



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE ELECTROMECÁNICA**

Tesis previa a la obtención del título de:  
**INGENIERO ELECTROMECÁNICO, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN**  
**INDUSTRIAL**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE CONDUCTORES DE GRAFENO  
Y SU EFECTO EN LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA  
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BAJA TENSIÓN EN SANTO  
DOMINGO, 2014”**

**Estudiante:**

**MIGUEL ALEJANDRO OBANDO MEJÍA**

**Director de Tesis:**

**MSC. IVES TORRIENTE GARCÍA**

**Santo Domingo – Ecuador**

**MAYO, 2015**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE CONDUCTORES DE GRAFENO Y SU EFECTO EN LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BAJA TENSIÓN EN SANTO DOMINGO, 2014”.**

Lic. Ives Torriente García MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

**APROBADO**

Ing. Edwin Grijalva MSc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

PhD María Vallé

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Nilo Ortega

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Santo Domingo.....de.....del 2015.

**Autor: MIGUEL ALEJANDRO OBANDO MEJÍA**  
**Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Título de Tesis: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE CONDUCTORES DE GRAFENO Y SU EFECTO EN LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BAJA TENSIÓN EN SANTO DOMINGO, 2014”**  
**Fecha: MAYO, 2015**

---

**MIGUEL ALEJANDRO OBANDO MEJÍA**

**C.I. 1723052658**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Sede Santo Domingo

**INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo ..... de ..... del 2015.

Ing. Edwin Grijalva MSc.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

Estimado Ingeniero:

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por el Sr. **MIGUEL ALEJANDRO OBANDO MEJÍA** cuyo tema es: **“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE CONDUCTORES DE GRAFENO Y SU EFECTO EN LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BAJA TENSIÓN EN SANTO DOMINGO, 2014”** ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes

Atentamente,

---

MSC. IVES TORRIENTE GARCÍA

**DIRECTOR DE TESIS.**

# Dedicatoria

*Cuando Dios te permite llegar a la cima, no lo hace para que te quedes ahí, lo hace para que desde lo alto puedas ayudar a quienes están escalando y tratando llegar. Observa cuál será tu siguiente meta y conquístala siempre caminando de la mano de Dios para que él sea quien te valla abriendo horizontes y guiándote por el camino correcto.*

*Muy agradecido con Dios por esta meta alcanzada, dedico este triunfo a él en primer lugar y a mis padres porque a través de ellos Dios me ha Guiado y ha suplido todas mis necesidades.*

# Agradecimiento

*Cuando Dios ocupa el primer lugar en tu vida, todas las piezas restantes de tu vida encajan, de tal manera que Nadie podrá determinar ni impedir lo que Dios ya ha decretado para ella. Por esta razón estoy muy agradecido con Dios, porque gracias a él, he podido culminar esta investigación, lo cual es un logro más alcanzado en mi vida*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PÁG.
Portada.....	i
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal .....	ii
Responsabilidad del autor .....	iii
Informe del director de tesis .....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice .....	vii
Resumen ejecutivo .....	xiv
Executive summary .....	xv

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Planteamiento del problema .....	2
1.2.1	Formulación del problema .....	4
1.3	Objetivos .....	4
1.3.1	Objetivo general .....	4
1.3.2	Objetivos específicos .....	4
1.4	Justificación de la investigación .....	4
1.5	Alcance de la investigación .....	5

## CAPITULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco teórico .....	6
2.1.1. Antecedentes .....	6
2.1.2. Propiedades químicas del grafeno .....	6
2.1.3. Propiedades físicas del grafeno .....	7
2.1.4. Propiedades eléctricas del grafito y el grafeno .....	8
2.1.5. Propiedades físicas del cobre .....	9
2.1.6. Resistividad eléctrica y conductividad eléctrica .....	10
2.1.6.1. Resistividad eléctrica .....	10
2.1.6.2. Conductividad eléctrica .....	11
2.1.7. Cargabilidad y carga de los conductores .....	12
2.1.8. Pérdidas de energía eléctrica .....	12
2.1.8.1. Pérdidas no técnicas .....	13
2.1.8.2. Pérdidas técnicas .....	14
2.1.8.3. Factores que inciden en las pérdidas técnicas .....	15
2.1.9. Conductores para baja tensión .....	17
2.1.10. Factibilidad técnica .....	29
2.1.11. Factibilidad económica .....	29
2.2. Marco conceptual .....	30
2.3. Marco legal .....	31
2.4. Marco temporal espacial .....	31



## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Hipótesis .....	32
3.2.	Tipo de investigación .....	34
3.2.1.	Investigación experimental .....	34
3.3.	Unidad de análisis .....	34
3.3.1.	Selección de la muestra .....	34
3.4.	Métodos y técnicas .....	34
3.4.1.	Método inductivo .....	34
3.4.2.	Método analítico .....	35
3.4.3.	Método estadístico .....	35
3.5.	Técnicas .....	35
3.5.1.	Fuentes primarias .....	35
3.5.2.	Entrevista .....	36
3.6.	diseño del experimento .....	36
3.6.1.	Objetivos del experimento .....	36
3.6.2.	Modelo del experimento .....	37
3.6.3.	Pasos de análisis .....	37

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

4.1.	Generalidades de los experimentos factoriales .....	39
4.1.1	Razones para estudiar conjuntamente varios factores .....	39
4.1.2	Ventajas de los experimentos factoriales .....	40
4.1.3	Desventajas de los experimentos factoriales .....	40
4.2.	Formalización del experimento factorial .....	40

4.3.	Mediciones del experimento factorial .....	41
4.4.	Diseño factorial de múltiples niveles .....	45
4.4.1.	Modelo lineal general: voltaje ( $v_m$ ) vs. Material, corriente .....	45
4.4.2.	Modelo lineal general: pérdidas ( $v_c$ ) vs. Material, corriente .....	48
4.5.	Análisis de contraste de resultados: .....	50

## **CAPITULO V**

### **PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BAJA TENSIÓN**

5.1.	Introducción .....	54
5.2.	Criterios de la estabilidad energética del sistema .....	55
5.3.	Alternativa específica para la disminución de pérdidas por conductores de grafeno .....	56
5.4.	Factibilidad económica .....	57
5.4.1.	Costos de los conductores .....	59
5.4.2.	Análisis de los beneficios .....	60

## **CAPITULO VI**

6.1	Conclusiones .....	62
6.2	Recomendaciones .....	63
	BIBLIOGRAFÍA .....	64
	ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1. Factores que inciden en las pérdidas de energía .....	15
Figure 2. Tamaño de Conductores .....	19
Figure 3. Capacidad de Corriente del Conductor por Temperatura .....	21
Figure 4. Conductores tipo TW y VINAMEL 900 normal según factores de relleno .....	22
Figure 5. Modelo del Experimento .....	37
Figure 6. Mediciones realizadas conductor cobre .....	42
Figure 7. Mediciones realizadas conductor grafeno .....	43
Figure 8. Diálogo para definir los Factores y niveles del Experimento .....	44
Figure 9. Diálogo para definir los Factores y niveles del Experimento .....	44
Figure 10. Diálogo para la salida de resultados del Experimento .....	45
Figure 11. Gráfica de Residuos de Voltaje( $V_m$ ) .....	46
Figure 12. Gráfica de Residuos de Pérdidas ( $V_c$ ) .....	49
Figure 13. Gráfica de ( $V_c$ ) para el Grafeno .....	50
Figure 14. Gráfica de ( $V_m$ ) para el Grafeno .....	51
Figure 15. Gráfica de ( $V_c$ ) para el Cobre .....	51
Figure 16. Gráfica de ( $V_m$ ) para el Cobre .....	52
Figure 17. Gráfica de Pérdidas de corriente para el Cobre Vs Grafeno .....	52
Figure 18. Gráfica de Caída de Voltaje y Pérdidas para el Cobre Vs Grafeno ...	53
Figure 19. Flujograma de la Alternativa .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas del grafeno .....	7
Tabla 2: Propiedades físicas del cobre .....	10
Tabla 3: Comparativo del Cobre y el Grafeno .....	12
Tabla 4: Calibres de Conductores .....	20
Tabla 5: Sección del conductor .....	25
Tabla 6: Intensidad Admisible a 40 °C .....	27
Tabla 7: Secciones de neutro y diámetro de tubos (Guía BT-14) .....	28
Tabla 8: Secciones conductor e intensidad nominal .....	29
Tabla 9: Operacionalización de las Variables .....	33
Tabla 10: Matriz de Experimentación .....	41
Tabla 11 Caídas de Voltaje .....	42
Tabla 12: Caída de Voltaje .....	43
Tabla 13: Modelo lineal general: voltaje ( $v_m$ ) vs. material, corriente .....	46
Tabla 14: Análisis de varianza para voltaje ( $v_m$ ), sc ajustada para pruebas .....	46
Tabla 15: Resultados de varianza Voltaje .....	46
Tabla 16: Medias de cuadrado mínimo para voltaje ( $V_m$ ) .....	47
Tabla 17: Análisis de varianza para pérdidas ( $V_c$ ), SC ajustada para pruebas ...	48
Tabla 18: Resultados de varianza para pérdidas .....	48
Tabla 19: Medias de cuadrado mínimo para pérdidas ( $V_c$ ) .....	49
Tabla 20: Tabla comparativa de pérdidas de Energía .....	55
Tabla 21: Tabla comparativa de Resistencias Cobre – Grafeno .....	59
Tabla 22: Conductores de Cobre .....	59
Tabla 23: Conductores de Grafeno .....	60
Tabla 24: Costos Comparativos de Conductores de Cobre y Grafeno .....	60
Tabla 25: Beneficios Comparativos .....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 Aplicación del experimento “nivel de voltaje 220v” .....	68
Anexos 2 Medición de voltaje de la fuente “nivel de voltaje 220v” .....	68
Anexos 3 Caída de voltaje de cable de cobre con grafeno “nivel de voltaje 220v” .....	69
Anexos 4 Corriente del conductor de cobre con grafeno “nivel de voltaje 220v” .	69
Anexos 5 Caída de voltaje de cable de cobre “nivel de voltaje 220v” .....	70
Anexos 6 Corriente del conductor de cobre “nivel de voltaje 220v” .....	70
Anexos 7 Conductor de cobre vista microscopio .....	71
Anexos 8 Conductor de grafeno vista microscopio .....	71
Anexos 9 Características técnicas del fabricante de cables de cobre con grafeno Empresa lucas led “españa” .....	72

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe resume el resultado de un proceso investigativo realizado por el autor enfocado en el estudio de factibilidad para el uso de conductores de grafeno y su efecto en la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión, en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE) sede Santo Domingo.

El problema científico que generó el estudio se formuló a partir de la necesidad de buscar alternativas para la reducción de pérdidas de energía eléctricas en las líneas de baja tensión. A partir del análisis preliminar, el autor formuló la siguiente hipótesis: “si implementan los conductores de grafeno se contribuirá a la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión”. Considerando la situación problemática, se definió como objetivo general lo siguiente: “Estudiar la factibilidad del uso de conductores de grafeno y su efecto en la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión”.

Los objetivos establecieron la estructura del trabajo de la siguiente forma: En el primer capítulo se presenta el orden lógico del estudio desarrollado; un segundo capítulo donde se exponen los fundamentos teóricos que sustentan la utilización del grafeno como material conductor de la corriente eléctrica y su comparación con el cobre; un tercer capítulo donde se presentan la hipótesis, la operacionalización de las variables y los métodos a utilizar; un cuarto capítulo en el cual se presenta el diseño experimental con los resultados de los experimentos realizados y la factibilidad técnica de la propuesta y un quinto capítulo donde se presenta un análisis de la factibilidad económica de la propuesta.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones del trabajo donde se realizan las generalizaciones teóricas que sintetizan el estudio.

## EXECUTIVE SUMMARY

This report summarizes the results of a research process carried out by the author, focused on the feasibility study at using drivers of graphene and its effect in decreasing energy losses in the transmission of electrical energy at low voltage, in the laboratories of the “Universidad Tecnológica Equinoccial” (UTE) headquarters Santo Domingo.

The scientific issue that generated this study was formulated on the basis of the need to seek alternatives to the reduction of losses of electrical energy in the low-voltage lines. Based on preliminary analysis and regarding the established hypothesis in this study as well as the problematic situation, it was defined as a general objective to study of using drivers of graphene and its effect in decreasing energy losses in the transmission of electrical energy at low voltage,

The objectives established the structure of the work in the following way: the first chapter presents the logical order of the developed study; The second chapter outlines the theoretical foundations underlying the use of the graphene as conductive material of the electric current and its comparison with the copper; the third chapter presents the hypothesis, the operationalization of variables and methods to be used; the fourth chapter presents the experimental design with the results of the experiments and the technical feasibility of the proposal and the fifth chapter presents an analysis of the economic feasibility of the proposal.

Finally the conclusions and recommendations of the work are exposed in which are carried out theoretical generalizations that synthesize the study.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

El desarrollo de la humanidad ha estado motivado por descubrimientos que el hombre ha ido alcanzando a partir de su propia interacción con la naturaleza. En cada momento de la historia de la humanidad han jugado un papel importante los materiales para la confección de herramientas de trabajo, de viviendas, de armas para la defensa, etc.; en fin los materiales han predominado en cada etapa, se habla de la Edad de Piedra, la Edad de Bronce, la Edad de Hierro y ya en pleno siglo XXI se especula sobre la Era del Grafeno o de los materiales bidimensionales.

La competitividad en el mercado entre las empresas de tecnologías, ha generado un desarrollo de la ciencia de los materiales, trayendo consigo el surgimiento de nuevos e ingeniosos materiales para el beneficio del hombre; materiales que se caractericen por la fortaleza y por la conductividad eléctrica. Es importante recordar como el transistor cambio el concepto de la tecnología y dio paso a la nanotecnología. En la primera década del siglo XXI se ha desarrollado un material a partir del grafito que se conoce por el nombre de grafeno, un material que está creando una revolución en el mundo de la tecnología por sus propiedades físicas.

El grafeno es un nuevo material nanométrico bidimensional, obtenido a partir del grafito en 2004 por los científicos Andre Geim y Konstantin Novoselov, es una hojuela cuasi plana con pequeñas ondulaciones, dando la apariencia de un panel de abejas, con un grosor de un átomo de carbono (0,1nm). Su producción ha estado, hasta hoy, restringida a nivel laboratorio, posee unas extraordinarias propiedades que exhibe, tales como un efecto hall cuántico anómalo, y su comportamiento como semiconductor gap superficial y ausencia de localización electrónica, entre otras, las cuales vislumbran que serán de gran utilidad. (grafeno.com; 2014: Web).



Actualmente países como China, España, Alemania y Estados Unidos son pioneros en la producción de materiales eléctricos a base de grafeno. La fase de investigación del mismo todavía está en su etapa de desarrollo; científicos de todo el mundo están profundizando en los estudios de este magnífico material; sus costos actualmente son bastantes asequibles según el volumen de compra sobre todo en el mercado chino donde se fabrican a gran escala y su implementación es todo un hecho.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La conductividad eléctrica a partir del estudio físico químico de los materiales ha sido estudiada por los expertos con frecuencia. La necesidad de encontrar la menor oposición posible al paso del flujo de electrones es una de las aspiraciones más deseadas por los científicos. Esto ha generado consigo el estudio de los conductores eléctricos y sus características físicas-químicas para la menor oposición al paso de electrones y lograr un consumo más óptimo de la energía eléctrica.

Los conductores y los cables en sus distintas variantes constructivas son empleados en todos los sistemas que hacen a la vida del hombre más eficiente. La energía eléctrica se genera, trasmite y se distribuye hasta los consumos, lo cual solo es posible si se utilizan conductores y cables. De igual modo son necesarios para ejecutar las instalaciones eléctricas de los distintos tipos de consumos como pueden ser: viviendas, industrias, comunicaciones, etc. (Farina, 2011). Debido a su resistencia eléctrica, el conductor disipa, en forma de calor, parte de la energía transportada.

En el Ecuador los estudios de la conductividad eléctrica de los materiales se desarrollaron con fuerza a partir del año 1998 cuando comenzó el estudio de la actualización y reestructuración del Código Eléctrico Nacional (CNE) que fue presentado en el 2001, donde se informaba las normas de los cables y conductores eléctricos para las prácticas de instalaciones eléctricas. (CNE, 2001). Con este

estudio se pudo establecer los materiales eléctricos adecuados para las instalaciones eléctricas en diversos consumos.

En el presente trabajo de investigación se desea analizar y comparar la factibilidad de materiales nuevos y tradicionales como conductores eléctricos para la eficiencia en la transferencia de energía; donde se considera que el grafeno como conductor de la corriente eléctrica es factible técnica y económicamente para implementarlo en circuitos eléctricos.

Es conocido que parte de la energía transportada por los conductores se disipa en forma de calor producto de la resistividad de los materiales conductores y el flujo de los electrones, lo cual genera un consumo eléctrico o pérdida en la transmisión de la energía, que en múltiples ocasiones se sugiere la reducción del calibre de los conductores para la disminución de las pérdidas, generando un alto costo del material conductor y de la instalación.

La necesidad de reducir las pérdidas eléctricas en la transmisión de energía a baja tensión para optimizar el consumo de la energía eléctrica es una problemática que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador está fomentando su investigación, debido a la necesidad de garantizar tarifas eléctricas que sean competitivas para el sector industrial y óptimas para el sector residencial; para llevar a cabo los proyectos de la revolución ciudadana. (energía.gob.ec, 2014: Web).

Partiendo de estos criterios se considera en el presente trabajo de investigación realizar un estudio de los conductores eléctricos de grafeno y cobre, de forma tal que se pueda contribuir a la solución de la disminución de las pérdidas de energía en los conductores eléctricos de energía eléctrica de baja tensión; lo cual genera la problemática de investigación que se formula a continuación.

### **1.2.1 Formulación del problema**

Considerando los aspectos antes planteados se procede a establecer la formulación del problema de estudio de la presente investigación:

¿Cómo contribuir a la disminución de las pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Estudiar la factibilidad del uso de conductores de grafeno y su efecto en la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las propiedades físicas y electrónicas que caracterizan a los conductores eléctricos de grafeno
- Describir los aspectos teóricos que sustentan la utilización de conductores eléctricos de grafeno para la transmisión de energía eléctrica a baja tensión
- Proponer un diseño experimental adecuado que permita el estudio de la conductividad de los conductores de grafeno
- Analizar la factibilidad que genera el uso de conductores de grafeno en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión

### **1.4 Justificación de la investigación**

La presente propuesta investigativa permite profundizar en el estudio de los conductores eléctricos y su eficiencia en el control de pérdidas de energía eléctrica en la transmisión de energía. Esta investigación resulta importante para la optimización de los consumos de energía eléctrica en los sectores residenciales e industriales del país. El hecho de analizar el uso del grafeno como conductor

eléctrico, marca un precedente para el enfoque de la conductividad eléctrica a nivel nacional.

Desde el punto de vista social, analizar la factibilidad del uso del grafeno como material conductor de la energía eléctrica para la reducción de pérdidas de energía es favorable para la sociedad ecuatoriana, pues permite optimizar el consumo de la energía en los hogares; además de entrar en resonancia con los proyectos gubernamentales de garantizar el consumo energético adecuado en los hogares. Desde el punto de vista teórico la presente investigación genera una alternativa científica para el implementar el grafeno como material conductor de la energía eléctrica, se analizan los defectos topológicos del grafeno y su influencia en la conductividad eléctrica, partiendo del estudio de los fermiones de Dirac y la bidimensionalidad del grafeno; permitiendo evidenciar sus características de reducir la disipación de la energía eléctrica creando menos oposición al paso de la energía eléctrica a través de sus redes de carbono.

La viabilidad de la presente investigación se respalda en el hecho de estudiar el uso de los conductores eléctricos de grafeno y su factibilidad, debido a que de cumplirse la hipótesis de estudio se logra optimizar el consumo de la energía eléctrica en los hogares por la contribución a la disminución de las pérdidas de la energía eléctrica en las transmisiones de energía eléctrica de baja tensión.

### **1.5 Alcance de la investigación**

Con el desarrollo de la presente investigación se contribuye a la disminución de las pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión, a través de la propuesta del grafeno como conductor eléctrico, lo cual genera la perspectiva de optimización del ahorro de la energía eléctrica en los consumos de baja tensión, además de la tentativa de implementación del grafeno como material eléctrico efectivo para los procesos de conductividad eléctrica.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO DE REFERENCIA**

#### **2.1. Marco Teórico**

##### **2.1.1. Antecedentes**

El grafeno es un nuevo material nanométrico bidimensional, obtenido a partir del grafito en 2004 por los científicos Andre Geim y Konstantin Novoselov, es una hojuela cuasi plana con pequeñas ondulaciones, dando la apariencia de un panal de abejas, con un grosor de un átomo de carbono (0,1nm). Su producción ha estado, hasta hoy, restringida a nivel laboratorio, posee unas extraordinarias propiedades que exhibe, tales como un efecto hall cuántico anómalo, y su comportamiento como semiconductor gap superficial y ausencia de localización electrónica, entre otras, las cuales vislumbran que serán de gran utilidad.(grafeno.com, 2014: Web).

##### **2.1.2. Propiedades químicas del grafeno**

El grafeno es un material formado por capas, que comprende desde una hasta 10 capas superpuestas. Sus propiedades están en función de su dimensionalidad; tomando como base discriminadora la especificidad de sus propiedades, el grafeno puede ser clasificado en 3 tipos: mono-capa, bicapa y multicapa (entre 3 y 10); sin embargo, presentan un conjunto de propiedades comunes que permiten caracterizar los tres tipos como grafeno. (Cortijo y Vozmediano, 2007).

El carbono en su configuración plana, como se ha comentado anteriormente, tiene propiedades extraordinarias. Desde un punto de vista estructural, el grafeno es el material más delgado jamás obtenido: una lámina de grafeno tiene un espesor de 3,35 Å (es decir,  $3,35 \cdot 10^{-10}$  m). Un cabello humano tiene un diámetro en el rango

0,02-0,200 mm (esto es,  $2-200 \cdot 10^{-5}$  m). Por tanto, el grafeno es 100.000 veces más delgado que el cabello más fino. Además, se trata de un material muy ligero: tiene una densidad de, únicamente,  $0,77 \text{ mg/m}^2$ . Así, se calcula que una capa de grafeno capaz de cubrir un estadio de fútbol pesaría del orden de unos pocos gramos. (grafeno.com, 2014: Web).

### 2.1.3. Propiedades físicas del grafeno

Desde el punto de vista físico las propiedades del grafeno ya eran conocidas desde hace algunos años, según Geim y Novoselov (2007); su mayor motivación estaba enfocada en temas académicos del área de las ciencias de los materiales; ya para el año 2004 con los nuevos enfoques que permiten una mayor estabilidad del material trajo consigo la perspectiva del estudio de las propiedades físicas ya conocidas que se enuncian a continuación.

**Tabla 1**  
Propiedades físicas del grafeno

Propiedades Físicas	Magnitud
Material extremadamente delgado, se considera que el espesor del grafeno es similar al de un átomo de carbono	Espesor aproximado oscilante: $0,5 - 5 \text{ \AA}$
Extremadamente ligero	$1 \text{ m}^2$ pesa aproximadamente $0,77 \text{ gr}$
Enorme área específica	$2,700 \text{ m}^2/\text{gr}$
Según su formación cristalina tiene una alta elasticidad	Crece el 20% de su tamaño sin quebrarse
Material con mayor dureza conocida	aproximadamente 10 veces la dureza del diamante
Alta conductividad térmica	Aproximadamente 10 veces mayor que el cobre, el aluminio y el diamante)
Mayor densidad de corriente	$10^6$ veces mayor que el cobre.
Alta movilidad de electrones	100 veces mayor que el silicio

**Fuente:** Geim y Novoselov, (2007)

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

El grafeno puede llegar a tener una transparencia de 90% y una resistencia eléctrica suficientemente baja para ser usado como electrodo transparente, unido a su nivel de dureza existe la perspectiva de ser usado en pantallas táctiles. (ceplan.gob.pe, 2014: Web).

Cuando el grafeno se fabrica con alta pureza y monocristalino (toda la muestra es un solo cristal), se espera que tenga una respuesta eléctrica muy rápida lo que permitiría usarlo como transistores con velocidades de interrupción superiores a los de los semiconductores usuales.

Estas características de conductividad del grafeno es uno de los aspectos esenciales en la presente investigación, pues se está valorando la factibilidad de implementar conductores a base de grafeno en su mayor concentración para la disminución de las pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica de baja tensión.

#### **2.1.4. Propiedades eléctricas del grafito y el grafeno**

Atendiendo a su estructura electrónica, el grafito es un semimetal, con una semiconducción de banda prohibida (gap) nulo y una pequeña densidad de estados en el nivel de Fermi. De este modo, es un buen conductor eléctrico, gracias a la gran cantidad de electrones libres (electrones  $\mu$ ) que existen entre las láminas. Estos electrones son libres para moverse a lo largo del plano basal pero no en la dirección perpendicular, debido a la relativamente elevada separación entre planos.

Por esto, el grafito puede considerarse como un conductor a lo largo del plano basal (resistividad  $2.5-5.0 \times 10^{-6} \Omega.m$ ) mientras que en la dirección normal a éste la resistividad que presenta es típica de un material aislante ( $3000 \times 10^{-6} \Omega.m$ ) según Eda y Chhowalla (2010:2392). Las propiedades térmicas y acústicas también presentan un elevado grado de anisotropía, debido a que los fonones son capaces de propagarse muy rápido en las direcciones paralelas al plano basal gracias a los fuertes enlaces covalentes.

Por el contrario, su velocidad en la dirección perpendicular al plano decrece significativamente. De este modo, en el plano ab el grafito puede considerarse como un buen conductor térmico ( $-390 \text{ W/m. K}$  a  $300 \text{ K}$ ), mientras que en la dirección c es considerado un buen aislante térmico ( $-2 \text{ W/m. K}$  a  $300\text{K}$ ). (Eda y Chhowalla (2010:2396)

Atendiendo a su estructura electrónica, el grafeno es un caso especial de semimetal: posee un gap cero como los metales, con la peculiaridad de que la densidad de estados en el nivel de Fermi es nula como ocurre en los semiconductores según Bard y Chang, (1991:5588).

Debido a esto se le puede considerar también como un semiconductor de banda prohibida (gap) nula. Además, su estructura electrónica de bandas presenta una dispersión lineal respecto al momento para bajas energías, semejante a la que proporciona la ecuación de Dirac para fermiones de masa nula. Esto convierte al grafeno monocapa en un sistema bidimensional de fermiones de Dirac de masa nula, algo de una importancia crucial a la hora de comprender sus inusuales propiedades electrónicas, como el efecto Hall cuántico (QHE) anómalo.

De esta manera, los portadores de carga en el grafeno son cuasi-partículas sin masa que se mueven a una velocidad constante de  $10^6 \text{ m/s}$ . (es decir, unas 300 veces menor que la velocidad de la luz en el vacío)

### **2.1.5. Propiedades físicas del cobre**

El cobre es un metal de transición que pertenece al grupo de los llamados elementos de transición. En este grupo de elementos químicos, se encuentran aquellos situados en la parte central de la tabla periódica, concretamente en el bloque d. Entre las características que tiene el cobre, así como las del resto de metales de transición se encuentra la de incluir en su configuración electrónica el orbital d, parcialmente lleno de electrones; esta característica hace del cobre un material con elevada dureza, así como ser buenos conductores de la electricidad y el calor. (elementos.org.es, 2014: Web). A continuación se muestra una tabla donde



se enuncian algunas de las propiedades físicas del cobre que son de interés para la investigación.

**Tabla 2**  
Propiedades físicas del cobre

Densidad	8960 kg/m <sup>3</sup>
Masa atómica	63.536 u
Estructura cristalina	cúbica centrada en las caras
Estado	Sólido
Electronegatividad	1,9
Calor específico	385 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	$58,108 \times 10^6$ (S/m)
Conductividad térmica	400 W/(K·m)

**Fuente:** <http://elementos.org.es/cobre>

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

De los materiales que se utilizan en la fabricación de conductores, el cobre es el de mayor utilización por su alta conductividad eléctrica como se muestra en la tabla anterior. Incluso en la conducción de alta tensión el uso de conductores de cobre facilita la operación de soldaduras, con lo cual se ahorra en tiempo, materiales y mano de obra.

## 2.1.6. Resistividad eléctrica y conductividad eléctrica

### 2.1.6.1. Resistividad Eléctrica

La resistividad es una característica específica de un material y no de una muestra especial del material, que se relaciona con la resistencia eléctrica de un alambre, su longitud y de su sección transversal. Se define por la letra griega rho mayúscula ( $\rho$ ) y su unidad de medida es ohmio por metros ( $\Omega \cdot m$ ); y se calcula a partir de la siguiente fórmula según Serway, (2009:757):

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

Donde R es la resistencia en ( $\Omega$ ), A es la superficie transversal del alambre en ( $m^2$ ) y  $l$  es la longitud del alambre o conductor en (m). La resistencia eléctrica; es considerada como la propiedad de un objeto o sustancia que hace que se oponga al paso de la corriente eléctrica, para el caso de un circuito eléctrico la resistencia se determina según la ley de Ohm; relacionando la cantidad de corriente que fluye en el circuito cuando se le aplica una diferencia de potencial.

La unidad de resistencia es el ohm ( $\Omega$ ) y se representa por la letra R, que significa que el conductor es recorrido por una corriente de un Ampere cuando se le aplica un voltaje de un Voltio. Los materiales según sea la magnitud de la resistencia eléctrica se clasifican en conductores, aislantes y semiconductores. (Serway, 2009:753)

#### 2.1.6.2. Conductividad eléctrica

Se considera conductividad eléctrica a la capacidad que tiene un material para dejar pasar la corriente eléctrica, se representa con la letra sigma ( $\sigma$ ) y es el recíproco de la resistividad eléctrica. Se determina a partir de la siguiente fórmula según Serway, (2009:758):

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Su unidad de medida es ( $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ). A continuación se muestra una tabla comparativa de conductividad eléctrica de los materiales de interés para la investigación:

**Tabla 3**

Comparativo del Cobre y el Grafeno

Material	Conductividad Eléctrica ( $\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ )	Resistividad Eléctrica ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Comparativo
Grafeno	$9,6 \times 10^7$	$1,04 \times 10^{-8}$	El grafeno es 1,6 veces mejor conductor que el cobre
Cobre	$6,0 \times 10^7$	$1,66 \times 10^{-8}$	

**Fuente:** <http://recursostic.educacion.es>

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

### 2.1.7. Cargabilidad y carga de los conductores

La cargabilidad es la capacidad de conducción del conductor y usualmente se establece igual al límite térmico. La carga es el nivel de corriente que tiene en un momento dado. El conductor puede ser cargado hasta un límite en condiciones normales y otro superior para a condiciones críticas o de emergencia.

Cuando el conductor se encuentre en condiciones normales su carga depende de los criterios que la empresa adopta para dejar margen suficiente para transferencias de carga entre alimentadores, ese margen de seguridad permite evitar sobrecargas y está por debajo del 100% de la cargabilidad. Un marco de estado crítico significa que si existe una interrupción total o parcial de un alimentador primario, ya sea por sobrecargas, cortocircuitos, u otros, es necesario manejar la carga mediante transferencias, para lo cual es aceptable llegar al 100% de la cargabilidad de las líneas. (Cañar Olmedo, 2007:36)

### 2.1.8. Pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía eléctrica son motivo de estudio por parte de varios investigadores debido al costo que genera para las empresas de distribución de energía eléctrica. La reducción de las pérdidas eléctricas es muy favorable para las empresas distribuidoras, ya que facilita beneficios económicos (disminución en compra o generación de energía). Las pérdidas de energía eléctrica son un

problema que puede ser controlado desde la empresa distribuidora si la misma toma acciones oportunas y certeras.

El valor de las pérdidas de energía es uno de los indicadores de la gestión técnico-administrativa de la empresa distribuidora. Por la cual es importante considerar la incidencia de las mismas en todas las etapas de la distribución de energía hasta la entrega al usuario. Es posible establecer criterios y políticas que conlleven a un control de forma permanente de las mismas y con ellos reducirlas a valores mínimos, mediante un plan de reducción sólido, pero existe falta de control de las pérdidas de energía. Esta falta de control produce cortocircuitos y sobrecargas en las redes e instalaciones, lo que provoca en las empresas de distribución inversiones elevadas así como extensiones de proyectos sobredimensionadas con el propósito de soportar los excesivos incrementos de consumos. También origina una pérdida de ingresos por los consumos no facturados.

En la actualidad las empresas distribuidoras invierten en investigación que generen proyectos para la reducción de pérdidas la mayoría son proyectos que normalmente no llegan a ejecutarse por falta de recursos financieros, pero producto del constante incremento de la demanda surge la necesidad de una alternativa de solución para las pérdidas de energía.

Existen dos tipos de pérdidas de energía eléctrica, las pérdidas técnicas y no técnicas según nos afirma Maldonado (2005) en su artículo "*Reflexiones sobre las pérdidas de energía eléctrica*", Revista CIEEPI, No 8, Quito.

#### **2.1.8.1. Pérdidas no técnicas**

Las pérdidas de energía eléctrica no técnicas se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios así tenemos:

**Consumo de usuarios no suscriptores o contrabando** (*Hurto o Fraude de Consumo Eléctrico*): comprende fundamentalmente la conexión directa de usuarios del servicio a una red sin haber suscrito un contrato o acuerdo con la empresa

distribuidora de energía; también se encuentran los usuarios que habiendo tenido un contrato con la empresa distribuidora son desconectados de la red, y se vuelven a conectar a ésta sin autorización sin tener además medición de energía consumida.

El robo de energía eléctrica a través de conexiones directas sin registro en la empresa y la alteración mañosa de las mediciones para obtener registros fraudulentos, realizado en forma indiscriminada y con una alta impunidad, producen efectos económicos negativos sobre los ingresos de las empresas lo cual constituye una fuerte incidencia sobre la moral y la ética de la población.

**Error en la contabilización de energía** (*error de medición del instrumento*): comprende todos los errores de medición de contadores de energía, lectura y facturación de suscriptores excluyendo de este grupo a los casos de adulteración de los equipos de medición.

**Error en consumo estimado** (*suscriptores sin contador de energía*): comprende a todos aquellos suscriptores que por cualquier motivo son facturados por una estimación de su consumo

**Error de control de la actividad administrativa** de la empresa: un sistema de control administrativo con falencias que limite la aplicación de forma estricta y periódica de los procesos de facturación adecuados; e incapacitado para detectar y controlar las conexiones ilegales son una causa significativa en la pérdida de energía; los más comunes en este tipo de error son por registro o medición deficiente del consumo y por facturación incorrecta de los usuarios.

#### **2.1.8.2. Pérdidas técnicas**

Las pérdidas técnicas constituyen una parte de la energía que no es aprovechada y que el sistema requiere para su operación, es decir, es la energía que se pierde en los diferentes equipos, redes y elementos que forman parte del sistema de distribución y que sirven para conducir y transformar la electricidad y pueden ser

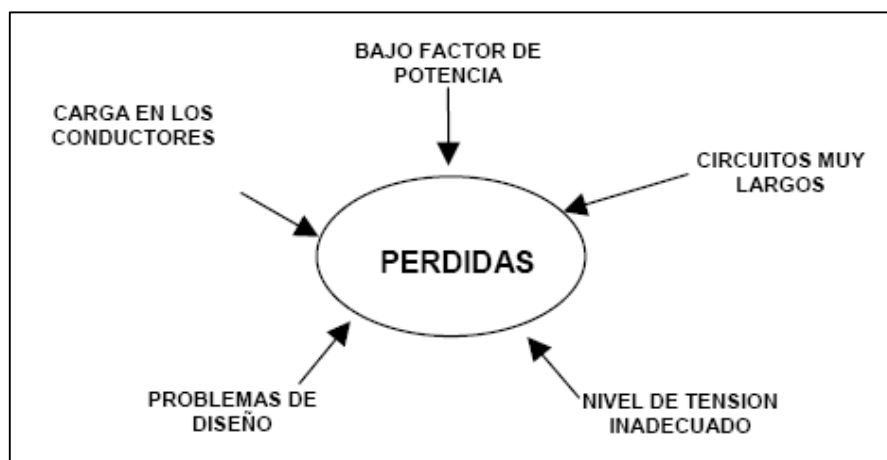
determinados por métodos medibles y analíticos con las herramientas que dispone la empresa distribuidora, sean éstas hardware, software, instrumentos de medición, otros. Representan la energía que se pierde durante la transmisión dentro de la red y la distribución como consecuencia de un calentamiento natural de los conductores que transportan la electricidad desde las plantas generadoras. (León, Belenguer y San Martín, 2013: 64)

### 2.1.8.3. Factores que inciden en las pérdidas técnicas.

A partir de la revisión de estudios realizados sobre pérdidas de energía a empresas eléctricas, se constató que en la parte de distribución y concretamente la que corresponde a baja tensión es donde se tiene el mayor porcentaje de pérdidas de energía a causa de diversos factores. (Cañar Olmedo, 2007:32)

**Figure 1.**

Factores que inciden en las pérdidas de energía



**Fuente:** Investigación de grado de Cañar Olmedo (2007)

Este tipo de pérdidas a causa de estos factores es normal en cualquier distribuidora de energía y no pueden ser eliminadas totalmente (miliarium.com, 2013: Web); sólo pueden reducirse a través del mejoramiento de la red. Para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Diagnóstico del estado actual del sistema;
- Proyección de la carga;
- Revisión de los criterios de expansión;
- Estudios de flujos de carga para optimizar la operación de líneas y redes;
- Analizar la ubicación óptima de transformadores y usuarios;
- Realizar estudios de reconfiguración de alimentadores primarios.

En la presente investigación el estudio está enfocado en la optimización de las redes de baja tensión, a partir de estudio de la factibilidad del grafeno como conductor de la corriente eléctrica.

Las pérdidas eléctricas técnicas se pueden clasificar según la función del componente y según la causa que las originan; como por ejemplo por la función del componente; si el componente es transporte puede ser en las líneas de subtransmisión, en los circuitos de distribución primaria y en los de distribución secundaria.

También existen pérdidas según la causa que las originan, como por ejemplo: las pérdidas por efecto Joule (calentamiento de los cables, calentamiento de bobinados de los transformadores); además existen pérdidas por histéresis (*potencia que sirve exclusivamente para magnetizar el núcleo, esta potencia no tiene otra aplicación práctica*) y corrientes parásitas (*equipos eléctricos están formados por pedazos de conductor que se mueven en un campo magnético o están situados en un campo magnético variable, dando lugar a corrientes inducidas que circulan por el volumen del conductor*). (León, Belenguer y San Martín, 2013: 66)

Todas las pérdidas de energía tienen efectos adversos para las empresas de distribución. Debido a ellas, se encuentran obligadas a comprar energía adicional para satisfacer la demanda aparente, con lo cual se incrementan los costos. La reducción de las pérdidas no técnicas, por lo tanto, reduce el volumen de energía que las empresas de distribución deben adquirir para satisfacer la demanda aparente que no puede facturar, e incrementa el volumen de energía eléctrica efectivamente vendida.

### 2.1.9. Conductores para baja tensión.

Uno de los elementos más comunes en las instalaciones eléctricas, son los conductores, los mismos que son los encargados de la transmisión de electricidad dentro de la instalación. En el diseño eléctrico y cálculo de conductores se toma en cuenta cuatro parámetros eléctricos básicos: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia. Estos conductores son de material conductor (metales) que portan corriente como el platino, oro, cobre, etc. Los materiales con mayor utilización son el cobre y aluminio ya que presentan condiciones de conducción óptimas y además son económicos.

Un conductor puede estar conformado por uno o varios hilos, siendo unifilar o multifilar. Una clasificación muy variada de los conductores puede ser realizada, pero la más elemental es:

- Conductores desnudos.
- Conductores aislados

#### 2.1.9.1. Cables Eléctricos.

La función básica de un cable es transportar la energía de un lugar a otro de manera segura y confiable, criterio que nos sustenta (Tarraga, 2004:87) con el siguiente planteamiento: *“Los conductores eléctricos son la parte esencial de la instalación eléctrica. De ellos depende directamente el correcto funcionamiento del conjunto de la instalación”*

Al respecto se puede plantear que las partes de un cable se describen como:

**Conductor**, los cables están constituidos por un conductor (cables monofásicos), tres (cables trifásicos), cuatro, etc.

**Aislamiento**, capa de material dieléctrico, que aísla los conductores de distintas fases, o entre fases y tierra. Puede ser de distintos tipos, tanto de material orgánico, como inorgánico.



**Capa semiconductor o barniz**, se emplea para homogenizar la superficie en la distribución de los conductores.

**Blindaje o pantalla**, cubierta metálica, que recubre el cable en toda su extensión y que sirve para confinar el campo eléctrico y distribuirlo uniformemente en su interior.

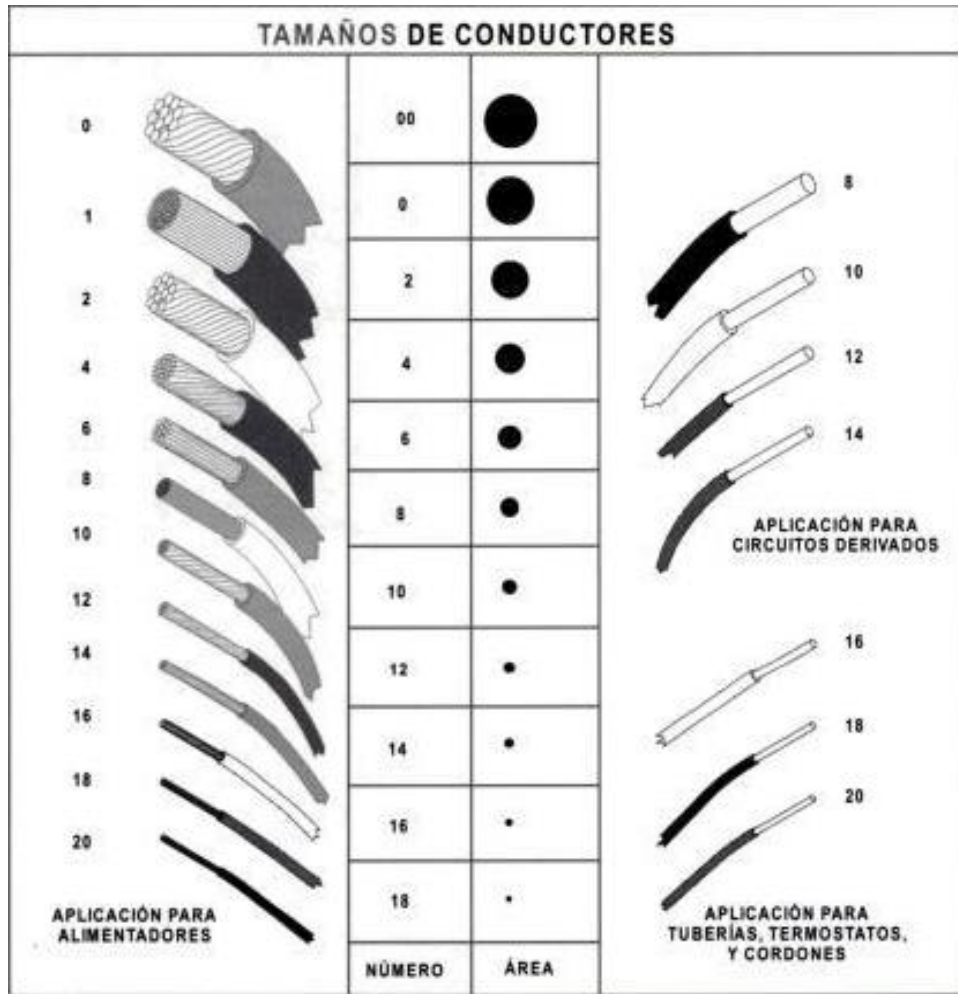
**Chaqueta o cubierta**, de material aislante muy resistente, separa los componentes de un cable del medio exterior.

Es oportuno recordar que cuando se trabaja en instalaciones de viviendas es necesario tomar en cuenta el color designado por la norma respectiva estos colores lo describimos a continuación:

- Azul claro: neutro
- Amarillo- verde, doble color: protección
- Negro- Marrón: colores de fases.
- Gris: para tercera fase si está presente.

Los cables eléctricos según las normas están identificados por números denominados calibres y por lo general se toma la designación Americana conocida por American Wire Gage (AWG). De acuerdo con Enriquez (2004:38) los cables eléctricos tienen la característica de que “...*el más grueso 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas*”. En la figura que se muestra a continuación se muestran algunos tamaños de conductores.

**Figura 2.**  
Tamaño de Conductores



Fuente: Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas, (Enriquez,2004)

En el sistema AWG, mientras mayor es el número del conductor, menor es su diámetro, en este sistema existen definidos cuarenta (40) calibres diferentes, partiendo del número 36 (diámetro de 0.005 pulgadas) hasta llegar al calibre 0, 2/0, 3/0 y 4/0 (diámetro de 0.46 pulgada) adjunto tabla de calibre de conductores.

**Tabla 4**  
Calibres de Conductores

Tamaño	Sección	Diámetro
AWG	mm <sup>2</sup>	Mm
36	0.0127	0.127
30	0.0507	0.254
24	0.205	0.511
16	1.31	1.29
14	2.08	1.63
12	3.31	2.05
10	5.261	2.588
8	8.367	3.264
2	33.62	6.543
1	42.41	7.7.348
1/0	53.49	8.252
4/0	107.2	11.68

**Fuente:** Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas, (Enriquez,2004)

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

### 2.1.9.2. Cálculo de conductores.

El cálculo del calibre del conductor depende de factores que determinan la capacidad de transportar corriente eléctrica en una instalación para ser utilizado por los diferentes aparatos de uso general. Los factores que determinan el calibre del conductor son dos:

- La capacidad de conducción de corriente (ampacidad).
- La caída de voltaje.

En un proyecto de instalaciones eléctricas de baja tensión son importantes estos factores para calcular el calibre del conductor ya que dará la seguridad dentro de la instalación y cumplirá las normas requeridas en la vivienda

#### 2.1.9.2.1. Cálculo de conductores por capacidad de conducción de corriente.

La capacidad del cable para transportar corriente eléctrica es de especial importancia al momento de decidir que conductor utilizar dentro de la instalación eléctrica. Los factores de tipo de material del conductor, calibre del conductor (área de la sección transversal), tipo de aislamiento, ambiente de operación, etc, son limitantes para determinar el conductor.

El cálculo del conductor por capacidad de corriente, lo que se pretende es ajustar el conductor, para que cuando por él circule la corriente nominal, los efectos eléctricos y físicos que se generen en él sean los que brinden eficiencia y seguridad. Esta capacidad de circulación de corriente del conductor viene determinada por el tipo de material del aislante y el grado de sobrecalentamiento.

Los fabricantes de conductores suelen proveer una serie de tablas contentivas de datos referentes a la capacidad de corriente de sus conductores, indicando la capacidad de corriente del mismo, en diferentes ambientes y condiciones.

**Figure 3.**

Capacidad de Corriente del Conductor por Temperatura

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CONDUCTORES DE CU BASADA EN UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30 °C								
CALIBRE A.W.G. K.C.M.	TIPO T.W. 60 °C				VINAMEL 900 75 °C			
	1 A 3	4 A 6	6 A 9	1	1 A 3	4 A 6	6 A 9	1
	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	COND. AIRE	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	CONDS. TUBO	COND. AIRE
14	15	12	10	20	15	12	10	20
12	20	16	14	25	20	16	14	25
10	30	24	21	40	30	24	21	40
8	40	32	28	55	45	36	31	65
6	55	44	38	80	65	52	45	95
4	70	56	49	105	85	68	59	125
2	95	76	66	140	115	92	80	170
0	125	100	87	195	150	120	105	230
00	145	116	110	225	175	140	122	265
000	165	132	115	260	200	160	140	310
0000	195	156	132	300	230	184	161	360
250	215	172	150	340	255	204	178	405
300	240	192	168	375	285	228	199	445
350	260	208	182	420	310	248	217	505
400	280	224	196	455	335	268	234	545
500	320	256	224	515	380	304	266	680
600	355	284	248	575				
750	400	320	280	655				
1000	455	364	318	780				
1250	495	396	346	890				
1500	520	416	364	980				
1750	545	436	382	1070				
200	560	448	392	1155				
TEMP.	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURA AMBIENTE MAYOR DE 30 °C							
40	0.82	0.82	0.82	0.82	0.88	0.88	0.88	0.88
45	0.71	0.71	0.71	0.71	0.82	0.82	0.82	0.82
50	0.58	0.58	0.58	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75
55	0.41	0.41	0.41	0.41	0.67	0.67	0.67	0.67
60	---	---	---	---	0.58	0.58	0.58	0.58

**Fuente:** Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas, (Enriquez,2004)

**Figure 4.**

Conductores tipo TW y VINAMEL 900 normal según factores de relleno

**NÚMERO DE CONDUCTORES TIPO TW Y VINAHEL 900 NORMAL QUE PUEDEN INSTALARSE DENTRO DE UN TUBO CONDUIT DE ACUERDO CON LOS FACTORES DE RELLENO ESTABLECIDOS**

CALIBRE	TAMANO DEL TUBO CONDUIT											
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/4"	3"	3 1/2"	4"	5"	6"
A.W.G.	13mm	19mm	25mm	31mm	38mm	51mm	64mm	76mm	89mm	101mm	127mm	152mm
18	15	24	39	68	92							
16	11	19	31	54	74							
14	9	13	25	44	60	99						
12	7	12	20	34	47	78						
10	5	9	15	26	36	60	85					
8	3	5	8	14	20	52	46	72				
6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62		
4	1	1	5	5	7	12	17	27	36	46	63	
2	1	1	1	4	5	9	12	20	26	34	54	78
1	0	1	1	2	4	6	8	14	19	25	39	57
0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	21	33	45
00	0	1	1	1	3	4	6	10	14	18	28	41
000	0	0	1	1	1	4	4	9	12	15	24	35
0000	0	0	1	1	1	3	4	7	10	13	20	29
250			1	1	1	2	3	6	8	10	16	23
300				1	1	1	2	5	7	9	14	20
350					1	1	1	1	6	8	12	18
400						1	1	1	5	7	11	16
500						1	1	1	4	6	9	13
600							1	1	3	5	7	11
700							1	1	3	4	6	10
750							1	1	3	4	6	9
800							1	1	3	4	6	8
900							1	1	3	3	5	8
1000								1	2	3	5	7
1250									2	2	3	5
1500									1	2	3	5
1750									1	1	3	4
2000									1	1	2	3

Fuente: Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas, (Enriquez, 2004)

### 2.1.9.2.2. Cálculo de la capacidad de un conductor por caída de voltaje.

Todo conductor posee asociado características que limitan su capacidad de transporte de energía eléctrica, debido a la resistencia y la reactancia la misma que se denomina impedancia. Debido a la presencia de la impedancia cuando circula una corriente eléctrica, la tensión en el extremo de envío en el conductor es mayor que el potencial que le llega al extremo receptor.

La impedancia depende de la longitud del conductor al igual que de su calibre. Entonces es necesario que la caída de voltaje no exceda los valores preestablecidos por la norma. La caída de voltaje para conductores en viviendas según la norma ANSI C84.1 es el 2%, a continuación describimos como calcular este porcentaje:

La caída de voltaje en un conductor utilizado en un circuito eléctrico en la vivienda se puede calcular mediante la ley de Ohm;

$$\Delta V = IxR$$

De donde:

$\Delta V$ = caída de voltaje

I= Corriente

R= Resistencia.

La resistencia la podemos expresar en función de las características del conductor.

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

Siendo:

$\rho$  = La resistividad del material, para el cobre 0.01724  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

L= longitud del conductor (m)

S= Área de la sección transversal ( $\text{m}^2$ )

Entonces la caída de voltaje en un conductor es:

$$\Delta V = \frac{0.01724 \times L \times I}{S}$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V_{nom}} \times 100$$

Mediante estas fórmulas puedo encontrar la sección o calibre del conductor asumiendo que necesito la máxima variación de voltaje.

Para Líneas de corriente alterna monofásica

$$S = \frac{2\rho L I \cos \varphi}{\Delta V}$$

Para Líneas de corriente alterna (trifásica)

$$S = \frac{\sqrt{3}\rho L I \cos \varphi}{\Delta V}$$

Dónde:

$\Delta V$  : es caída de tensión en voltios.

$\cos \varphi$ : es el factor de potencia activa.

$L$  : es la longitud del cable en metros.

$\rho$  : es la resistividad en  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

#### 2.1.9.2.2.1. Máximas caídas de tensión admisibles:

Según la norma ANSI C84.1 establece:

- *Acometidas*: no se considera, debido a que las compañías suministradoras están obligadas a mantener en un margen la tensión que llega al cuadro general.
- *Líneas generales de alimentación* :
  - 0.5 % en caso de centralización de contadores en planta baja (caso normal).
  - 1 % en caso de centralizaciones en varias plantas.
- *Derivaciones individuales* :
  - 1 % en caso de centralización de contadores en planta baja (caso normal).
  - 0.5 % en caso de centralizaciones en varias plantas
- *Circuitos interiores*:
  - 3% considerando la carga de cálculo

#### Mínimos del reglamento:

El reglamento obliga unas secciones mínimas en los circuitos interiores, estas secciones son suficientes en los casos normales de viviendas y por tanto no se suelen calcular los circuitos interiores, utilizando simplemente los mínimos del reglamento.

#### 2.1.9.2.2.1.1. Cálculo de conductores de protección

Los conductores de protección serán de cobre y su sección dependerá de los conductores activos:

**Tabla 5**

Sección del conductor

Sección del conductor activo mm <sup>2</sup>	Sección del conductor de protección mm <sup>2</sup>
$S \leq 16$	Igual al conductor activo (1)
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	Mitad del conductor activo

**Fuente:** Manual Práctico de Instalaciones Eléctricas, (Enriquez, 2004)**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015(1) Mínimo 2.5 mm<sup>2</sup>El color del conductor de protección será *Amarillo-Verde*.**2.1.9.2.2.1.1.1. Generalidades de las redes de tierra.**

Las puestas a tierra se establecen con el afán de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados. Cuando otras instrucciones técnicas prescriban como obligatoria la puesta a tierra de algún elemento o parte de la instalación, dichas puestas a tierra se regirán por el contenido de la presente instrucción.

La norma básica de puesta a tierra define como: “... *tierra como una conexión conductora, intencional o accidental, en la cual un circuito eléctrico o equipo es conectado a la tierra o algún cuerpo conductor de una gran extensión que sirve en lugar de tierra.*”<sup>1</sup> En las instalaciones eléctricas residenciales, los requerimientos básicos para la puesta a tierra son: todos los equipos fijos o conectados por métodos de cableado permanente, que posean parte metálicas no destinadas a transportar corriente y que tengan probabilidad de entrar en contacto con partes

---

<sup>1</sup> El ANSI/IEEE Std 100-1984, IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms



activas bajo tensión, deben estar conectados a tierra; es así que se recomienda esta práctica a las lavadoras, refrigeradoras, secadoras, bombas de agua, aire acondicionado, etc. La instalación ideal para la puesta a tierra es conectar directamente la tierra de los equipos a la del tablero, con un cable a la puesta a tierra interna de la vivienda, e instalar una varilla de tierra, de tipo Copperweld de 5/8" por 2.44 m. enterrada a profundidad en un suelo con cierta humedad, y mediante un alambre de cobre desnudo de número 4 AWG.

En este apartado realizamos una pequeña descripción de las redes de tierra, ya que en instalaciones eléctricas domésticas según las normas Ecuatorianas se utilizan simplemente varillas copperwell definidas conectadas al tablero de baja tensión luego distribuidas por toda la vivienda.

#### **2.1.9.2.2.1.2. Cálculo de secciones de fase:**

Se realizarán según la norma UNE 20.460-5-523

Para una temperatura ambiente de 40 °C y montaje en tubo empotrado o superficial se puede utilizar esta tabla resumen:

### **Tabla 6**

Intensidad Admisible a 40 °C

<b>Intensidad admisible (A) al aire 40°C. Conductores aislados en PVC.</b>				
<b>Cobre</b>	<b>A</b>		<b>B</b>	
	Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		Conductores aislados en tubos o canaletas en montaje superficial o empotrados en obra	
<b>mm<sup>2</sup></b>	<b>3x PVC</b>	<b>2x PVC</b>	<b>3x PVC</b>	<b>2x PVC</b>
1,5	11,5	13	13,5	15
2,5	16	17,5	18,5	21
4	21	23	24	27
6	27	30	32	36
10	37	40	44	50
16	49	54	59	66
25	64	70	77	84
35	77	86	96	104
50	94	103	117	125
70			149	160
95			180	194
120			208	225
150			236	260
185			268	297
240			315	350
300			360	404

**Fuente:** UNE 20.460-5-523

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

### **2.1.9.2.2.1.3. Caso especial de línea general de alimentación (reducción del neutro)**

El REBT permite reducir la sección del neutro en acometidas trifásicas, suponiendo que las fases estén equilibradas.

Sección mínima 10 mm<sup>2</sup> en Cobre y 16 mm<sup>2</sup> en Aluminio, caídas de tensión máximas: Contadores totalmente centralizados 0,5 %, Contadores en plantas 1 %.  
Cálculo de secciones de fase método general (UNE 20.460-5-523)

### **Conductores Unipolares de cobre RZ1-K**

Secciones de neutro y diámetro de tubos (Guía BT-14):

**Tabla 7**

Secciones de neutro y diámetro de tubos (Guía BT-14)

Tubo o canal sobre superficie. I máxima (A)	Tubo enterrado. I máxima (A)	FASE (mm <sup>2</sup> )	NEUTRO (mm <sup>2</sup> )	Diámetro tubos (mm)
60	77	10	10	75
80	100	16	10	75
106	128	25	16	110
131	152	35	16	110
159	188	50	25	125
202	224	70	35	140
245	268	95	50	140
284	304	120	70	160
338	340	150	70	160
386	384	185	95	180
455	440	240	120	200

**Fuente:** Guía BT-14**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015**Comprobación de circuitos interiores**

En circuitos interiores monofásicos (Guía BT-25), con caída de tensión del 3% Es necesario tener en cuenta la longitud máxima de cable, la siguiente tabla relaciona sección con intensidad nominal

**Tabla 8**

Secciones conductor e intensidad nominal

Sección conductor (mm <sup>2</sup> )	Intensidad nominal del PIA (A)			
	10	16	20	25
1.5	27			
2.5	45	28		
4		45	36	
6			53	43

Fuente: Guía BT-25

Elaborado por: Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

### 2.1.10. Factibilidad técnica

La factibilidad de un proyecto radica en la capacidad de agregar nuevos recursos técnicos a un proceso determinado garantizando los costos más razonables y económicos en su realización. Según Kendall y Kendall (2005:78) plantean que: “cuando se actualizan o incrementan los recursos técnicos actuales de tal manera que satisfagan los requerimientos bajo consideración... y si hay la tecnología disponible que cumpla las especificaciones”. En la presente investigación se busca demostrar la factibilidad técnica del uso de conductores eléctricos de grafeno.

### 2.1.11. Factibilidad económica

Según Baca Urbina (2001:5), el estudio de factibilidad profundiza la investigación en fuentes primarias y secundarias en investigación de mercados, detalla la tecnología que se empleará, determina los costos y rentabilidad económica del proyecto y es la base en la que se apoyan los inversionistas para tomar sus decisiones. En otras palabras la factibilidad económica establece la relación costo beneficio de implementar un proyecto, dispositivo o elemento en el mercado.

## 2.2. Marco Conceptual

**Grafeno:** es una sustancia formada de carbono puro, es un alótropo del carbono, con un teselado hexagonal plano similar al panel de abeja, formado por átomos de carbono dispuestos en un patrón regular hexagonal, similar al grafito pero con un espesor mucho más sencillo. (Cortijo, 2007)

**Efecto Hall:** Evidencia que el campo magnético genera un efecto ligero en la mayoría conductores eléctricos de forma transversal, que está relacionado con las propiedades físicas del conductor. (ce.azc.uam.mx, 2013: Web)

**Fermiones de Dirac:** Partículas elementales que conforman la materia, son los quarks y leptones con spin  $\frac{1}{2}$  que tienen una carga eléctrica totalmente opuesta a la de su antipartícula. (<http://astrojem.com>; 2013: Web)

**Conductores eléctricos:** son aquellos materiales que ofrecen poca resistencia al movimiento de cargas eléctricas, generalmente los no metales son conductores de la corriente eléctrica. (Serway y Beichner, 2002)

**Semiconductores:** son materiales cuya conductividad de la corriente eléctrica varía según su temperatura, teniendo la característica de poder conducir la corriente eléctrica bajo ciertas condiciones y también de no poder conducir la corriente eléctrica. (Buch; 1993:15)

**Energía Eléctrica:** Se denomina energía eléctrica a la forma de energía la cual resulta de la existencia de una diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. (Serway y Beichner, 2002)

**Baja Tensión:** se considera baja tensión eléctrica a aquella que distribuya o genere energía eléctrica para consumo público de las calles de las ciudades y que además provee servicio de energía eléctrica a las viviendas.

Cubre distancias de 100m a 500m y tiene un nivel de voltaje de 120V a 600V

Según (Código Eléctrico Nacional, 2014)

**Carga Instalada:** La capacidad instalada es la suma de las potencias nominales (datos de placa) de cada uno de los transformadores.

**Demanda:** La demanda de un sistema es el promedio de potencia requerido por una carga, durante un determinado intervalo de tiempo, denominado intervalo de demanda, la demanda se expresa en kilovatio.

**Factibilidad:** “se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización.” (Arias, 2006:134)

### **2.3. Marco Legal**

En la presente investigación se estudia una propuesta innovadora con un material novedoso en el ámbito de la ingeniería eléctrica en el país que es el grafeno, proponer una alternativa de uso de este material para reducir las pérdidas de energía eléctricas en líneas de bajas tensión es un aspecto creativo que el autor sugiere y lo sustenta en el artículo 350 de la Constitución de la República del Ecuador que determina: “El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo”.

### **2.4. Marco temporal espacial**

La presente investigación se inició en octubre del año 2014, a partir de esta fecha se realizó el trabajo de campo, recopilando información y datos para analizar los aspectos y causas del problema de estudio; así como consolidar los elementos necesarios para el éxito en la investigación. El autor tiene previsto culminar el estudio para enero del año 2015 y el lugar donde se realiza la investigación es en la ciudad de Santo Domingo.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Hipótesis

*Los aspectos esenciales de este capítulo, radican en determinar las características específicas desde el punto de vista científico, que permiten validar la hipótesis de que si implementan los conductores de grafeno se contribuirá a la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión en Santo Domingo de los Tsáchilas.*

Para el desarrollo de la investigación se partió de la consideración de la hipótesis como hipótesis descriptiva; las cuales son suposiciones respecto a rasgos, características o aspectos de un fenómeno, un hecho, una situación, una persona, una organización, etcétera. (Bernal, 2010:137). Para poder probar la hipótesis es necesario establecer las variables, debido a que las hipótesis son suposiciones relacionada con variables de estudio, las cuales se consideran, según nos cita Bernal (2010:139), “es una característica, atributo, propiedad o cualidad que puede estar o no presente en los individuos, grupos sociales.

Las variables se clasifican en independiente, dependiente o interviniente, según Hernández Sampieri (1997). También hace referencia que la independiente indica los aspectos relacionados con la “causa” de la relación entre variables y la dependiente es el “resultado” o “efecto” producido por la independiente.

En el presente trabajo se define como *variable independiente* la implementación de los conductores de grafeno y como *variable dependiente* a la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión. A continuación se muestra en el siguiente cuadro la operalización de las variables independiente y dependiente.

**Tabla 9**  
Operacionalización de las Variables

<b>Variables</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Operacionalización</b>	<b>Indicadores</b>
<p><b>Variable Independiente:</b> el uso de conductores de grafeno</p>	<p>En los conductores de grafeno, los electrones pueden saltar sin problema de la capa de valencia a la capa de conducción y facilitar en gran medida la conducción eléctrica. (Geim y Novoselov, 2007)</p>	<p>Método Experimental, se realiza una comparación de las características de un conductor de grafeno con otro de cobre y se realizan las mediciones para evaluar las pérdidas.</p>	<p>Conductores para redes de baja tensión  Conductores de grafeno con diámetro de 50*1200mm (Chinos)  Conductores de Cobre con similar características.</p>
<p><b>Variable Dependiente:</b> la disminución de pérdidas de energía en la transmisión de energía eléctrica a baja tensión</p>	<p>Las pérdidas de energía eléctrica en las redes de distribución generan altos costos para la economía nacional y limita la eficiencia del consumo de energía eléctrica. (Romero y Vargas, 2010)</p>	<p>Método Estadístico: A partir del principio de correlación se establecen las comparaciones entre los conductores de grafeno y cobre para definir el coeficiente de Pearson del experimento.</p>	<p>Tabla estadística comparativa para la comprobación de la hipótesis  Relación empírica entre el factor de pérdidas y el factor de cargas.</p>

**Fuente:** Investigación de Campo

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015



### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es descriptiva con un diseño experimental de investigación del tipo experimento puro, donde se manipula la variable independiente para establecer mediciones con la variable dependiente, para a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio se pueda establecer en principio la factibilidad de la hipótesis

#### **3.2.1. Investigación experimental**

En la presente investigación por el tipo de experimento a realizar se ajusta a un estudio experimental donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes, bajo el control del experimentador.

### **3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS**

Para el desarrollo de la investigación se utiliza como unidad de análisis dos muestras de conductores eléctricos de 1m cada uno, uno de grafeno y otro de cobre, ambos materiales con las mismas medidas de longitud y grosor. (50\*1200mm)

#### **3.3.1. SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

Se utiliza como muestra una porción de 1m de los conductores seleccionados para el estudio, esta muestra será sometida a la experimentación en los laboratorios de máquinas y circuitos eléctricos de la UTE- SD.

### **3.4. Métodos y técnicas**

#### **3.4.1. Método inductivo**

Se aplica el siguiente método para determinar a partir de hechos singulares criterios generalizados, se utiliza en la investigación para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, es decir a partir del diseño experimental de analizar la factibilidad de los conductores de grafeno y se llega a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general para el beneficio de la comunidad y colaborar con el buen vivir.

#### **3.4.2. Método analítico**

Se utiliza dentro del método de análisis el histórico-social para describir la evolución que el objeto de estudio va desarrollando en el tiempo, estableciendo un estudio comparativo. Este método se aplica en la investigación para hacer un análisis de la evolución de los estudios del grafeno y permite poder valorar la efectividad y factibilidad del uso del grafeno como conductor eléctrico, siguiendo el ejemplo de investigaciones realizadas por países con mayor desarrollo tecnológico.

#### **3.4.3. Método estadístico**

Se utiliza para analizar los datos obtenidos y posteriormente realizar un análisis estadístico para relacionar sus variables; es decir, se realiza un análisis de estadística descriptiva para cada una de sus variables y luego describe la relación entre estas. (Hernández Sampieri, 1997). Muy favorable para establecer criterios sobre la hipótesis dentro del estudio, además se utiliza el software especializado en estadística "MiniTab v 15.1.30" para el estudio de los procesos estadísticos que se desarrollan en la investigación.

### **3.5. Técnicas**

#### **3.5.1. Fuentes primarias**

Las fuentes primarias constituyen todas aquellas que permiten obtener la información de la fuente directa de investigación, es decir, en el escenario propiamente dicho del tema investigado. Para ello se recopila información de:

Tesis Doctoral “*Propiedades físicas del grafeno en presencia de desorden topológico*”, realizada por Alberto Cortijo Fernández. (2011)

Consultas en Revistas Especializadas como *APS Journal Archive* (Physics Review and Reviews of Modern Physics)

Entrevista realizadas a investigadores de ciencias de los materiales de universidades del especializadas en el país.

### **3.5.2. Entrevista**

Es una técnica orientada a establecer contacto directo con las personas que se consideren fuente de información. A diferencia de la encuesta de limitarse a un cuestionario, la entrevista se soporta en un cuestionario flexible para obtener información más espontánea y abierta. (Bernal, 2010:194). La intención fundamental de aplicar la entrevista radica en el hecho de conocer de especialistas como ha sido el comportamiento del tema de estudio y las perspectivas que se derivan de la investigación.

### **3.6. Diseño del experimento**

Para el desarrollo del experimento a realizar se parten de los objetivos que rigen la aplicación de la experimentación propuesta para la medición de las variables y su relación.

#### **3.6.1. Objetivos del experimento**

- Medir la resistividad de los conductores de cobre y de grafeno a temperatura ambiente (25°C).
- Medir la variación de carga eléctrica en los conductores de cobre y de grafeno.
- Identificar las fuentes de variación de errores en el experimento y especificar las unidades de medidas a trabajar.

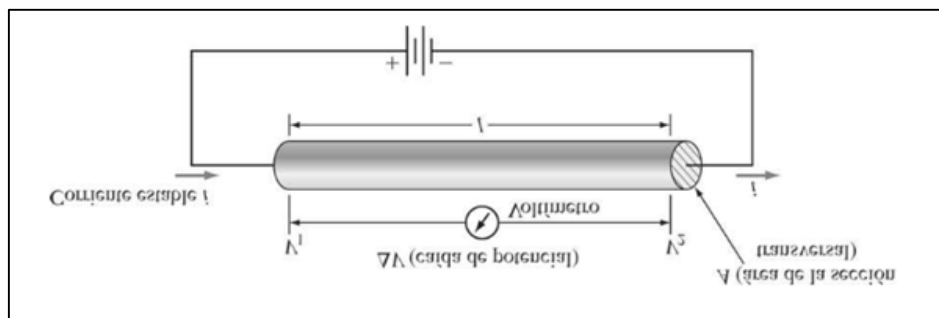
- Relacionar las variables de estudio e identificar el coeficiente de relación entre las mismas.

### 3.6.2. Modelo del experimento

El modelo a desarrollar se especifica en la figura a continuación donde se muestra un circuito en serie con los siguientes elementos: un conductor de cobre y uno de grafeno de medidas similares, 1m de longitud y grosor de (50\*1200mm); un elemento resistivo estable que para el experimento se consideró utilizar una bombilla para reducir la impedancia producto de la corriente alterna y un medidor de corriente eléctrica.

**Figure 5.**

Modelo del Experimento



**Fuente:** Smith (2006) Resistencia de los Materiales. Pág. 895

El montaje del experimento se realizará en el laboratorio de máquinas de la Universidad Técnica Equinoccial (UTE) sede de Santo Domingo.

### 3.6.3. PASOS DE ANÁLISIS

A continuación se procede a plantear los pasos a seguir para la realización de la experimentación:

- Seleccionar los elementos para el montaje del circuito según el modelo de experimentación.
- Revisar el estado y la efectividad de los instrumentos de medidas para la aplicación del experimento.

- Analizar y revisar las condiciones de la muestra para la experimentación.
- Disponer de tabla para la incorporación de los datos obtenidos.
- Análisis de las condiciones de los escenarios para la experimentación.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1. Generalidades de los experimentos factoriales**

Muchos experimentos se llevan a cabo para estudiar los efectos producidos por dos o más factores. Ningún factor se considera extraño; todos tienen el mismo interés. En el experimento factorial o arreglo factorial, se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento. El experimento factorial afecta al diseño de tratamientos, que se refiere a la elección de los factores a estudiar, sus niveles y la combinación de ellos. Se debe tener en cuenta que el diseño de tratamientos es independiente del diseño experimental, que indica la manera en que los tratamientos se aleatorizan en las diferentes unidades experimentales y la forma de controlar la variabilidad natural de las mismas. No es usual tener diseños experimentales muy complicados en los experimentos factoriales por la dificultad que involucra el análisis y la interpretación.

##### **4.1.1 Razones para estudiar conjuntamente varios factores**

Encontrar un modelo que describa el comportamiento general del fenómeno en estudio. Por ello son muy usados en experimentos exploratorios. Optimizar la respuesta o variable dependiente; es decir, encontrar la combinación de niveles que optimizan la variable dependiente.

La característica general y esencial que hace necesario el estudio conjunto de factores es que el efecto de un factor cambie según sean los niveles de otros factores o sea que exista interacción.

##### **4.1.2 Ventajas de los Experimentos Factoriales**

Economía en el material experimental ya que se obtiene información sobre varios factores sin incrementar el tamaño del experimento.

Permitir el estudio de la interacción, o sea determinar el grado y la forma en la cual se modifica el efecto de un factor por los niveles de otro factor. Mayor rango de validez de las conclusiones.

#### **4.1.3 Desventajas de los Experimentos Factoriales**

Una desventaja de los experimentos factoriales es que requieren un gran número de tratamientos, especialmente cuando se tienen muchos factores o muchos niveles de un mismo factor. Este hecho tiene los siguientes efectos:

Si se desea usar bloques completos es difícil encontrar grupos de unidades experimentales homogéneas para aplicar todos los tratamientos.

Se aumenta el costo del experimento al tener muchas unidades experimentales; esto se minimiza usando factoriales fraccionados donde se prueba una sola parte de todo el conjunto de tratamientos.

#### **4.2. Formalización del experimento factorial**

Se propone un análisis experimental para comprobar la influencia del tipo de material en la reducción de pérdidas de corriente durante la conducción de la misma. Se pretende demostrar que el grafeno posee mejores propiedades las cuales permiten reducir las pérdidas de corriente.

El experimento que se propone en la presente investigación, se puede considerar como un experimento factorial simple, ya que contiene tres niveles, (los tres niveles de voltaje, 120 V, 220 V y 440 V para cada uno de los dos materiales en estudio, (cobre y grafeno).

De esta manera, deseamos determinar las pérdidas de energía al pasar corriente eléctrica por cada uno de los conductores, de cobre (A) y grafeno (B). El experimento factorial consta de seis escenarios experimentales:

Conductor A con circulación de 120 V.  
 Conductor A con circulación de 220 V.  
 Conductor A con circulación de 440 V.  
 Conductor B con circulación de 120 V.  
 Conductor B con circulación de 220 V.  
 Conductor B con circulación de 440 V.

Este es un experimento factorial 2 x 3 cuya matriz de experimentación es la siguiente:

**Tabla 10**  
 Matriz de Experimentación

<b>Corriente Eléctrica</b>	<b>Conductor Cobre</b>	<b>Conductor Grafeno</b>
120 V	$X_1, Y_1$	$X_2, Y_1$
220 V	$X_1, Y_2$	$X_2, Y_2$
440 V	$X_1, Y_3$	$X_2, Y_3$

**Fuente:** Investigación de Campo

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

#### 4.3. Mediciones del experimento factorial

A continuación se especifican las mediciones realizadas a cada uno de los conductores siguiendo la matriz de experimentación propuesta; para las mediciones se tuvo en cuenta que la temperatura fuera constante en 25°C dentro del laboratorio donde se realizó la práctica.

#### Figure 5.

Mediciones realizadas conductor cobre.



Material conductor	Nivel de voltaje (V)	V Fuente (V)	V Carga (V)	corriente (A)	Potencia	% Caída de voltaje		Resistencia			
					De la carga	En el conductor	Total del circuito	Resistencia del foco	Resistencia del conductor de cobre	Resistencia Boquilla+foco	Resistencia total
cobre	120	128.8	127.9	9.5	1215,05 watt	0.06%	0.78%	9.9 Ω	0.004 Ω	10.3 Ω	12.7 Ω
cobre	240	196.7	192	1.36	261.12 watt	0.0056%	2.93%	-----	0.004 Ω	140.21 Ω	140.81 Ω
cobre	440	418.5	409.16	1.44	589.19 watt	0.00278%	2.23%	-----	0.004 Ω	284.07 Ω	284.2 Ω
Calculo de la resistencia del conductor de cobre											
La resistividad [ρ] (rho) se define como: $\rho = R \cdot A / L$											
$R = 0.0080769 \Omega$											
$V \text{ carga}(128 \text{ V}) = 0.0767308$											
$V \text{ carga}(196.7 \text{ V}) = 0.01098462$											
$V \text{ carga}(418.8 \text{ V}) = 0.01163077$											
$\% = 0.060$											
$\% = 0.0056$											
$\% = 0.00278$											

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Tabla 11**

Caídas de Voltaje

V Fuente (V)	V Carga (Vc)	V Carga (Vm)
128.8	0.0767308	127.9
196.7	0.0109846	192
418.5	0.0116308	409.16

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Figure 6.**

Mediciones realizadas conductor grafeno.

Material conductor	Nivel de voltaje	V Fuente (V)	V Carga (V)	corriente(Amp)	Potencia	% Caída de voltaje		Resistencia			
					De la carga	En el conductor	Total del circuito	Resistencia del foco	Resistencia de los conductores de grafeno	Resistencia Boquilla+foco	Resistencia total
grafeno	120 v	128.8	128.1	12.43	1592.283 Watt	0.048%	0.54%	9.9 Ω	0.002 Ω	10.3 Ω	10.30 Ω
grafeno	240 v	196.7	195.9	1.4	274.26 Watt	0.0036%	0.41%	-----	0.002 Ω	140.21 Ω	140.21 Ω
grafeno	440 v	418.5	418.2	1.47	614.16 watt	0.00176%	0.17%	-----	0.002 Ω	284.07 Ω	284.072 Ω
Calculo de la resistencia del conductor de cobre											
La resistividad [ρ] (rho) se define como: $\rho = R \cdot A / L$											
R= 0.005 Ω											
arga(128 V)=	0.06215	V carga(196.7 V)=	0.007	V carga(418.8 V)=	0.00735						
%=	0.048	%=	0.0036	%=	0.00176						

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Tabla 11**

Caída de Voltaje

V Fuente (V)	V Carga (Vc)	V Carga (Vm)
128.8	0.06215	128.1
196.7	0.007	195.9
418.5	0.00735	418.2

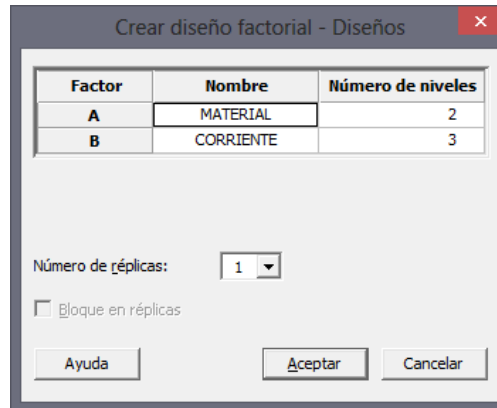
**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

A partir de las mediciones realizadas se procesan estos datos en un sistema estadístico especializado (MiniTab v 15.1.30), en el cual se configuró el diseño experimental con los parámetros y niveles establecidos (ver, Fig. 8, Fig. 9).

**Figure 7**

Diálogo para definir los Factores y niveles del Experimento.

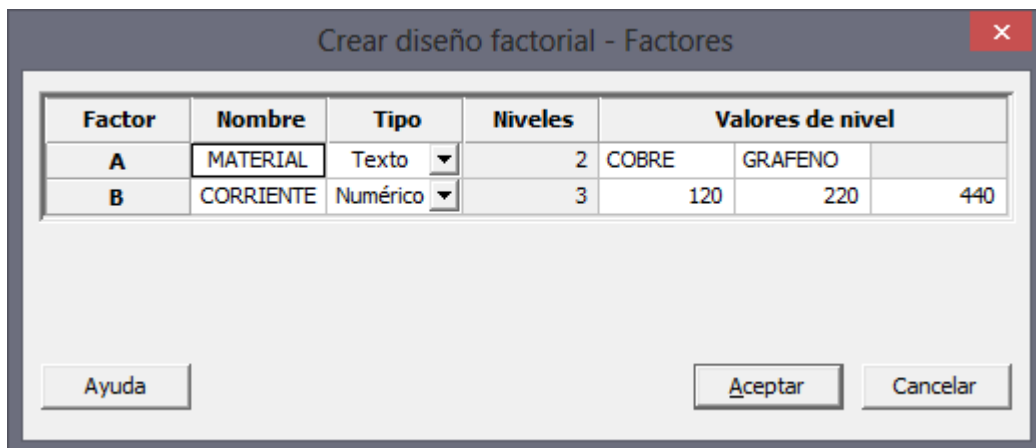


**Fuente:** MiniTab v 15.1.30

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Figure 8**

Diálogo para definir los Factores y niveles del Experimento.



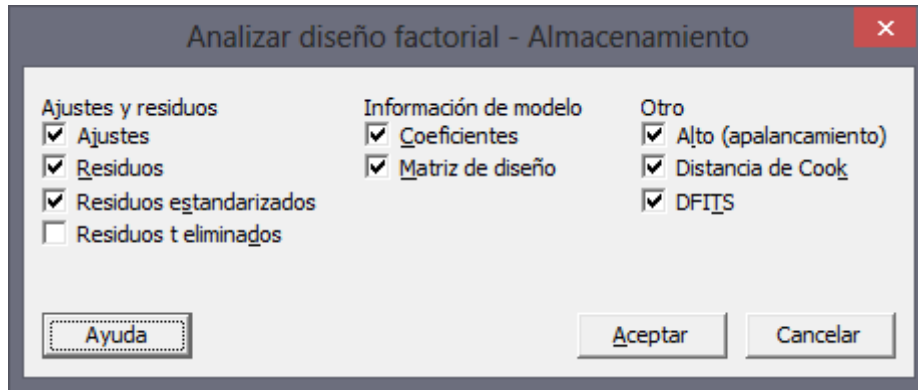
**Fuente:** MiniTab v 15.1.30

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

A partir de la definición de factores y niveles correspondientes se pueden definir los estadígrafos a calcular para evaluar el comportamiento de las diferentes variables. (Ver Fig. 10)

**Figure 9**

Diálogo para la salida de resultados del Experimento.



**Fuente:** MiniTab v 15.1.30

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Una vez diseñado el experimento se procede a realizar un grupo de cálculos estadígrafos correspondientes los cuáles arrojan la información necesaria para establecer un modelo lineal de relación entre variables que facilite la comprobación de la hipótesis a partir del diseño factorial de múltiples niveles proyectado en el experimento.

#### 4.4. Diseño factorial de múltiples niveles

Factores: 2                      Réplicas: 1

Corridas base: 6                Total de corridas: 6

Bloques base: 1                Total de bloques: 1

Número de niveles: 2, 3

##### 4.4.1. Modelo lineal general: VOLTAJE ( $V_m$ ) vs. MATERIAL, CORRIENTE

**Tabla 12**

Modelo lineal general: VOLTAJE ( $V_m$ ) vs. MATERIAL, CORRIENTE

	Tipo	Niveles	Valores
<b>MATERIAL</b>	fijo	2	COBRE, GRAFENO
<b>CORRIENTE</b>	fijo	3	120, 220, 440

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Tabla 13**

Análisis de varianza para VOLTAJE (Vm), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
<b>MATERIAL</b>	1	29	29	29	2.92	0.23
<b>CORRIENTE</b>	2	89496	89496	44748	4540.81	0
<b>Error</b>	2	20	20	10		
<b>Total</b>	5	89544				
S = 3.13920 R-cuad. = 99.98% R-cuad.(ajustado) = 99.94%						

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Tabla 14**

Resultados de varianza Voltaje

Término	Coef	Coef. de EE	T	P
<b>Constante</b>	245.21	1.282	191.33	0
<b>MATERIAL</b>				
<b>Cobre</b>	-2.19	1.282	-1.71	0.23
<b>CORRIENTE</b>				
120	-117.21	1.812	-64.67	0
220	-51.260	1.812	-28.28	0.001

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Tabla 15**

Medias de cuadrado mínimo para VOLTAJE (Vm)

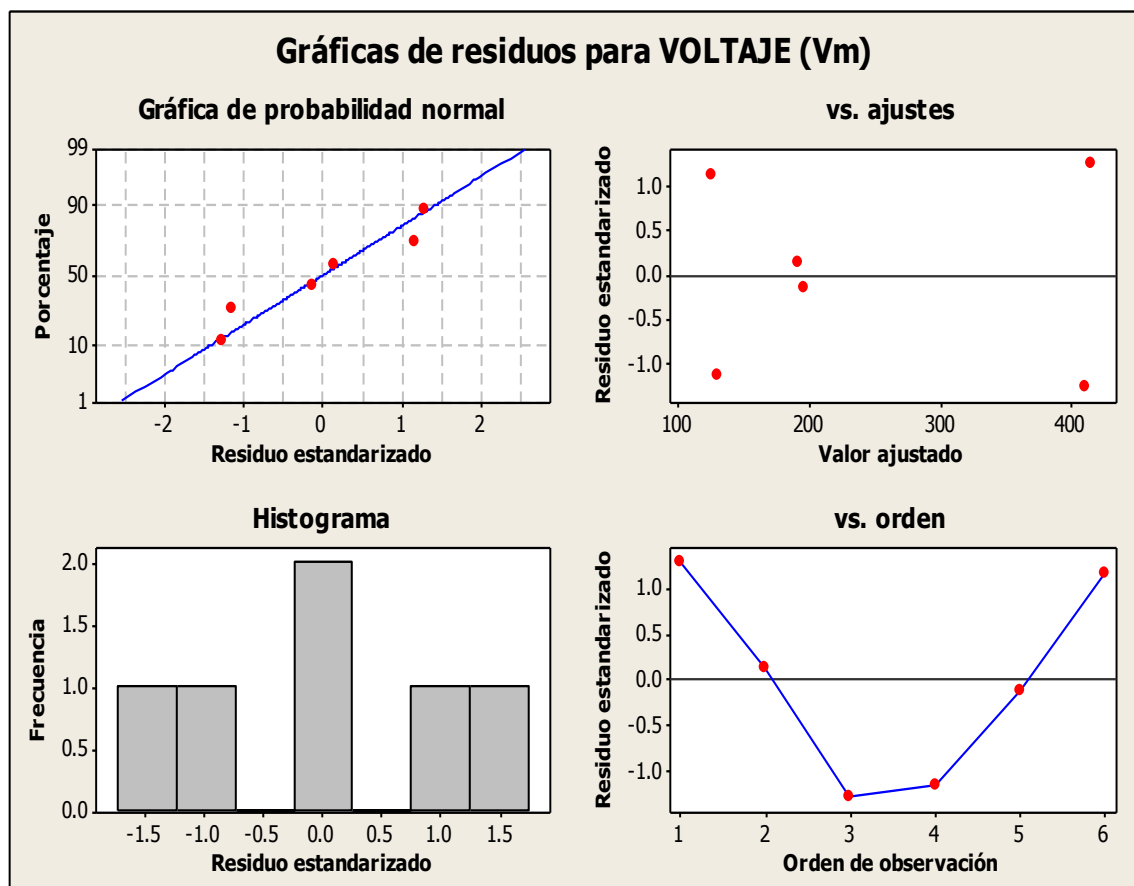
MATERIAL	Media	Media del Error standard
Cobre	243	1.812
Grafeno	247.4	1.812
<b>CORRIENTE</b>		
120	128	2.22
220	194	2.22
440	413.7	2.22

Fuente: Diseño Experimental

Elaborado por: Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Figure 10

Gráfica de Residuos de Voltaje (Vm).



Fuente: Diseño Experimental

Elaborado por: Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

#### 4.4.2. Modelo lineal general: PÉRDIDAS (Vc) vs. MATERIAL, CORRIENTE

**Tabla 16**

Análisis de varianza para PÉRDIDAS (Vc), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
<b>MATERIAL</b>	1	0.000087	0.000087	0.000087	4.78	0.16
<b>CORRIENTE</b>	2	0.0048321	0.0048321	0.0024161	132.72	0.007
<b>Error</b>	2	0.0000364	0.0000364	0.0000182		
<b>Total</b>	5	0.0049555				
S = 0.00426669 R-cuad. = 99.27% R-cuad.(ajustado) = 98.16%						

**Fuente:** Diseño Experimental**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015**Tabla 17**

Resultados de varianza para PÉRDIDAS

Término	Coef	Coef. de EE	T	P
<b>Constante</b>	0.029308	0.001742	16.83	0.004
<b>MATERIAL</b>				
<b>Cobre</b>	0.003808	0.001742	2.19	0.16
<b>CORRIENTE</b>				
120	0.040133	0.002463	16.29	0.004
220	-0.020315	0.002463	-8.25	0.014

**Fuente:** Diseño Experimental**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015**Tabla 18**

Medias de cuadrado mínimo para PÉRDIDAS (Vc)

<b>MATERIAL</b>	<b>Media</b>	<b>Media del Error standard</b>

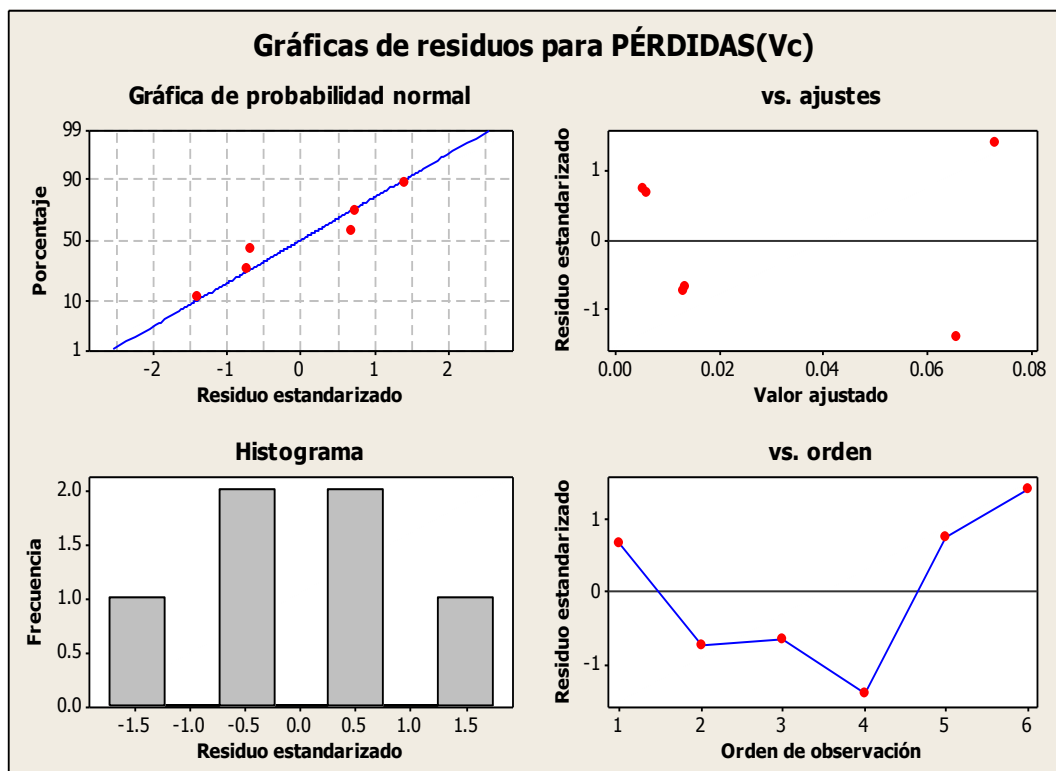
<b>Cobre</b>	0.033115	0.002463
<b>Grafeno</b>	0.0255	0.002463
<b>CORRIENTE</b>		
<b>120</b>	0.06944	0.003017
<b>220</b>	0.008992	0.003017
<b>440</b>	0.00949	0.003017

Fuente: Diseño Experimental

Elaborado por: Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Figure 11**

Gráfica de Residuos de Pérdidas (Vc).



Fuente: Diseño Experimental

Elaborado por: Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

A partir de los valores de los estadígrafos calculados podemos inferir que:

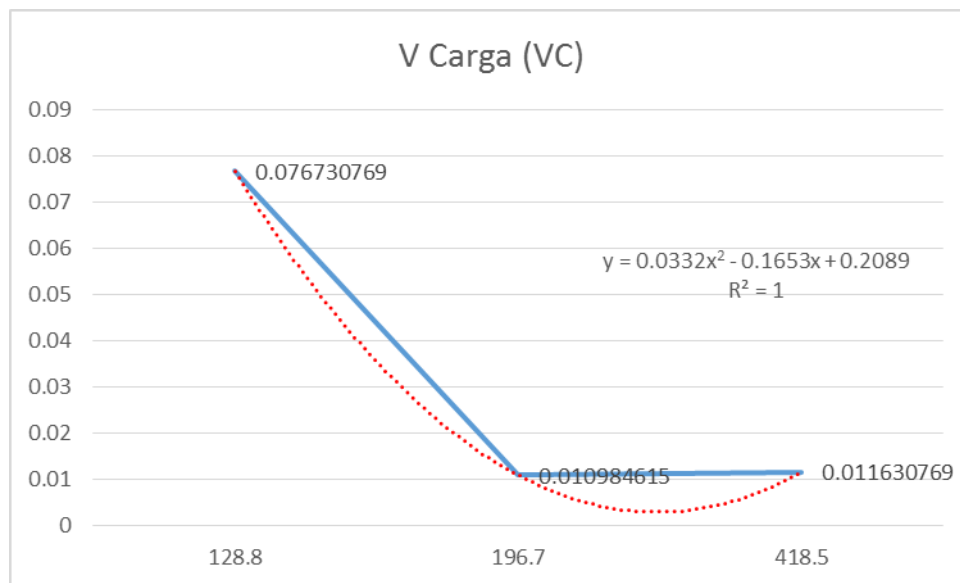


- Los datos reflejan evidencias suficientes que el tipo de material influye significativamente en el voltaje de salida, y las pérdidas de corriente.
- Los datos demuestran evidencias suficientes el tipo de material usado y los voltajes de corriente, considerados en el experimento, tienen efecto conjunto sobre el voltaje de salida y las pérdidas de corriente.

#### 4.5. Análisis de contraste de resultados:

A partir de las mediciones realizadas fueron graficados los valores de caída de voltaje y pérdidas para cada uno de los materiales utilizados.

**Figure 12**  
Gráfica de (Vc) para el Grafeno

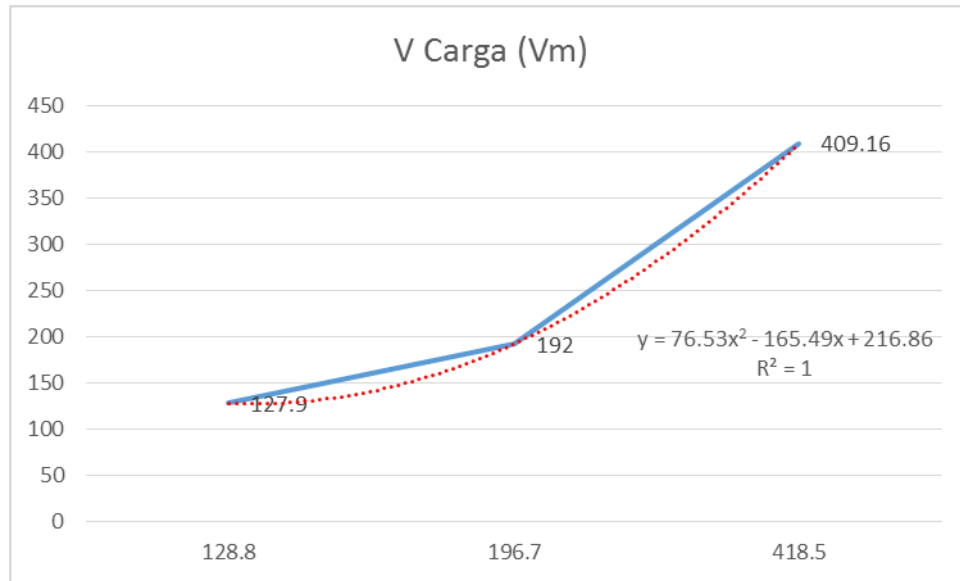


**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Figure 13**

Gráfica de (Vm) para el Grafeno

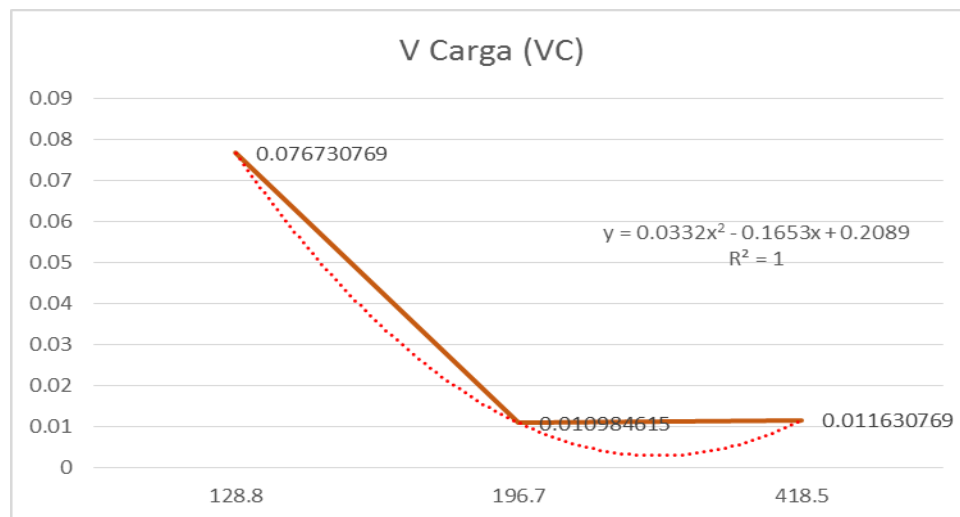


**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Figure 14:

Gráfica de (Vc) para el Cobre

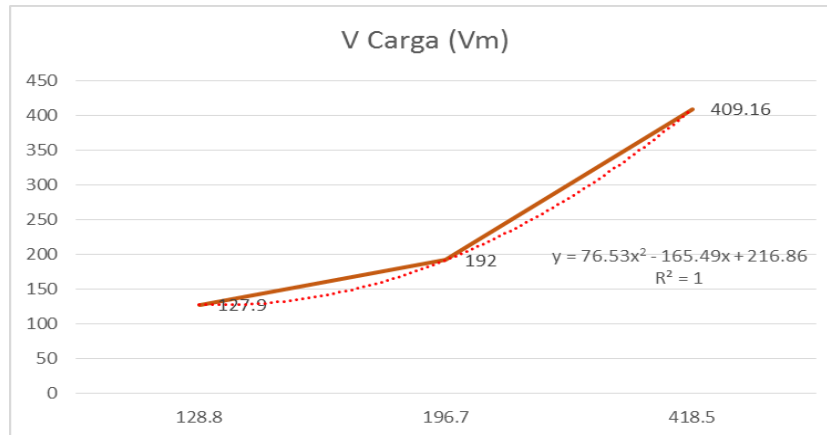


**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Figure 15

Gráfica de (Vm) para el Cobre



**Fuente:** Diseño Experimental

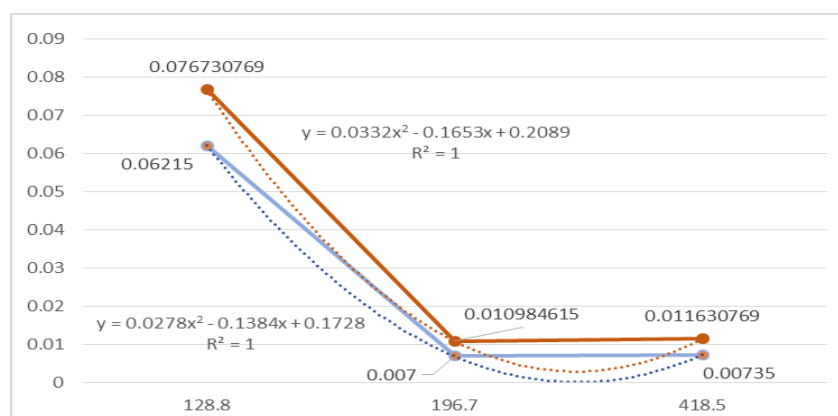
**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

En cada una de estas representaciones, se realizó un análisis de regresión para obtener las curvas de tendencia y ecuaciones correspondientes, las cuales fueron expresadas en polinomios de grado dos con un  $R^2 = 1$  en todos los casos.

De esta manera se visualiza claramente que el Grafeno posee mejores propiedades que el Cobre para la conducción de la corriente eléctrica, teniendo en cuenta que posee menos pérdidas y genera menor caída de voltaje.

**Figure 16**

Gráfica de Pérdidas de corriente para el Cobre Vs Grafeno

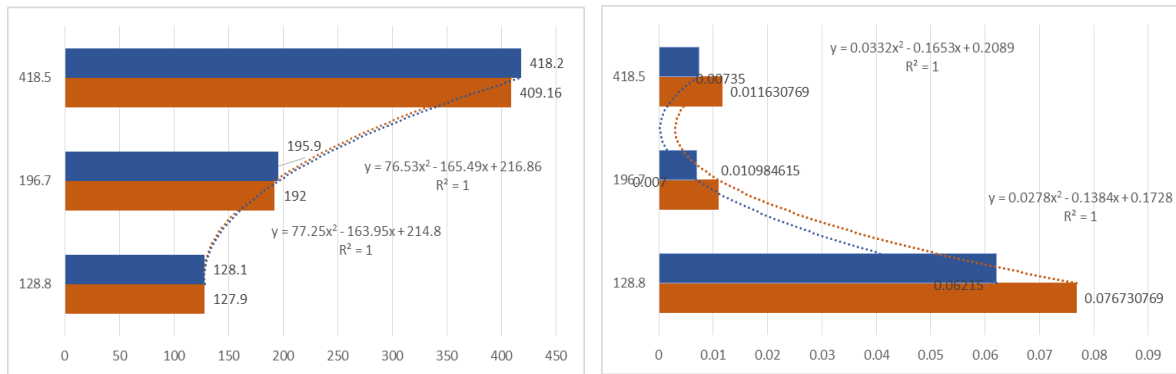


**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015.

**Figure 17**

Gráfica de Caída de Voltaje y Pérdidas de corriente para el Cobre Vs Grafeno.



**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

A partir de los resultados obtenidos se arriban a las conclusiones siguientes:

- El Grafeno posee mejor conductividad eléctrica que el Cobre.
- Los conductores de grafeno reducen considerablemente las caídas de voltaje en comparación con conductores de cobre.

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BAJA TENSIÓN**

#### **5.1. Introducción**

La reducción de pérdidas es fundamental para cualquier proyecto de investigación relacionado con la optimización del uso de la energía eléctrica. En el logro de la disminución de energía intervienen múltiples factores; analizar y estudiar la incidencia de todos los factores requiere de un trabajo más amplio y a la vez más específicos por áreas para las empresas de distribución. La aplicación de los resultados de los estudios a los subsistemas afectados por altas pérdidas, genera alternativas favorables para la optimización de la energía.

Con respecto a lo anterior al analizar las pérdidas en las empresas eléctricas, se establece que las pérdidas son producto de diferentes causas. Por lo tanto se muestran otros problemas relacionados y que con un adecuado análisis permite la precisión de las causas más esenciales para alcanzar las soluciones más efectivas y eficientes. La problemática de las pérdidas es para toda empresa eléctrica un motivo de estudio permanente, dado que existen pérdidas técnicas y no técnicas. Esta situación requiere de soluciones de fondo que ataquen las causas y no se queden en lo superficial.

A partir del estudio realizado se concretó que el objetivo general de la reducción de pérdidas es presentar alternativas de solución al problema del nivel de pérdidas técnicas en sistemas de distribución de energía eléctrica, considerando la factibilidad económica.

## 5.2. Criterios de la estabilidad energética del sistema

En todo sistema eléctrico se realizan transferencias de energía en un periodo de tiempo, tanto internas al mismo sistema como con otros sistemas eléctricos. En un sistema eléctrico el balance energético considera la energía disponible o entregada, la energía facturada o consumida y la energía de pérdidas de un periodo específico.

La energía de pérdidas está determinada por las pérdidas técnicas y no técnicas y se obtiene de la diferencia entre la energía disponible y la registrada. Las pérdidas técnicas se deben a fenómenos físicos en las redes primarias, en los transformadores de distribución, circuitos secundarios, acometidas, alumbrados públicos y medidores. En el caso del circuito del estudio experimental, los valores de pérdidas de energías tienen medidas pequeñas debido a que se estudió técnicamente las características del conductor, pues la alternativa de solución a las pérdidas estuvo enfocada en el material de conductor como principal causa técnica de pérdida de energía.

**Tabla 19**

Tabla comparativa de pérdidas de Energía

Voltaje de la Fuente (V)	Pérdidas de Energía (%)	
	Cobre	Grafeno
128.8	0.07673	0.06215
196.7	0.01098	0.007
418.5	0.011630	0.00735

**Fuente:** Diseño Experimental

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Revisando la tabla anterior se evidencia como el cobre genera más pérdidas de energía en la transmisión de energía a baja tensión que el grafeno. Los datos expuestos son resultados de la actividad experimental realizada.

## 5.3. Alternativa específica para la disminución de pérdidas por conductores de grafeno

Existen diversos estudios sobre alternativas de solución a la problemática de la pérdida de energía dirigido a las características del tipo de conductor para la transmisión de energía. En algunos casos se hace referencia al material para el recubrimiento de las líneas, en otros se ha estudiado el redimensionamiento del cable conductor, también se ha estudiado la longitud de los circuitos para la reducción de pérdidas, incluso se han realizado estudios sobre el material conductor, donde el cobre siempre imperó por sus características conductoras y lo económico de sus costos en el mercado.

El redimensionamiento de conductores ha sido estudiado con fuerza, esta alternativa consiste en el aumento del calibre del conductor de una línea de distribución, con el objetivo de conseguir una disminución en el costo de las pérdidas inherentes al flujo de potencia que la atraviesa. El costo del conductor que se va a instalar, sumado con el costo de la mano de obra requerida para la instalación, debe ser compensado por el beneficio producido con la disminución del costo asociado a las pérdidas de energía.

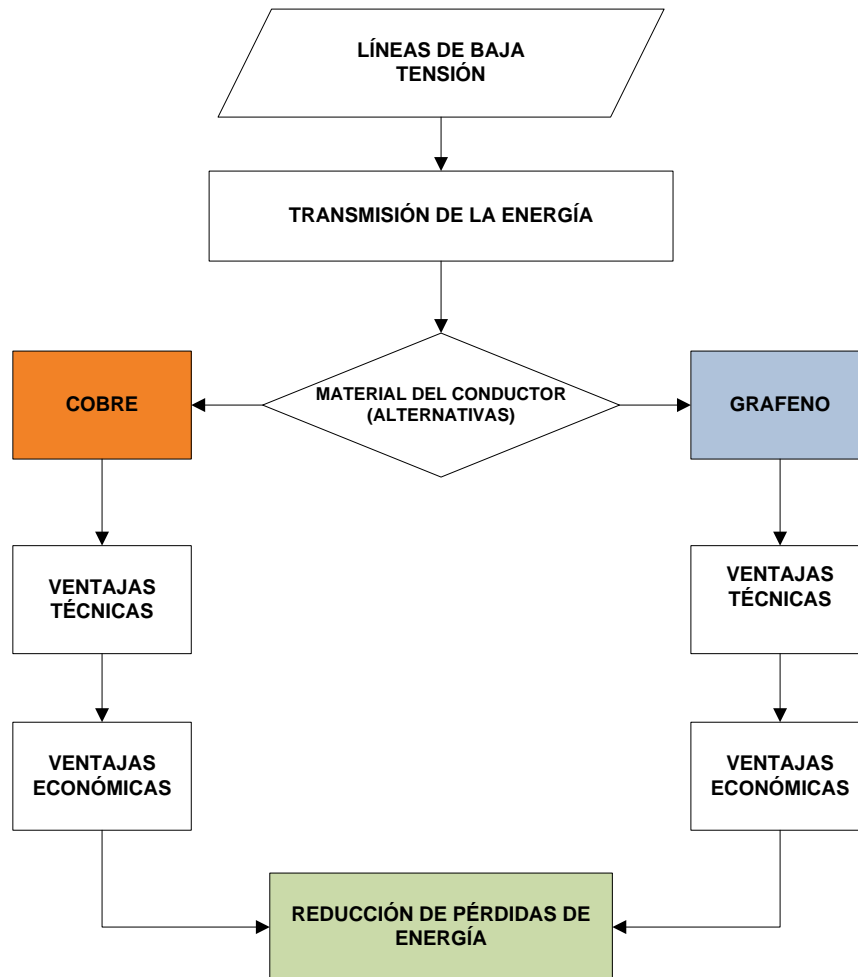
Es una alternativa aplicable para la reducción de las pérdidas de energía en un sistema de distribución, consiguiendo un ahorro en los costos de operación del sistema, no obstante existen otras alternativas de mayor factibilidad técnica y de costos considerablemente aceptables para los beneficios de la alternativa, como la incorporación del grafeno como material conductor para las líneas de transmisión, siempre que se mantengan el transformador en su ubicación.

Actualmente el grafeno puro como tal es de difícil fabricación no obstante si se fabrican en países como China, España, Alemania e Inglaterra; aleaciones de grafito que tienen excelentes propiedades conductoras de la corriente eléctrica garantizando la menor pérdida posible dentro de los circuitos eléctricos. En el capítulo II de la presente investigación se argumenta todas las ventajas técnicas de este material, el cual al ser novedoso en el mercado aún se desconocen la magnitud de los beneficios desde el punto de vista práctico, no obstante en la presente investigación se tuvo la oportunidad de verificar experimentalmente la factibilidad

técnica del conductor de grafeno para las líneas de baja tensión de la red secundaria.

**Figure 18**

Flujograma de la Alternativa



**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

#### 5.4. Factibilidad económica

Para la determinación de la factibilidad económica se tienen en cuenta dos factores económicos, los costos y los beneficios que genera la aplicación de la propuesta de implementación de los conductores de grafeno. Por lo tanto se valoran los beneficios por el indicador de reducción de caída de tensión y se establece el



criterio de costo beneficio en función de los aspectos que se muestran en la fórmula a continuación:

$$R_{B/c} = \frac{B}{C} = \frac{VNPI}{VNPe}$$

Dónde:

$R_{B/c}$  : Relación Costo – Beneficio

B: Beneficio

C: Costo

VNPI: Valor Neto Presente del Ingreso

VNPe: Valor Neto Presente de los Egresos (Inversión)

El análisis costo - beneficio corresponde en determinar el beneficio económico que tendría la reducción de los costos de pérdidas que se tiene por concepto de reducción de la caída de tensión. Es importante agregar que para la determinación de los beneficios financieros a partir de la reducción de las caídas de tensión no es perceptible para el nivel en que se realiza la investigación, no obstante es oportuno destacar que uno de los datos obtenidos en el estudio relacionado con el grafeno verifica que un conductor de grafeno de calibre 14, tiene las mismas características de resistencia que uno de cobre calibre 8, además de generar la una caída de tensión similar; por lo cual el valor referencial para establecer el cálculo del indicador financiero parte de los costos y las pérdidas de tensión que generan estos tipos de conductores.

**Tabla 20**

Tabla comparativa de Resistencias Cobre – Grafeno

<b>Cobre</b>					
<b>Calibre</b>	<b>Sección</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Longitud</b>	<b>Resistividad</b>	<b>Resistencia</b>
14	2,08	3,91	100	1,68E-08	8,0769E-07
12	2,31	4,33	100	1,68E-08	7,2727E-07
10	5,26	4,87	100	1,68E-08	6,1939E-07
8	8,34	6,3	100	1,68E-08	5,0144E-07
<b>Grafeno</b>					
<b>Calibre</b>	<b>Sección</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Longitud</b>	<b>Resistividad</b>	<b>Resistencia</b>
14	2,08	3,91	100	1,04E-08	5,00E-07
12	2,31	4,33	100	1,04E-08	4,5022E-07
10	5,26	4,87	100	1,04E-08	1,9772E-07

**Fuente:** Diseño Experimental**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015**5.4.1. Costos de los conductores**

A continuación se muestra una tabla que indica los valores de los costos de los conductores de grafeno y el cobre. En el caso del grafeno los costos incluyen las tasas arancelarias de importación para el tipo de material según la Ley orgánica de aduanas del Ecuador (2008).

**Tabla 21**

Conductores de Cobre

<b>Conductores de Cobre</b>			
<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Calibre</b>	<b>Largo(m)</b>	<b>Precio(\$)</b>
3,91	14	100	27.80
4,33	12	100	39.40
4,87	10	100	67.30
6,3	8	100	132.00

**Fuente:** Proelec Santo Domingo**Elaborado:** Miguel Obando**Tabla 22**

## Conductores de Grafeno

Conductores de Grafeno			
Diámetro (mm)	Calibre	Largo(m)	Precio(\$)
2,08	14	100	119.00
2,31	12	100	168.00
5,26	10	100	237.15

**Fuente:** www.graphenano.com

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

**Tabla 23**

Costos Comparativos de Conductores de Cobre y Grafeno

Costos Comparativos		
	Cobre	Grafeno
Resistencia Conductor	5,0144E-07	5,00E-07
Calibre Conductor	8	14
Costos (\$)	132.00	119.00
Variación de Costos (\$)	<b>13.00</b>	

**Fuente:** Investigación de Campo

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Al respecto de los cálculos realizados se puede constatar que en 100m de conductor de grafeno, que sea utilizado para circuitos de baja tensión bajo las condiciones antes expuestas en las tablas, existe una ganancia de 0.13usd por metros de conductor eléctrico lo que significa un ahorro de 9.84% en la implementación de los conductores de grafeno.

#### 5.4.2. Análisis de los beneficios

Para el análisis de los beneficios se realiza un comparativo de los gastos necesarios para caída de tensión similares como ocurre con los conductores calibre 8 para el cobre y calibre 14 para el grafeno. Según el estudio es conocido que mientras menor sea la caída de tensión menor son los gastos que se generan, lo que implica mayores ingresos según la relación costo beneficio; como no se puede determinar

financieramente los valores de ingresos, se parte de la comparación por concepto de costos a partir de caídas de tensión similares como referencial de los beneficios.

**Tabla 24**  
Beneficios Comparativos

<b>Beneficios Comparativos</b>		
	<b>Cobre</b>	<b>Grafeno</b>
Caída de Tensión (%)	0,0000118	0,0000125
Calibre Conductor	8	14
Costos (\$)	132.00	119.00
Indicador de Costo/Beneficio	8,90E-08	1,05E-07

**Fuente:** Investigación de Campo

**Elaborado por:** Miguel Alejandro Obando Mejía /2015

Como se puede observar el indicador de costo beneficio del conductor de grafeno es superior al de conductor de cobre ( $1,05E-07 < 8,90E-08$ ), lo cual para el estudio realizado es favorable. Una de limitaciones del estudio es poder representar el indicador de costo beneficio en cantidades financieras.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se pudo constatar que el grafeno como material conductor eléctrico tiene características muy interesantes y satisfactorias para los servicios eléctricos, sus propiedades físicas y electrónicas, lo hace un material de estudio para optimizar procesos eléctricos en distribuciones y dispositivos eléctricos.
- Se puede concluir que desde el punto de vista teórico, existen diversas investigaciones doctorales que sustentan las potenciales propiedades físicas del grafeno para conducir la corriente eléctrica, incluso se verificó como la baja resistividad de los conductores de grafeno facilita la transmisión de energía eléctrica y contribuye en la reducción de la caída de tensión.
- Se concluyó y se comprobó a través de un diseño experimental desarrollado en los laboratorios de máquinas eléctricas de la UTE sede Santo Domingo como la conductividad de los conductores de grafeno es factible para conducir la corriente eléctrica y como tiene menor resistividad que los conductores de cobre, además de reducir significativamente las pérdidas de energía eléctrica, lo cual sustenta técnicamente la alternativa propuesta.
- Se concluyó que el grafeno como material conductor es factible desde el punto de vista técnico y económico para la transmisión de energía eléctrica a baja tensión. Al compararlo con el cobre se pudo observar su superioridad técnica generando menores pérdidas de energía eléctrica.

## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda ampliar el estudio del grafeno y sus propiedades físicas para aplicaciones dispositivos electrónicos, de forma tal que se desarrollen las habilidades y destrezas investigativas en los estudiantes de la carrera de Electromecánica.
- Se sugiere la ejecución de un estudio sistemático de la reducción y control de las pérdidas técnicas y no técnicas, enfocado en las características esenciales de las distribuciones de energía eléctrica de forma tal que se garantice ventajas económicas.
- Se recomienda hacer talleres de investigación asociados a los métodos y diseños experimentales que permitan la profundización de los estudios de reducción de pérdidas, resaltando los beneficios que este conlleva, y los obstáculos que pueden surgir en la reducción de pérdidas.
- Se sugiere continuar el estudio de los conductores de grafeno en las líneas de altas tensión para la distribución de energía eléctrica, considerando también el estudio del grafeno en la fabricación de transformadores eléctricos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BERNAL, Cesar (2010), Metodología de la Investigación en administración, economía, humanidades y ciencias sociales, Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, Colombia
2. CORTIJO A., Propiedades físicas del grafeno en presencia de desorden Topológico, Tesis Doctoral, 2007, España.
3. CORTIJO A. y M. A. H. Vozmediano. Electronic properties of curved graphene sheets, Europhys. Lett. 77 (2007) 47002.
4. COLECTIVO DE AUTORES. Código Eléctrico Nacional. 2010. Quito Ecuador.
5. EEARCN S.A.; Determinación de pérdidas técnicas en el Sistema de
6. Distribución de la EEARCN. Ambato 2000
7. EEARCN S.A. Sistema Comercial (SISCOM), Base de datos del Departamento de Comercialización de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., Datos 2005 – 2006.
8. EEARCN S.A. Sistema Integrado de Distribución (SID), Base de datos del
9. Departamento de Planificación de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., Datos 2006
10. EEARCN S.A. Sistema de Diseño Eléctrico (SISDE), Base de datos de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., Presupuestos 2007
11. FARINA A. Cables y conductores eléctricos. Ed. Cúspide. 2011. Argentina
12. GEIM, A. K. y K. S. Novoselov. The rise of graphene, Nature materials (UK); 2007, Vol.6, pp 183-191

13. GÓMEZ, C., *Proyectos Factibles*. Editorial Predios. Valencia. 2000
14. GRANADA Mauricio, ESCOBAR Antonio y GALLEGO Ramón, “Reducción de pérdidas técnicas usando medidas correctivas por etapas”, Colombia, Noviembre 2005.
15. MEYER, Geim, Novoselov y otros, 2007. The structure of suspended graphene sheets. *Nature* 446, 60-63 (1 March 2007)
16. MOROSOV, Novoselov y otros. Strong Suppression of Weak Localization in Graphene. *Phys. Rev. Lett.* 97, 016801 – Published 5 July 2006
17. NOVOSELOV, K. S., D. Jiang et al. Two dimensional atomic crystals, *PNAS* (United Kingdom y Rusia), 2005, Vol. 102, num 30, pp 10451-10453.
18. OLADE, *Manual Latinoamericano y del Caribe para el Control de Pérdidas Eléctricas Volumen I*, Diciembre 1993
19. RIOFRÍO CARLOS, *Apuntes de Distribución Eléctrica*, Facultad de Ingeniería Eléctrica, EPN, Quito 2004
20. SABINO C. *El proceso de investigación*. Panapo, Caracas, 1992.
21. SCHEAFFER, R., MENDENHALL, W., Y OTT, L., “*Elementos de Muestreo*”, Grupo Editorial Iberoamérica, 1987
22. SERWAY R. y Beichner R. , *Física para ciencias e ingeniería (tomo 2)* 5ª edición McGraw-Hill / interamericana de México, 2002
23. SEMINARIO de Distribución y Comercialización de Empresas Distribuidoras de Energía Eléctrica, “Propuesta para reducción de pérdidas técnicas y no técnicas en líneas de distribución aéreas”, Loja Enero 2004.



24. POVEDA MENTOR, "Planificación de Sistemas de Distribución", Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Quito 1987.
25. POVEDA MENTOR, Mentor, "A New Method to Calculate Power Distribution Losses in an Environment of High Unregistered Loads", Paper publicado en IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, New Orleans, Abril, 1999.
26. TARRAGA LASSO, David, *Instalaciones eléctricas de interiores*, España, Ed. Ceangage learning, 2004,

### Linkografía

27. <http://www.energia.gob.ec/propuesta-de-ordenanza-inconstitucional/>
28. <http://www.graphenano.com/>
29. [http://ce.azc.uam.mx/profesores/akb/akb\\_files/Proyectos/EfectoHall/Historia/historia.swf](http://ce.azc.uam.mx/profesores/akb/akb_files/Proyectos/EfectoHall/Historia/historia.swf)
30. <http://astrojem.com/teorias/fermiones.html>
31. [http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/182/monografia\\_sopt\\_12.pdf](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/182/monografia_sopt_12.pdf)
32. <http://www.satinfo.es/blog/2010>
33. <http://www.nanotech-now.com/>.
34. <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/965-grafeno-iel-inminente-impacto-sobre-nuestra-vida-cotidiana>
35. <http://elementos.org.es/cobre>
36. <http://www.ceplan.gob.pe/sites/default/files/grafeno.pdf>
37. <http://www.graphenano.com/>
38. <http://www.energia.gob.ec/propuesta-de-ordenanza-inconstitucional/>
39. <http://www.iie.org.mx/boletin032004/art.pdf>

**ANEXOS**

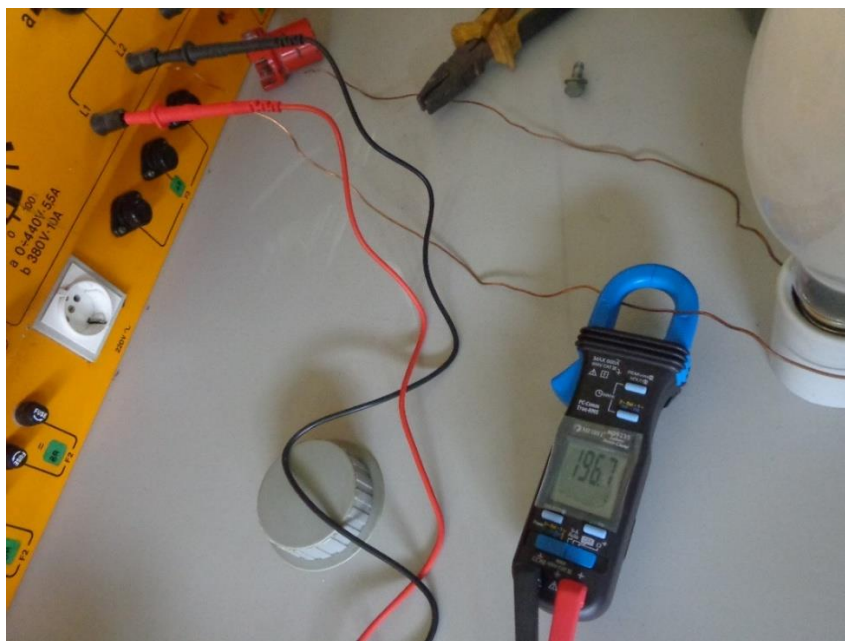
## ANEXOS

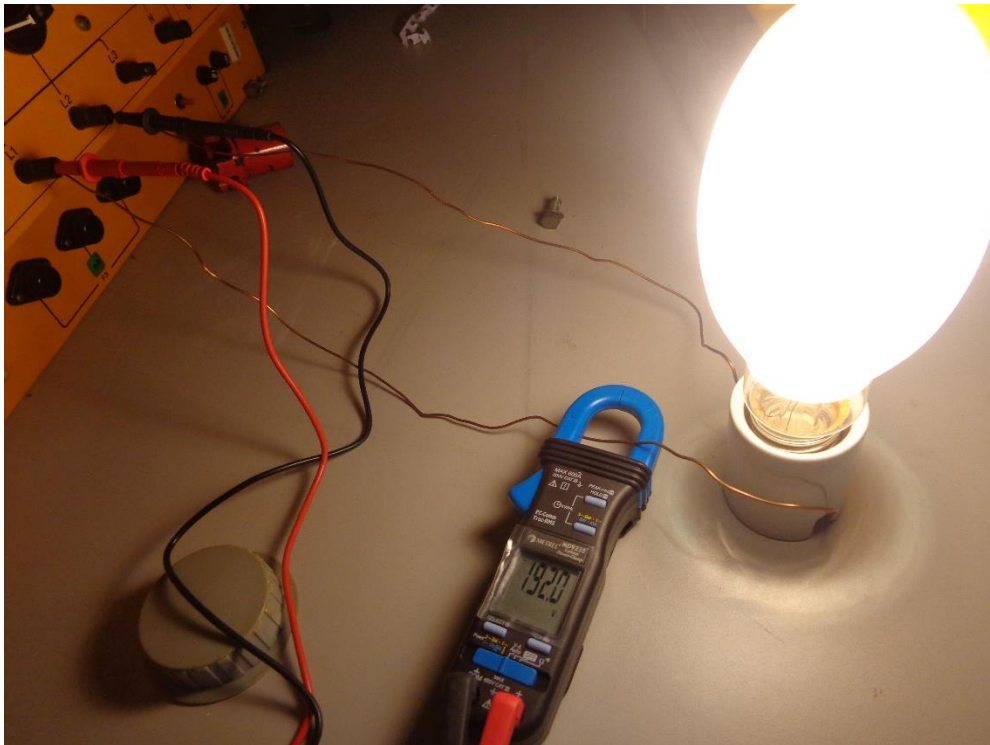
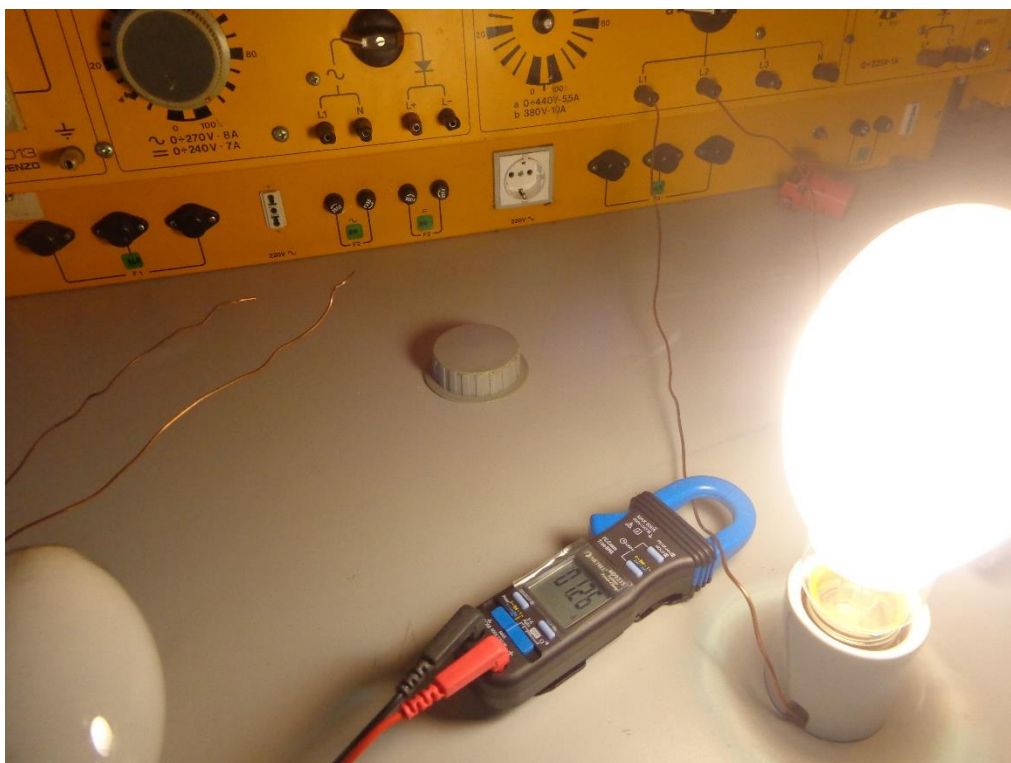
### Anexos 1 Aplicación del Experimento “Nivel de voltaje 220V”

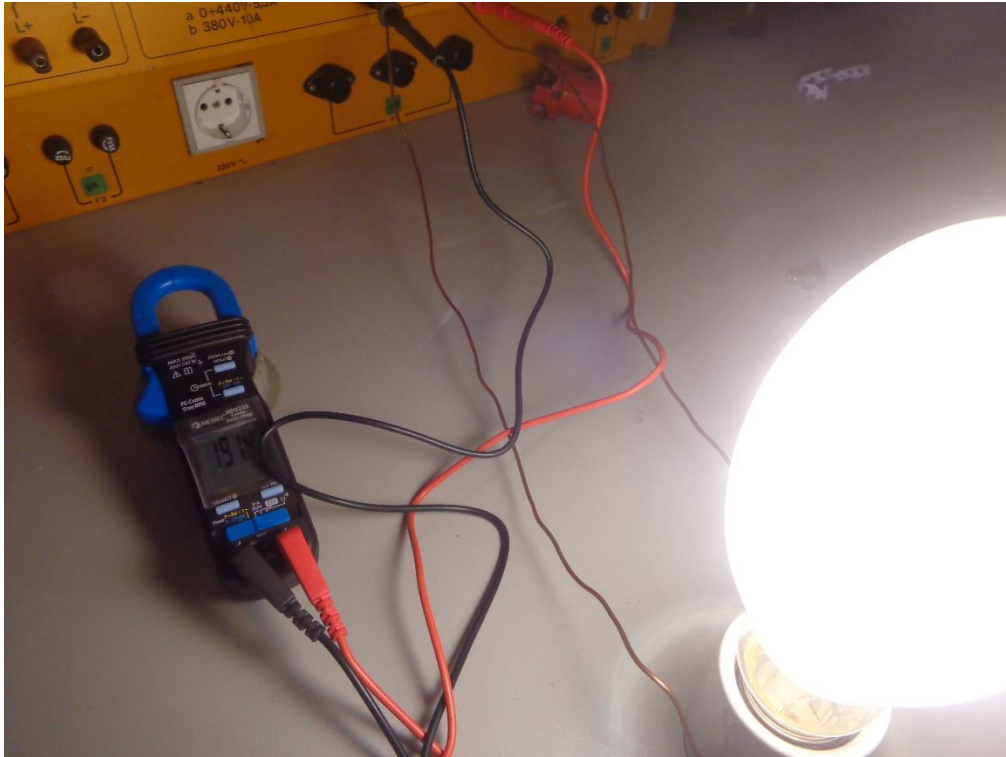
Cable de cobre con Grafeno Vs Cables de cobre



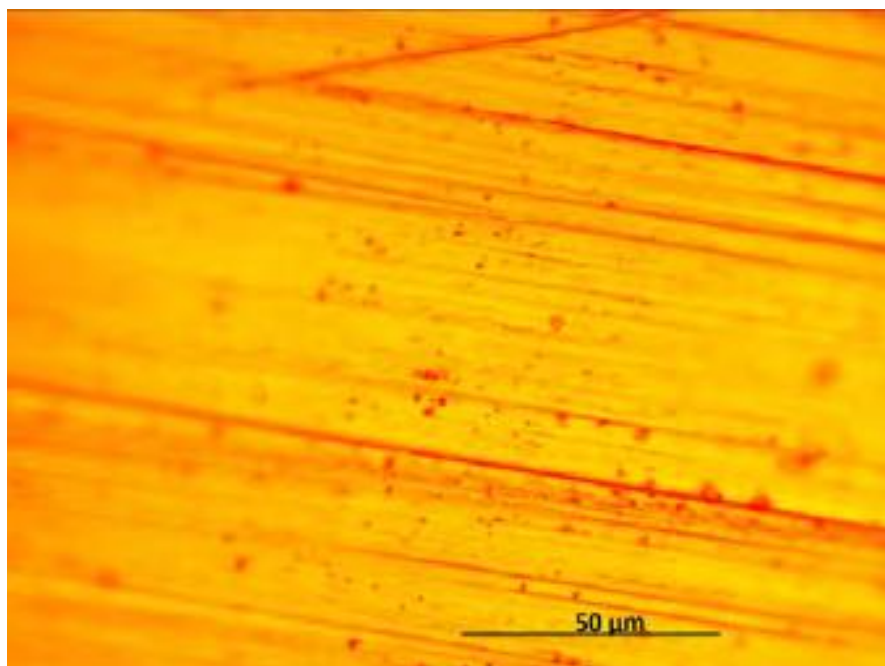
### Anexos 2 Medición de Voltaje de la Fuente “Nivel de voltaje 220V”



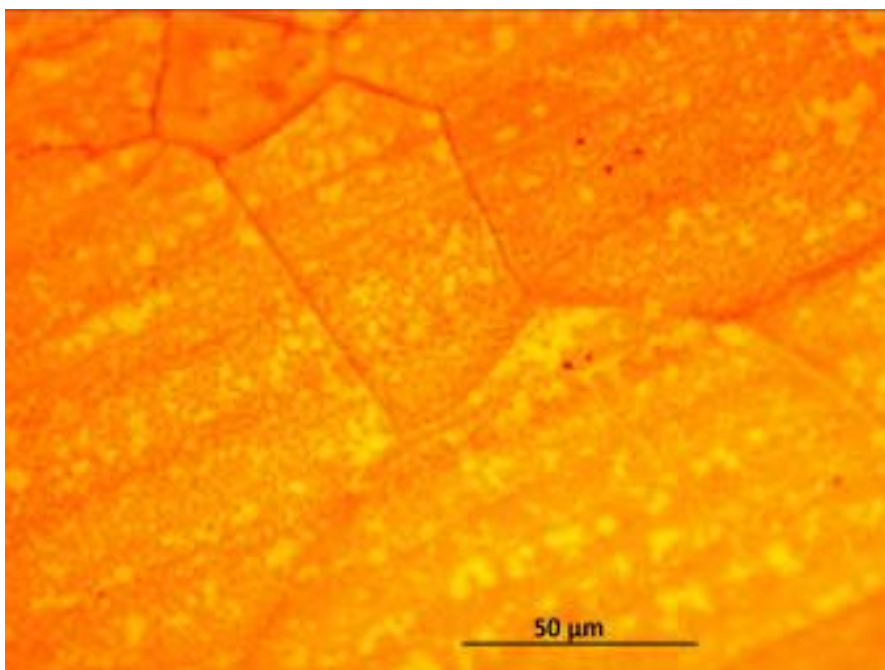
**Anexos 3** Caída de voltaje de cable de cobre con grafeno “Nivel de voltaje 220V”**Anexos 4** Corriente del conductor de cobre con grafeno “Nivel de voltaje 220V”

**Anexos 5** Caída de voltaje de cable de cobre “Nivel de voltaje 220V”**Anexos 6** Corriente del conductor de cobre “Nivel de voltaje 220V”

**Anexos 7** Conductor de cobre vista microscopio



**Anexos 8** Conductor de grafeno vista microscopio



## Anexos 9 Características técnicas del fabricante de cables de cobre con grafeno Empresa LUCAS LED “España”

### Technical Characteristics

#### Product Description

↪ Quality Control	Optical Microscopy, RAMAN
↪ Specific Surface Area	>2.675 m <sup>2</sup> /g
↪ Thermal Conductivity	-3.000 W/mk
↪ Speed electron movility (298.15k)	15.000 cm <sup>2</sup> /Vs
↪ Mechanical stress	1.060 GPa
↪ Density	2.2 g/cm <sup>3</sup>
↪ Appearance (color)	Transparent
↪ Transparency	>97%
↪ Appearance (form)	Wire
↪ Theoretical thickness	0,345 nm
↪ FET (Field-effect transistor) mobility on Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.800 cm <sup>2</sup> /Vs
↪ Hall Mobility on SiO <sub>2</sub>	3500 cm <sup>2</sup> /Vs
↪ Hall Effect	Anomolous
↪ Grain Size	>10 μm
↪ Bandgag	Precisely Controlled From 0 to 250 meV
↪ Sheet Resistance:	≈30Ω/sq (optical transmittance 90%)
	≈125Ω/sq (optical transmittance 97,7%)
	≈170Ω/sq (optical transmittance 99%)

- ↪ Outstanding thermal conductivity (up to -5.300Wm-1K-1).
- ↪ Ultra-high Young's modulus (approximately 1.000 GPa) and high strength (-100 GPa estimated)
- ↪ Exceptional in-plane electrical conductivity (up to -20.0 S/cm).
- ↪ Extraordinarily high specific surface area ( up to -2.675 m2/g).
- ↪ Low density (2.25 g/cm2).
- ↪ Outstanding resistance to gas permeation
- ↪ Surface can be easily functionalized
- ↪ Dispersible in many polymers and common solvents
- ↪ High loading in nanocomposites