras clave: Fuente, Media Tensión, Corriente alterna, Transformador.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al profesor Santiago Gómez Arango por asesorarnos en este proyecto e incluirnos en el semillero de investigación de redes de distribución de energía eléctrica y alta tensión, que nos ayudó en el tema para nuestro trabajo y conocimientos nuevos para este. También se agradece al laboratorio de máquinas eléctricas por brindarnos los implementos necesarios para la construcción de la fuente y permitirnos realizar pruebas en él.

Se agradece a todas aquellas personas que en forma directa o indirecta contribuyeron a que este trabajo pudiera llevarse a cabo.

Finalmente, un agradecimiento profundo a nuestras familias por su constante paciencia y apoyo que siempre demostraron para culminar la carrera que deseamos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

DC Corriente directa

AC Corriente alterna

uF Micro faradios

nF Nano faradios

kV Kilo voltios

V Voltios

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	¡Error! Marcador no definido.
3. METODOLOGÍA.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES	18
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	19
7. REFERENCIAS.....	20
APÉNDICE	22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta el diseño y construcción de una fuente de media tensión variable para obtener niveles de tensión hasta los 15 kV, mediante un prototipo que cuenta con componentes de diseño propio, debido que para este nivel de tensión estos elementos demandan un presupuesto elevado.

La construcción del prototipo para este trabajo se realizará mediante una fuente constituida por sus etapas de elevación, rectificación y almacenamiento, que tendrá en su etapa de rectificación la opción de tener el flanco positivo o negativo basados en lo observado en el trabajo de [1]. Y esto plantea la idea de realizar un generador de impulsos para trabajos futuros, didáctico y fácil de transportar como lo plantea[2].

El diseño es soportado mediante simulación con el software SIMULINK de MATLAB, para utilizar estos valores como referencia para la construcción del prototipo final. En definitiva, las pruebas de este se realizan por medio de una sonda de media tensión que fue diseñada y construida por [3].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. ESTADO DEL ARTE

Una fuente de voltaje es un dispositivo que transforma la tensión que entrega una red de suministro que por lo general es una corriente alterna, entregando una o varias tensiones en corriente directa, se puede decir que todo dispositivo que crea una diferencia de potencial se puede llamar fuente de voltaje. Estas fuentes por lo general están constituidas por un transformador, uno o varios diodos rectificadores y un filtro, cada uno de estos elementos tiene una tarea en específico, El transformador debe proporcionar una tensión alterna con su senoidal, aumentando o disminuyendo la amplitud de una tensión alterna, manteniendo su frecuencia. Los diodos rectificadores toman media onda de la señal senoidal, sea la parte positiva o la negativa y entrega una señal pulsante continua que con el pasar del tiempo se ira rectificando. El filtro proporciona una señal que reduce el rizado de la tensión y aísla por completo el componente alterna de la continua y asegura un comportamiento totalmente lineal.

Los dispositivos que producen las altas tensiones son los generadores de impulsos, pero una parte fundamental de este son las fuentes de alimentación que por lo general tienen un voltaje unidireccional que se eleva rápidamente hasta un valor pico y luego se demora un poco más para llegar a cero.[4]

En [1] se diseñó y construyó un generador de impulsos de alta tensión de una sola etapa para obtener ondas de tipo maniobra y tipo rayo, en este trabajo se implementó una fuente de media tensión que contaba con un transformador de potencial tipo subestación y entregaba un voltaje con un pico máximo de 11,455 kV, seguido de un diodo rectificador el cual suministraba una tensión inversa de pico mínima de 12 kV y una corriente de 750 mA.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En [5] se presenta el diseño y construcción de un generador de impulsos de 10 kV tipo Marx, donde la fuente de alimentación implementada se encargaba de cargar los condensadores de generador, está la integrada un transformador elevador de 120 V a 600 V AC, de igual manera contaba con un variac monofásico para mantener la tensión regulada y por ultimo un diodo rectificador de onda completa.

Las fuentes más usadas tradicionalmente para descargas eléctricas de alta tensión, están constituidas comúnmente por transformadores de gran tamaño y peso[6], Debido a esto la mayoría de fuentes tienden a no ser portátiles y además demandan un especial cuidado y una máxima precaución al momento de la manipulación.[7]

En [8] se implementa una fuente de media tensión para un generador de impulsos dispuesto para pruebas de transformadores, en esta se cuenta con el transformador elevador y su diodo rectificador, además de esto también se utiliza una configuración de condensadores ordenados en paralelo, esto con el fin de que la carga se realice más rápidamente y al momento de la descarga, la onda tenga una mayor duración.

Las “fuentes de voltaje tanto de media como de alta tensión son dispositivos usados en muchos campos de investigación”[9], en [10] se presenta la construcción de una fuente de alto voltaje, la cual fue utilizada para la fabricación de rejillas de periodo largo de fibra óptica mediante la técnica de arco eléctrico punto por punto, consiguiendo así un costo de fabricación menor al 80% con respecto a la fabricación de estas mismas pero con una empalmadora común de fibra óptica.

La necesidad ha llevado a los investigadores a crear nuevas formas de implementar y diseñar nuevos dispositivos para realizar pruebas en todo tipo de campos, en [2] se presenta un generador de impulsos portátil que fue diseñado y construido con un aislamiento de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

hasta 20kV. La fuente utilizada fue un transformador elevador de doble circuito que tenía de entrada 120 V y una salida de 7000 V, entregando así un pico máximo de 15kV.

Cuando se presentan picos transitorios en la red de alimentación el voltaje de la fuente se eleva y por ende los capacitores tienen la misma reacción[11], haciendo que se produzcan descargas espontáneas no deseables[12].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para la etapa de elevación se utilizó un transformador alimentado desde la red monofásica residencial, tomando como base [5] y [6], en la Figura 1 se observa el equipo utilizado y sus componentes.



Figura 1. Transformador elevador utilizado. Fuente. Elaboración propia.

- 1- Bornes de salida (Alta tensión)
- 2- Bornes de entrada (Baja tensión)
- 3- Borne de tierra (Común)

El mecanismo utilizado fue un equipo, con una relación de $\frac{1}{125}V$ ya que por su tensión de salida se ajusta a la, tensión de diseño 15Kv.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la etapa de elevación de la fuente, mediante simulación de datos teóricos.



Figura 2. Simulación onda senoidal de la fuente AC. Fuente. Elaboración propia.

De la imagen anterior se puede observar A la salida de la fuente una onda senoidal, con una amplitud de 15kV AC según tensión de diseño.

Con el fin de obtener la capacitancia requerida para la salida DC y tensión eléctrica soportada, se realizan los cálculos matemáticos para determinar el arreglo de condensadores que permita obtener los valores de diseño, ver Tabla 1.

Tabla 2. Valores de los condensadores.

Número de condensadores utilizados	Capacitancia individual DISEÑADA	Capacitancia medida	Tensión soportada
1	0,047 uF	0,046 uF	630 V
15	3,13 nF	3,12 uF	9,45 kV

Fuente. Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa la capacitancia y tensión de los datos teóricos y reales tanto de un condensador como del arreglo final que compone la etapa de almacenamiento, ver Figura 3.

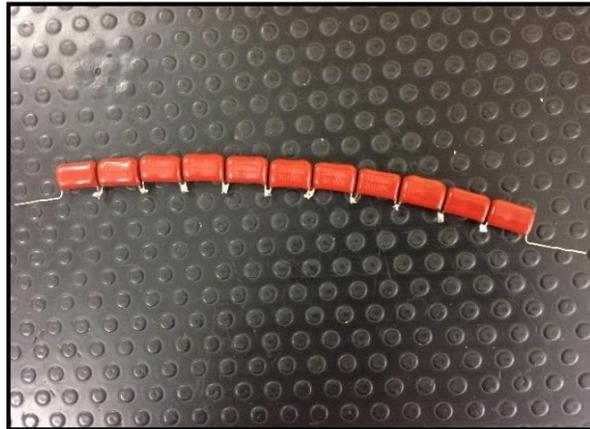


Figura 3. Arreglo de condensadores en serie. Fuente. Elaboración propia.

Al momento de realizar el arreglo de condensadores se tiene en cuenta la separación de las punta inicial con la final, ya que estas están a mayor tensión.

La etapa de rectificación se realizó por medio de diodos de media tensión que soportan máximo 12 kV, destinando uno para los flancos positivos y otro para los flancos negativos como se observa en la Figura 4, con salida de media tensión en DC.



Figura 4. Flanco positivo y negativo fuente media tensión DC. Fuente. Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De la silumación anterior se esperaba que el tiempo de carga de los condensadores fuera de aproximadamente 1s.

El prototipo cuenta con un aislamiento diseñado en espuma de poliuretano rígida con arreglos de condensadores dentro de un tubo de PVC de 1-1/2", El aislamiento propuesto para los condensadores se observa en la Figura 5.



Figura 5. Arreglo de condensadores. Fuente. Elaboración propia.

Antes de realizar el aislamiento fue importante llevar a cabo pruebas de este componente, para encontrar la medida necesaria que fue 1cm^3 de espuma para cada 10 cm del tubo de $1\frac{1}{2}$ ".

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fuente de media tensión AC-DC ensamblada se muestra en la Figura 6.

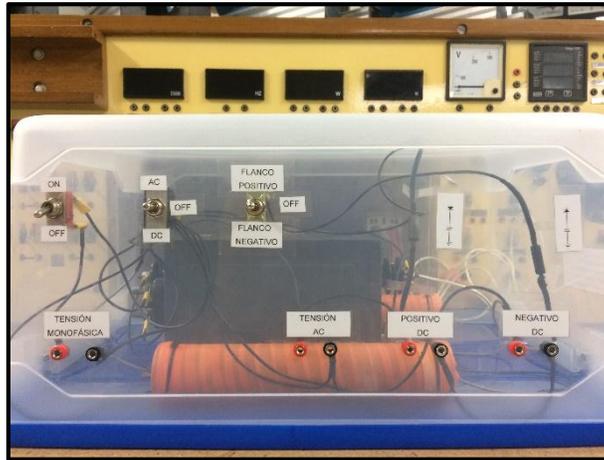


Figura 6. Fuente de media tensión AC/DC. Fuente. Elaboración propia.

En la imagen anterior se muestra la fuente ensamblada y aislada completamente, donde solo se tiene acceso a los bornes de medición y conexión, estos se encuentran debidamente marcados. Y se destaca que finalmente la tensión entregada por el mismo fue de 7,8 kV AC Y 9kV DC.

Los valores medidos a la fuente de tensión AC se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Datos obtenidos con medición por sonda AC

AC con SONDA		
baja (V)	Alta (kV)	TENSIÓN FUENTE ALTA X 95,54
1,024	0,609	0,59
2,02	1,26	0,62
3,06	1,900	0,62
4,09	2,621	0,64
5,09	3,298	0,65
6,05	3,99	0,66
7,05	4,68	0,66
8,04	5,36	0,67

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

9,03	6,05	0,67
10,03	6,74	0,67
11,07	7,45	0,67
12,06	8,15	0,68
13,02	8,82	0,68
14,06	9,58	0,68
15,02	10,21	0,68
20	13,91	0,696
30,35	20,64	0,680
40,27	27,38	0,680
50,04	33,95	0,678
60,12	41,09	0,683
70,3	47,9	0,681
80	54,2	0,678
90,1	60,7	0,674
100	67,2	0,672
110,6	73,3	0,663
120	78,7	0,656

Fuente. Elaboración propia.

los valores fueron medidos con la sonda de media tensión [7], con tensiones hasta 7,6 kV.

En cuanto a la parte DC Se realizaron pruebas tanto en el flanco positivo como en el negativo, los datos tomados se observan en Tabla 3.

Tabla 3. Datos de medición DC con la sonda

MEDICIÓN DC CON Sonda (V)			
FLANCO (+)			
SUBIDA		BAJADA	
BAJA	ALTA	BAJA	ALTA
10,29	193	110	4330
20,2	441	100	3540
30	747	89,9	3070
40,38	1164	80,1	2510
50,02	1589	70	2031
60,35	2005	60,4	1655
70,03	2493	50,14	1304
80,02	2960	40,25	1030
89,89	3382	30,28	733
100	3627	20,18	446

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

110	4330	10,3	214
FLANCO (-)			
SUBIDA		BAJADA	
BAJA	ALTA	BAJA	ALTA
10,1	-124	110	-3327
20	-348	100	-2990
30,29	-584	90	-2540
40,01	-884	80,4	-2288
50,04	-1105	70,3	-2012
60,29	-1378	60,2	-1701
70,44	-1651	50,23	-1388
80,3	-1960	40	-1074
90	-2248	30,02	-765
100	-2746	20,04	-480
110	-3327	10,15	-295

Fuente. Elaboración propia.

Los valores arrojados de la tabla por la sonda no son tomados en cuenta ya que la sonda no cuenta con la configuración adecuada para medir tensión DC, pero se comprueba que cada uno de los flancos de la fuente de tensión DC está trabajando correctamente.

De lo anterior se realizan las pruebas a la fuente de media tensión DC con un multímetro calibrado demuestran que la fuente entrega valores e hasta 9,3kV, los datos obtenidos se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Medición fuente DC con multímetro

DC con multímetro		
subida		
Baja (V)	Alta (V)	relación
4,936	369	74,76
7,05	540	76,60
9,04	700	77,43
10,09	784	77,70
11,99	937	78,15
13,01	1021	78,48

Fuente. Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de la tabla anterior se hace factor de corrección de la relación aproximadamente de 78% ,
obteniedo una tensión calculada máxima de 9,3 kV DC.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES

- Las medidas de la fuente en DC se realizaron con un multímetro calibrado hasta 1000 V, debido que la sonda de media tensión por ser capacitiva pura no es la adecuada para este tipo de medición.
- Los flancos mostrados en la fuente DC permiten observar un aumento de tensión hasta aproximadamente 9,3kV en comparación con la salida de tensión AC donde se alcanzó 7,5 kV.
- Los valores de tensión del transformador, no concuerdan con los de placa (15kV) ya que la etapa de elevación finalmente entregó 7,5kV.
- Los datos entregados por la medición, son diferentes a los realizados y arrojados por la simulación ya que la etapa de elevación no entregó los valores esperados, de igual manera no se contó con los diodos del valor de diseño de 15kV y se trabajó con elementos de 12kV.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJO

FUTURO

- La etapa de elevación y rectificación deben ser construidos para el nivel de tensión diseñado.
- Realizar las pruebas con el multímetro calibrado para no sobrepasar los 1000 V ya que ese es el nivel de tensión que se recomienda no exceder.
- Para comprobar tensión DC se requiere una sonda capacitiva compensada o resistiva pura para obtener datos confiables en media tensión.
- El trabajo futuro será la construcción del generador de impulsos de media tensión didáctico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7. REFERENCIAS

-
- [1] S. G. Arango, “Diseño y construcción Unal,” 2013.
- [2] S. GOMEZ, M. P. BUITRAGO, and F. A. ROLDAN, “Portable High Voltage Impulse Generator,” *Int. Symp. Electr. Power Qual. ; Asunción, Paraguay ; 2011-11-02*), vol. 31, no. 2, pp. 159–164, 2011.
- [3] E. Zapata, Ju. Gutiérrez, S. Gómez, and J. Valencia, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SONDA DE MEDIDA PARA MEDIA TENSIÓN EN AC DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MEASUREMENT PROBE,” p. 4, 2017.
- [4] J. R. Lucas, “Senior Professor in Electrical Engineering,” 2001.
- [5] D. F. García and D. F. Rincón, “Diseño y construcción de un generador de impulso de voltaje de 10 KV,” *Tecnura*, vol. 12, pp. 4–13, 2009.
- [6] J. C. Alvarez and U. Atlántico, “Diseño y construcción de una fuente de descargas pulsadas de alto voltaje para estudio espectral de gases nobles ionizados,” no. July 2014, 2006.
- [7] C. . Amaya, jahen.; Arredondo, Carlos.; Lopera, Edwin.; Muñoz, “Diseño y construccion de un generador de impulsos de tension en la universidad de antioquia,” *Silicio*, vol. 8, no. 11, pp. 80–84, 2000.
- [8] F. Carmona, J. E. Jiménez, F. Vázquez, D. De Informática, N. Edif, and A. Einstein, “Modelado y simulaci{ó}n del circuito generador de impulsos para el ensayo de transformadores,” no. 1.
- [9] M. Sabaghi, H. Feshki Farahani, and H. R. Hafezi, “Load type effects on the operation of the high voltage pulse generator based on DC-DC converter,” *2010 Jt. Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst. PEDES 2010 2010 Power India*, no. 3, 2010.
- [10] J. C. Hern, C. Irapuato-salamanca, and U. De Guanajuato, “~ de una fuente de alto voltaje para fabricar rejillas de Instrumentaci ´ on y dise no ´ ptica mediante la t ´ fibra o ecnica de arco el ´ ectrico,” vol. 56, no. 3, pp. 255–261, 2010.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- [11] A. Felipe and B. Salazar, “DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA DE FILTRO ACTIVO HIBRIDO PARA LA SUPRESION DE ARMONICOS EN UN SISTEMA DE CONVERSION AC/DC,” 2008.
- [12] L. M. Redondo, H. Canacsinh, and J. F. Silva, “New Repetitive Bipolar Solid-State Marx Type Modulator,” pp. 253–256, 2008.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

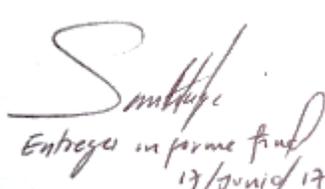
APÉNDICE

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES

CAELOS Alfonso Benitez H.
 Sebastian Charry D

FIRMA ASESOR _____


Entregado en forma final 17/junio/17.

FECHA ENTREGA: 17 julio de 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____