

**TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO
CAMPUS: TUXTLA GUTIERREZ**

**“CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE UNA DINAMO DE DISCO Y DE
UN GENERADOR LINEAL DE METAL LÍQUIDO FACTIBLES DE
ACOPLARSE A UN CONVERTIDOR DE ENERGÍA OCEÁNICA”**

R E S I D E N C I A P R O F E S I O N A L

LUGAR DE RESIDENCIA:

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGÍA
AVANZADA, QUERÉTARO**



ASESOR INTERNO: ING. CEIN TECO LOPEZ

ASESOR EXTERNO: DR. RAUL ALEJANDRO AVALOS ZUÑIGA

PRESENTA:

IRAK KHARIM COTOC GODOY

No. CONTROL: C15510383

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Diciembre de 2019

CARTA DE ACEPTACIÓN



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

CICATA
Unidad Querétaro

Folio
CQ/UPIS/0231/2019

Asunto
ACEPTACIÓN: Residencia
Profesional

"2019, Año del Castillo del Sr. Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Esteban Ramírez Ruiz"
60 años de XEPN Canal Ocas, orgulloosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Querétaro, Qro., 04 de septiembre de 2019

C. SAMUEL ENCISO SÁENZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ,
P R E S E N T E

Por este conducto comunico a usted que el **C. Irak Kharim Cotoc Godoy** con número de matrícula **15510383** del **9º semestre** de la carrera de **Ingeniería Eléctrica** del **Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez** ha sido aceptado para realizar su **Residencia Profesional** en este Centro de Investigación del Instituto Politécnico Nacional.

El alumno colaborará en el proyecto titulado: **"Caracterización Eléctrica de un Dinamo de Disco y de un Generador Lineal de Metal Líquido, Factibles para Acoplarse a un Convertidor de Energía Oceánica"**, cubriendo un total de **500 Horas**, durante el periodo del **02 de agosto** al **16 de diciembre** de 2019, en el **Laboratorio de Aprovechamiento de Energía**, teniendo como Director al **Dr. Raúl Alejandro Avalos Zúñiga**, Profesor Investigador de este centro.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"La Técnica al Servicio de la Patria"

M. EN C. JUAN JOSÉ RODRÍGUEZ PEÑA
SUBDIRECTOR DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
CIENCIA APLICADA
Y TECNOLOGÍA AVANZADA
UNIDAD QUERÉTARO
SUBDIRECCIÓN DE
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

c.c.p. Dr. Raúl Alejandro Avalos Zúñiga, Profesor Investigador
AALG/JJRP/ERO/ash



Centro de Investigación de en Ciencias Aplicadas y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro
Cerro Blanco No. 181, Col. Colinas del Cuicatlan, C.P. 76090, Querétaro, Qro.
Querétaro Tel: 766 5724800 • 7667 229604 ext. 81001 www.cimatqro.ipn.mx



2019
EMILIANO ZAPATA

CARTA DE TERMINACIÓN



CICATA
Unidad Querétaro

Folio
CQ/UPIS/0300/2019

"2019 Año del Cañillo del Sur: Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Emiliano Ramírez Ruiz"
60 años de XEPN Canal Once, orgulloosamente polifónico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Asunto
Culminación: **Residencia Profesional**

Querétaro, Qro., 16 de diciembre de 2019

Dr. Manuel Enciso Sáenz.
Jefe del Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación
del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
P R E S E N T E

Por este conducto comunico a usted que el C. Irak Kharim Cotoc Godoy con número de matrícula 15510383 del 9º semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ha concluido su Residencia Profesional en este Centro de Investigación del Instituto Politécnico Nacional.

El alumno colaboró en el proyecto titulado: "Caracterización Eléctrica de un Dinamo de Disco y de un Generador Lineal de Metal Líquido, Factibles para Acoplarse a un Convertidor de Energía Oceánica", cubriendo un total de 500 Horas, durante el periodo del 02 de agosto al 16 de diciembre de 2019, en el Laboratorio de Aprovechamiento de Energía, teniendo como Director al Dr. Raúl Alejandro Avalos Zúñiga, Profesor Investigador de este centro.

Se extiende la presente para los fines que al interesado convengan en la Ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro a los dieciséis días del mes de diciembre de dos mil diecinueve.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"La Técnica al Servicio de la Patria"

M. en C. Juan José Rodríguez Peña
Subdirector de Innovación Tecnológica
CIENCIA APLICADA
Y TECNOLOGÍA AVANZADA
UNIDAD QUERÉTARO
SUBDIRECCIÓN DE
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



c.c.p. Dr. Raúl Alejandro Avalos Zúñiga, Profesor Investigador
AALG/JJRP/ENG/aad

Unidad de Planeación y Residencia Profesional del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Carretera a Tuxtla, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C.P. 60900
Teléfono: (961) 2711111 y 2711112 Fax: (961) 2711113 Correo electrónico: upr@itgt.mx



2019
EMILIANO ZAPATA

ACTA DE CALIFICACIONES



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Departamento de Servicios Escolares

"2020, Año de Leona Vicario, Benemerita Madre de la Patria"

ACTA DE CALIFICACIONES

DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
MATERIA: RESIDENCIA
PROFESOR: TECO LOPEZ CEIN
PERIODO: AGO-DIC/2019

FOLIO: 27190012-R
CLAVE: RESIDIE
GRUPO: E9B
ALUMNOS: 1

No.	No. CONTROL	NOMBRE DEL ALUMNO	CARRERA	REP.	ORD.	REG.	EXT.
1	C15510383	COTOC GODOY IRAK KHARIM			97	-	-



Este documento no es válido si tiene tachaduras o enmendaduras
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a 10 de Enero del 2020

Firma del Profesor:

Índice

1.	Introducción.....	7
1.1	Antecedentes	7
1.2	Estado del arte	7
1.3	Objetivos	9
	General.....	9
	Específico	9
1.4	Metodología; diagrama a bloques	9
1.4.1	Conexión, control y funcionamiento de la dinamo.	9
1.4.2	Adquisición y almacenamiento de datos en tiempo real de RPM.....	10
1.4.3	Cálculo y realización de bobina, con 11 gauss en el centro	11
1.4.4	Funcionamiento y operación de la bobina	12
1.4.5	Medición y adquisición de datos de voltaje, corriente y $\cos \phi$ para calcular la potencia activa del motor trifásico de la dinamo	13
1.5	Justificación	14
1.5.1	RPM con Arduino	14
1.5.2	Calculo y realización de bobina.....	14
1.5.3	Conmutador de polaridad magnética	14
1.5.4	Potencia activa del motor trifásico que alimenta de energía cinética rotatoria, a la dinamo.....	15
2.	Fundamento teórico	15
2.1	Ley de Ohm	15
2.2	Ley de inducción de Faraday.....	16
2.3	Ley de Lenz.....	17
2.1	Corrientes de Foucault	17
2.2	Triangulo de potencias	18
2.2.1	Potencia Activa.....	18
2.2.2	Potencia aparente	19
2.2.3	Potencia Reactiva	20
2.2.4	Ley de Biot-Savart	20
3.	Desarrollo	22
3.1	Circuitos realizados.....	22
3.1.1	Conmutador de polos para la bobina de la dinamo.....	22
3.2	Programas realizados.....	23
3.2.1	Adquisición y archivo de datos de RPM en tiempo real	23
3.2.2	Calculo de Bobina con campo magnético de 11 gauss, para experimentación con el DYNAMO.....	25
3.3	Pruebas, correcciones y validación	32
3.3.1	Calculo de resistencia de los electrodos de carga del generador lineal	32

3.3.2	Pruebas en el generador lineal	34
3.3.3	Mediciones de campo magnético en la bobina realizada	35
3.3.4	Medición de campo magnético	37
3.3.5	Medición de diferencia de potencial en la bobina de la dinamo	38
3.3.6	Diseño y realización de conmutador de polaridad para la bobina de 11 Gauss	39
3.3.7	Características de amperímetro de gancho trifásico UT-243 (Tab.3.3.7.0)	41
3.3.9	Mediciones de voltaje, corriente y $\text{Cos } \phi$ en un motor trifásico de prueba, con amperímetro de gancho UT-243	42
3.3.10	Mediciones de voltaje, corriente y $\text{Cos } \phi$ en el motor trifásico del sistema de la dinamo	46
4.	Conclusiones.....	48
5.	Referencias Bibliográficas	48

1. Introducción

La caracterización eléctrica en la trayectoria de la investigación nos ha ayudado a entender varios fenómenos físicos en el que la energía eléctrica actúa, funciona y se transforma. Este proyecto de investigación trabaja con campos magnéticos, usando el campo magnético de la tierra como campo inicial de auto-excitación, este campo se amplifica en el disco de la dinamo. Con la rotación se genera inducción en el disco estático del sistema, generando corrientes y una diferencia de voltaje en él. Recordando la ley de la conservación de la energía; todas estas corrientes y el diferencial de potencial que se obtiene en la dinamo, son generadas por una energía cinética rotatoria inicial inyectada por el motor trifásico. Se obtendrá la energía eléctrica consumida por el sistema, es decir caracterizar eléctricamente el consumo del motor trifásico que alimenta de energía cinética rotatoria. En la trayectoria de trabajo con el proyecto, se desarrollara una bobina la cual interactuara con los campos de auto-excitación.

1.1 Antecedentes

Las condiciones bajo las cuales un dispositivo de dinamo de disco puede funcionar como un dinamo excitante, se discuten sobre a su realización en el laboratorio; debido a que el radio y la velocidad de rotación del disco tiene que ser bastantes grandes. Se realizó una estimación sobre la estabilidad mecánica del disco giratorio y la resistencia eléctrica y partes relevantes del dispositivo, demuestra que mientras no se utilice material magnetizable, podría ser posible una dinamo auto-excitadora. Por la rotación del disco, se crea una diferencia de potencial eléctrico entre el borde y el eje, conduciendo una corriente eléctrica a través de la bobina, a su vez produciendo un campo magnético, este campo amplifica el original. Un campo magnético inicial puede amplificarse o mantenerse sin alguna causa externa, de lo contrario conducirá un campo magnético, funcionando como una dinamo de auto-excitación.

1.2 Estado del arte

En *Astrophysical Institute Potsdam, Germany (2002)*. K.-H Raedler, M. Rheinhardt; consideraron un disco metálico conectado rígidamente con un eje metálico, girando en presencia de un campo magnético alrededor de este eje. Dos contactos deslizantes (cepillos) que no se mueven, uno en el borde del disco y el otro en el eje que se encuentran conectados eléctricamente por un cable que se enrolla para formar una bobina. Se estimó que la velocidad en el borde del disco, puede llegar a 150 ms^{-1} ; se consideró posible, minimizar la resistencia eléctrica de la corriente a través del eje, el disco y los contactos deslizantes para que tome un valor de solo unos $10^{-3} \Omega$. Demostrando así que una dinamo solo puede funcionar si el radio del disco excede 0.6m.

En *Applied Mathematics Research Centre-United Kingdom & CICATA-QRO* J. Pride & R. A. Avalos-Zúñiga realizaron un diseño de una dinamo homopolar factible, consiste en una espiral plana con varios brazos, colocando este espiral sobre un anillo de metal con giro rápido, conectando este con contactos eléctricos deslizantes de metal líquido. Usando el modelo del eje simétrico simple, analíticamente determinaron el diseño óptimo para dicha configuración. Para una resistencia de contacto pequeña, el número de Reynolds magnético más bajo, $R_m \approx 34.6$ en el que puede funcionar la dinamo, obteniéndose de la relación óptima de los radios exterior e interior de los anillos $R_i / R_o \approx 0.36$ y el ángulo de inclinación en espiral 54.7° . En una configuración de dos anillos de cobre con un grosor de 3cm, se espera la auto-excitación del campo magnético a una frecuencia de rotación crítica de alrededor de 10Hz.

En *CICATA-QUERÉTARO* R. A. Avalos-Zúñiga, J. Priede, C. E. Bello Morales presentan resultados experimentales de una dinamo de disco homopolar, construida en CICATA-Querétaro en México. Este dispositivo consiste en una bobina espiral plana de varios brazos colocándola en un disco de metal de giro rápido, conectando este último con contactos eléctricos deslizantes de metal líquido. Teóricamente se espera la auto-excitación del campo magnético en el número de Reynolds magnético $R_m \approx 45$, que corresponde a una velocidad de rotación crítica de aproximadamente 10Hz. Midieron el campo magnético sobre el disco y la caída de voltaje en la bobina para la velocidad de rotación de hasta 14Hz, en la cual el metal líquido comenzó a gotear desde el contacto deslizante externo. Detectaron en lugar del campo magnético constante predicho por la teoría, un campo magnético fuertemente fluctuante con una fuerza comparable a la del campo magnético de la tierra, que fue acompañado por fluctuaciones de voltaje similares en la bobina. Estas fluctuaciones parecen ser causadas por el contacto eléctrico intermitente a través del metal líquido. Los resultados experimentales sugieren que la dinamo con la resistencia eléctrica real de los contactos de metal líquido podría excitarse a una velocidad de rotación de alrededor de 21 Hz, evitando la fuga del metal líquido fuga de metal líquido.

1.3 Objetivos

General

Caracterizar eléctricamente, una dinamo experimental de disco homopolar con contactos de metal líquido.

Específico

Obtener las características eléctricas; corrientes eléctricas en las fases, voltajes de línea y fase, potencia activa consumida en tiempo real del motor trifásico, que alimenta de energía cinética rotatoria a la dinamo. Tomar datos de diferencia de potencial generada por efecto de inducción magnética, generada en el disco de la dinamo.

1.4 Metodología; diagrama a bloques

1.4.1 Conexión, control y funcionamiento de la dinamo.

(Fig. 1.4.1)

El funcionamiento de la dinamo depende de un motor trifásico, el cual le trasmite energía mecánica rotacional. Este motor es controlado por un VFD (Variador de Frecuencia) usando una interfaz de control en LabVIEW en un ordenador, en donde se puede manipular la frecuencia de salida para el motor trifásico; todo el sistema está protegido por un contacto magnético ABB (ADOL) el cual se conecta a la alimentación trifásica (240 F-F/ 127 F-N).

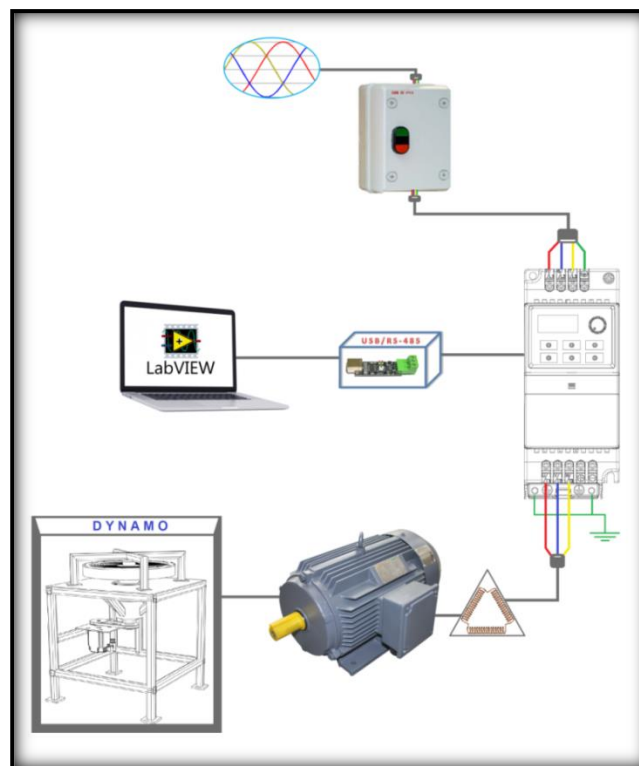


Fig.1.4.1. Funcionamiento del sistema de la dinamo
COTOC, I. (2019). *Diseño propio, Software: Paint*

1.4.2 Adquisición y almacenamiento de datos en tiempo real de RPM (Fig. 1.4.2)

Un disco dentado o perforado (Encoder) se ensambla a la flecha del motor trifásico, este pasara a través del módulo de lector de velocidad (LM393), el cual enviara los pulsos a la tarjeta Arduino, en el cual por medio de un programa desarrollado en lenguaje C, leerá la información y vinculara con PLX-DAQ, adquiriendo un archivo con la facilidad de manipular y ver los datos en Excel.

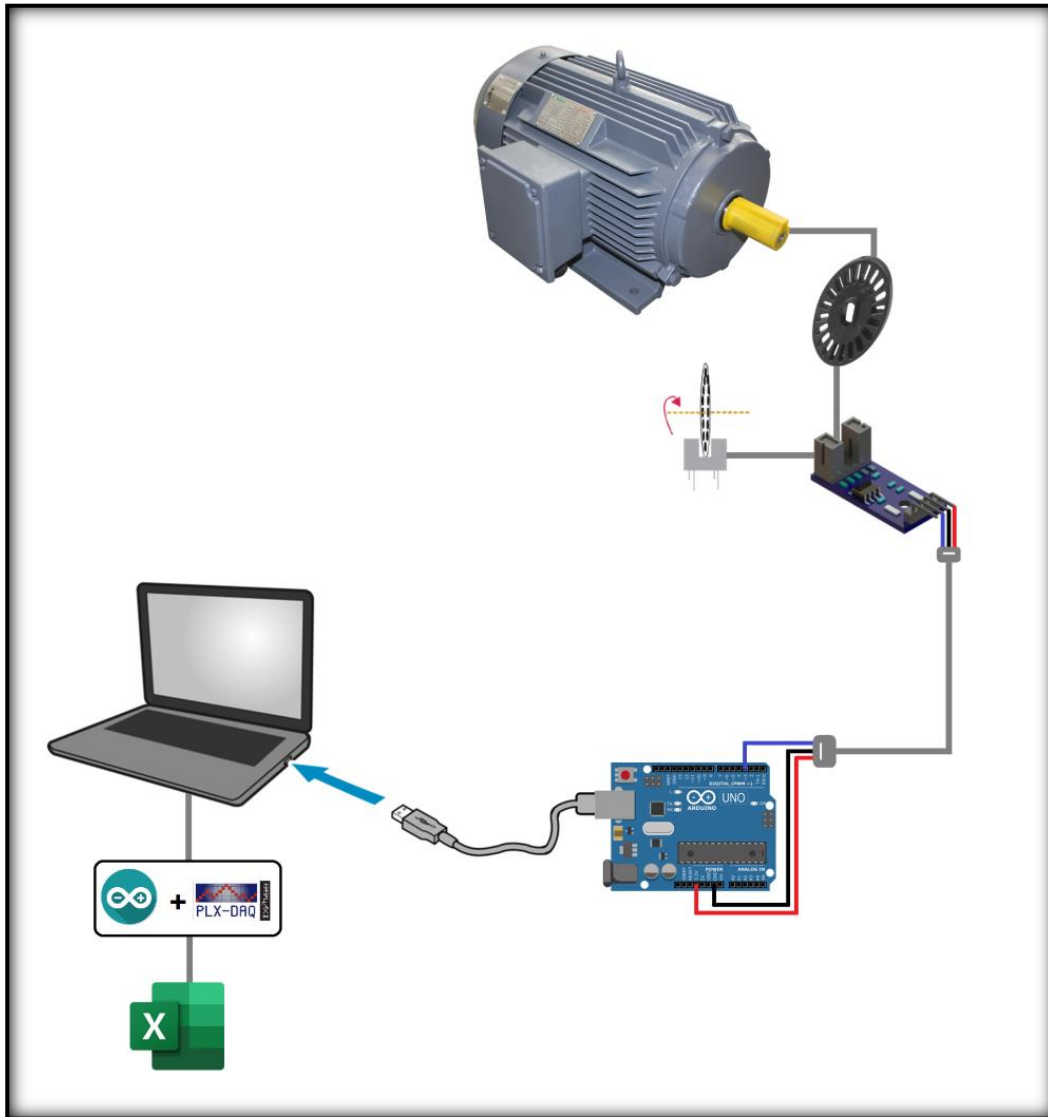


Fig.1.4.2. Obtención del RPM
COTOC, I. (2019). Diseño propio, Software: Paint

1.4.3 Cálculo y realización de bobina, con 11 gauss en el centro (Fig. 1.4.3)

En la experimentación con la dinamo se requiere una bobina con un campo magnético de 11 gauss en el centro, para fines experimentales. Se tomaran medidas de la geometría en donde estará ubicada la bobina, así como la medición de voltaje de la fuente de corriente directa que la alimentara, para obtener valores de voltaje exactos; la corriente se toma de la hoja de datos. Con los datos de las mediciones se procede a realizar el cálculo, para fines prácticos se pasan los cálculos a una hoja de Excel, y se compara con un simulador y calculador de bobinas (COIL32).

Como se requiere un lugar para embobinar, se realiza un molde con palitos de madera que rodee el disco de la dinamo ya que ahí es donde ira la bobina, una vez montado se procede a embobinar con el calibre y numero de vueltas previamente calculado. Se realizara pruebas y mediciones con un Gaussmetro, una vez terminada.

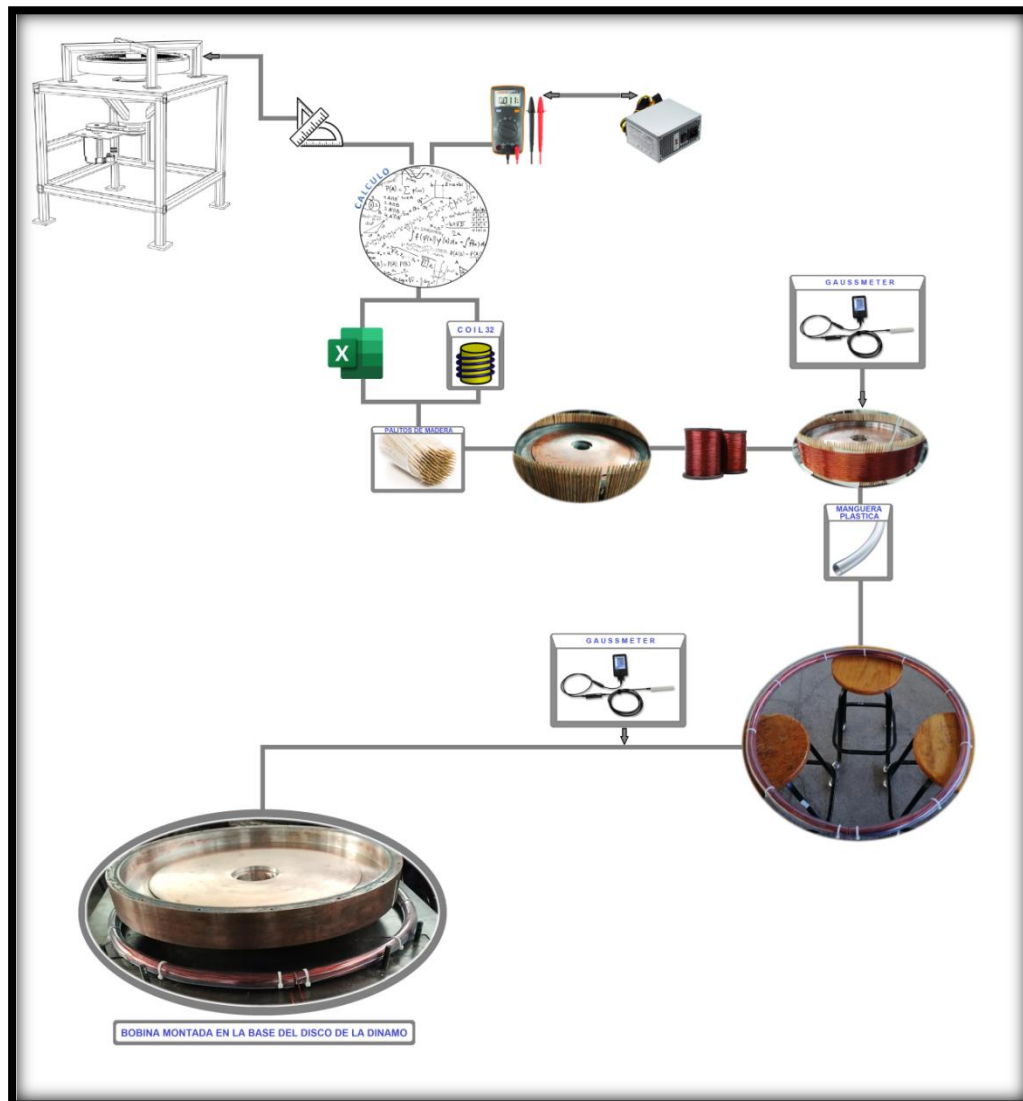


Fig.1.4.3. Realización de bobina de 11 Gauss
COTOC, I. (2019). *Diseño propio, Software: Paint*

1.4.4 Funcionamiento y operación de la bobina (Fig.1.4.4)

La experimentación con la bobina requiere poder manipular el sentido del campo, cuando se necesite; para ello se diseñó un “Switch de polos”, este se conecta a una fuente de 12 VCD para alimentar todo el sistema. Con un interruptor de tres posiciones accionamos la bobina y hacemos el cambio de polaridad.

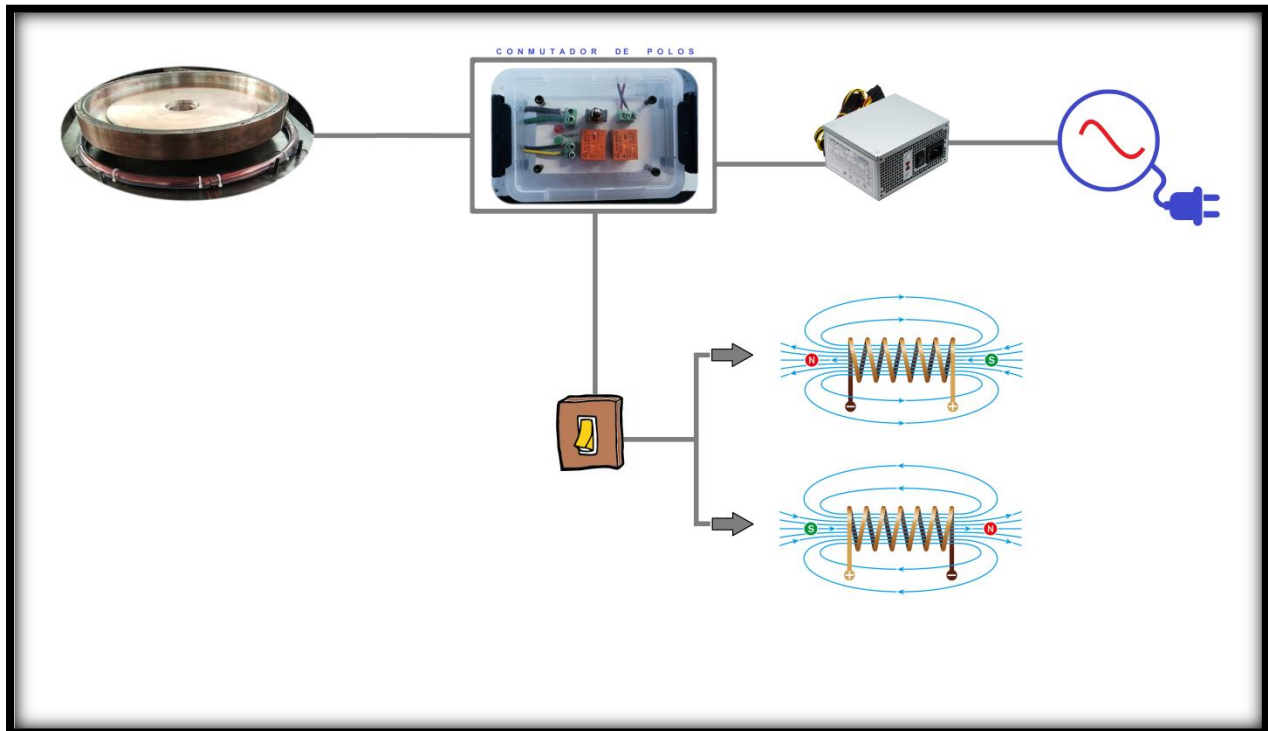


Fig.1.4.4 Cambio de polaridad de bobina
Bloque diseñado por autor del escrito
COTOC, I. (2019). *Diseño propio, Software: Paint*

1.4.5 Medición y adquisición de datos de voltaje, corriente y $\text{Cos } \phi$ para calcular la potencia activa del motor trifásico de la dinamo

Para realizar las mediciones requiere un amperímetro de gancho trifásico UT-243, este se conecta a los conductores que alimentan al motor. Para obtener y almacenar los datos, estos se transfieren del amperímetro a un ordenador por medio de un cable de datos, vinculándose directamente desde el software del instrumento de medición.

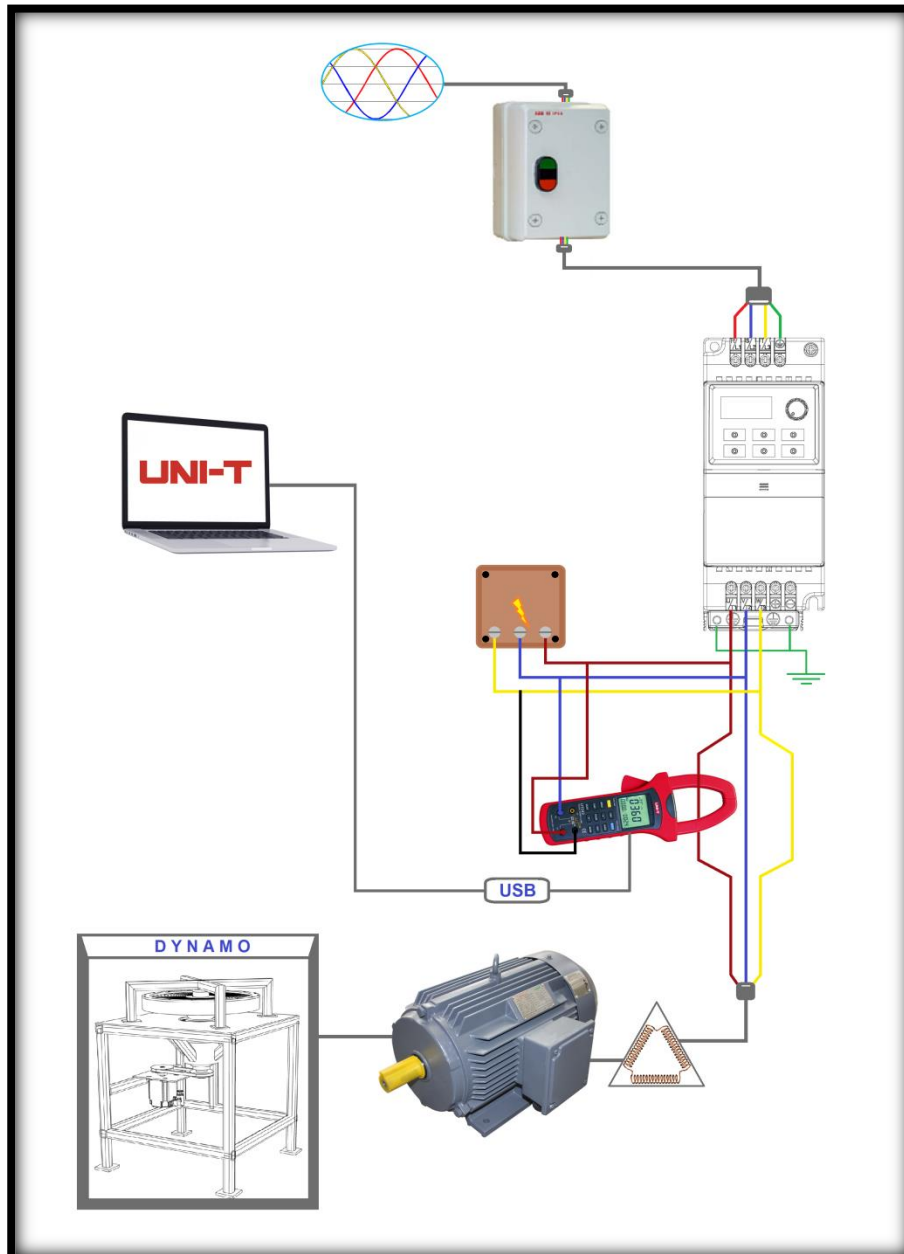


Fig.1.4.5 UT-243 en motor trifásico para medición y adquisición de $\text{Cos } \phi$, voltaje y corriente
COTOC, I. (2019). Diseño propio, Software: Paint

1.5 Justificación

1.5.1 RPM con Arduino

Arduino, por su rápido acceso al software libre y los diferentes tipos de plataformas en los cuales se puede enlazar, se escogió para la obtención de RPM; al igual tiene muchas opciones de módulos para uso de sensores, en este caso se usa LM393. Arduino no cuenta con una función para archivar datos en un ordenador, la opción para guardar información del sensor es copiando cada dato impreso en el monitor serie y enseguida copiarlo a un archivo con extensión (“.txt”).

En la experimentación, al final de la prueba se puede cerrar el programa, olvidarse de copiar y pegar los datos en un bloc de notas (“.txt”); de esta manera se datos, esto es muy lamentable, el análisis y la observación del comportamiento no se termina en su totalidad, la prueba queda incompleta. El tiempo que llevó preparar todo se perdería; rehacer esta prueba llevara horas, material y puede que en la próxima prueba ocurra un comportamiento diferente. Para ello se usa PLX-DAQ que se enlaza con Arduino, programando con directivas de control propias del software y que Arduino reconoce. Este software permite guardar en un archivo .xlsx, datos en tiempo real; a su vez se puede observar el comportamiento de los datos gráficamente.

1.5.2 Calculo y realización de bobina

El propósito principal de la bobina es poder obtener un campo magnético (β) de 11 Gauss en el centro, para ello partimos de la ley de Biot-Savart, como disponemos de una corriente en línea recta, el cálculo del campo magnético creado de dicha corriente en un punto P (radio) se calcula con la siguiente formula:

$$\beta = \frac{\mu_0 * I}{2\pi * r}$$

Para cálculo en bobinas se modifica la formula un poco, agregando N (número de vueltas) y el Diámetro de la forma:

$$\beta = \frac{\mu_0 * I * N}{D}$$

Los cálculos realizados se traspasaran a una hoja de cálculo de Excel, para fines prácticos, y visual gráfico, tabulando campo magnético, número de vueltas en función de la corriente.

1.5.3 Conmutador de polaridad magnética

Para realizar un conmutador de polos magnéticos, se configura analógicamente un circuito electrónico, que trabaja a base de relevadores, para efectuar la acción de invertir la polaridad de la bobina.

En los relevadores, las bobinas se accionan con un voltaje menor al de los contactos. Por ello se toma una salida de 5 VCD de la fuente que alimenta la bobina, esto ayudara a no perturbar la salida de 12 VCD

1.5.4 Potencia activa del motor trifásico que alimenta de energía cinética rotatoria, a la dinamo

La caracterización eléctrica que se requiere, es la energía eléctrica que se consume al momento de hacer la experimentación (Potencia activa).

Los datos necesarios son en tiempo real, voltaje, corriente y el $\text{Cos } \varphi$; se escogió el amperímetro de gancho UT-243 para sistemas trifásicos de potencia, maneja alto voltaje y alto amperaje, así como la capacidad de medir datos como el $\text{Cos } \varphi$, potencia activa, secuencia de fase, voltaje de cada fase. Transmisión de datos a un ordenador vía cable USB, función que es fundamental en la medición, para observar todo el comportamiento con los datos. UT-243 cuenta con una interfaz propia del instrumento en donde se podrá manipular el instrumento, ver los datos que se están midiendo, la gráfica de los mismos y la opción de guardar los datos con extensiones (".xls, .txt y .xml").

Teniendo los datos podemos calcular la potencia con la fórmula:

$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos} \varphi$$

2. Fundamento teórico

2.1 Ley de Ohm

Esta ley relaciona las magnitudes de diferencia de potencial, corriente eléctrica, y resistencia.

Corriente eléctrica: Si por un conductor se desplazan cargas eléctricas de un punto a otro se dice que circula una corriente eléctrica. Se llama intensidad I de la corriente eléctrica a la carga que atraviesa una sección recta del mismo en la unidad del tiempo. La unidad de intensidad de corriente es el amperio (A), que corresponde a un flujo de cargas de un culombio por segundo ($1\text{A} = 1\text{C/s}$)

$$I (\text{Intensidad}) = \frac{q (\text{Carga que atraviesa una sección del conductor})}{t (\text{Tiempo que emplea la carga en pasar})}$$

$$I (\text{Amperios}) = \frac{q (\text{Culombios})}{t (\text{Segundos})}$$

Esta ley se resume haciendo una relación de voltaje, corriente y la resistencia que se opone a ella, la ley se expresa de la siguiente forma.

$$I (\text{Amperios}) = \frac{V (\text{voltios})}{R (\text{Ohmios})}$$

2.2 Ley de inducción de Faraday

Es una relación fundamental basada en las ecuaciones de Maxwell.

Cualquier cambio del entorno magnético en que se encuentre una bobina de cable, originara un “voltaje” (FEM inducida en la bobina). Esta resume las formas en que se puede generar un voltaje.

$$\text{Voltaje Generado} = -N \frac{\Delta(BA)}{\Delta t}$$

Dónde:

N = Numero de vueltas

A = Área (m²)

t = tiempo

La FEM inducida en una bobina es igual al negativo de la tasa de cambio del flujo magnético multiplicado por el número de vueltas de la bobina. Interacción de cargas con el campo magnético.

$$FEM = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



Ley de Lenz

Dónde:

N = Numero de vueltas

$\Phi = BA$ =Flujo Magnético

A = Área de la bobina

2.3 Ley de Lenz

“El sentido de las corrientes o fuerza electromotriz inducida es tal que se opone siempre a la causa que la produce, o sea, a la variación del flujo”. Nos explica que la tensión inducida (voltajes) será de un sentido que se antepone a la variación del flujo magnético que las produjo, principio de la conservación de la energía.

El flujo de un campo magnético uniforme a través de un circuito plano viene dado por:

$$\Phi = \beta \cdot S \cdot \cos\alpha$$

Dónde:

Φ = Flujo magnético en Weber (Wb)

B = Inducción magnética en Teslas (T)

S = La superficie del conductor

α = Ángulo que forman el conductor y la dirección del campo.

Si el conductor está en movimiento el valor del flujo será:

$$d\Phi = \beta \cdot ds \cdot \cos\alpha$$

En este caso la ley de Faraday afirma que el $V\epsilon$ inducido en cada instante tiene por valor:

$$V\epsilon = -n \frac{d\Phi}{dt}$$

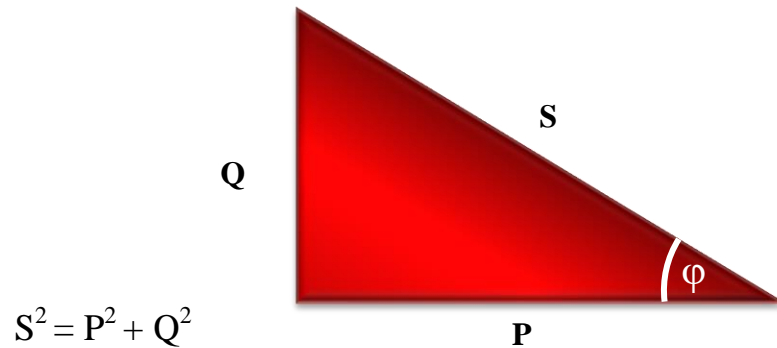
El valor negativo de la expresión indica que el $V\epsilon$ se opone a la variación de flujo que la produce. Este signo corresponde a la ley de Lenz

2.1 Corrientes de Foucault

La ley de corrientes de Foucault plantea que estas tienden a oponerse a la causa que la produce. Es decir si una corriente atraviesa un conductor, se generaran unas series de corrientes a las que se les llamara corrientes de Foucault que van a oponerse a la variación del flujo magnético

2.2 Triangulo de potencias

Este relaciona tres tipos de potencias en sistemas de corriente alterna, para tener una representación gráfica del factor de potencia, el cual nos dice la eficiencia con la cual se estará transformando la energía eléctrica en trabajo o calor



Dónde:

S = Potencia aparente

$S = V \cdot I$

Q = Potencia reactiva

$Q = V \cdot I \cdot \sin\phi$

P = Potencia activa

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

2.2.1 Potencia Activa

La potencia activa es la energía que se aprovecha como potencia útil, es decir toda aquella que se transforma en un trabajo. Generalmente se describe con una letra "P" expresada en la unidad "kW". P (kW) (Potencia que disipan los equipos en calor o trabajo) es igual a:

$$kW = kVA - kVAR$$

Dónde:

kW = P = Potencia activa

kVA = S = Potencia aparente

kVAR = Q = Potencia reactiva

También se puede obtener de la siguiente manera:

$$P = V \cdot I \cos\varphi$$

Dónde:

P = Potencia activa en vatios (W)

V = Voltaje en volts (V)

I = Intensidad de corriente eléctrica en amperios (A)

φ = Ángulo de fase

2.2.2 Potencia aparente

Es la magnitud de la suma vectorial de las potencias activas y reactivas. Se representa por letra "S" como previamente se ha mencionado en el triángulo, se representa con la siguiente expresión

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Dónde:

P = Potencia activa (W)

Q = Potencia reactiva (kVAR)

S = Potencia Aparente (kVA)

También se puede obtener con la siguiente expresión:

$$S = V \cdot I$$

Dónde:

V = Voltaje en volts (V)

I = Intensidad de corriente eléctrica en amperios (A)

S = Potencia aparente (VA)

2.2.3 Potencia Reactiva

Es la potencia característica de los circuitos con parte L (Inductores) o C (Condensadores), es la energía que sirve para la generación de campos en cargas inductivas, no produce trabajo útil, incluso se puede considerarla como una pérdida.

La expresión para obtener la potencia reactiva es la siguiente:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$$

Q = Potencia activa en vatios (W)

V = Voltaje en volts (V)

I = Intensidad de corriente eléctrica en amperios (A)

φ = Ángulo de fase

2.2.4 Ley de Biot-Savart

Biot y Savart establecieron que; al igual que una carga origina un campo eléctrico, o una masa un campo gravitatorio. Un elemento de corriente genera un campo magnético. La intensidad que fluye por una porción de tangente al hilo conductor de longitud infinitesimal y cuyo sentido es el de la corriente eléctrica (\vec{dl}), es un elemento de corriente. Su expresión se da por ($I \cdot \vec{dl}$).

$$I \cdot \vec{dl} = \frac{dq}{dt} \cdot \vec{dl} = dq \cdot \frac{d\vec{l}}{dt} = dq \cdot \vec{v}$$

∴

$$I \cdot \vec{dl} = dq \cdot \vec{v}$$

La ley de Biot-Savart establece que el campo magnético producido por una corriente cualquiera en un punto "P", se determina con la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{u}_r}{r^2}$$

Dónde:

β = Intensidad de campo magnético creado por el punto P

μ_0 = Permeabilidad magnética del vacío

I = Intensidad de corriente que circula por \vec{dl} (Amperios)

\vec{dl} = Vector en la dirección de la intensidad de la corriente (metros)

\vec{u}_r = Vector unitario que une el elemento de la corriente $I \cdot \vec{dl}$ con el punto "P", lugar donde se mide la intensidad del campo magnético $\vec{\beta}$.

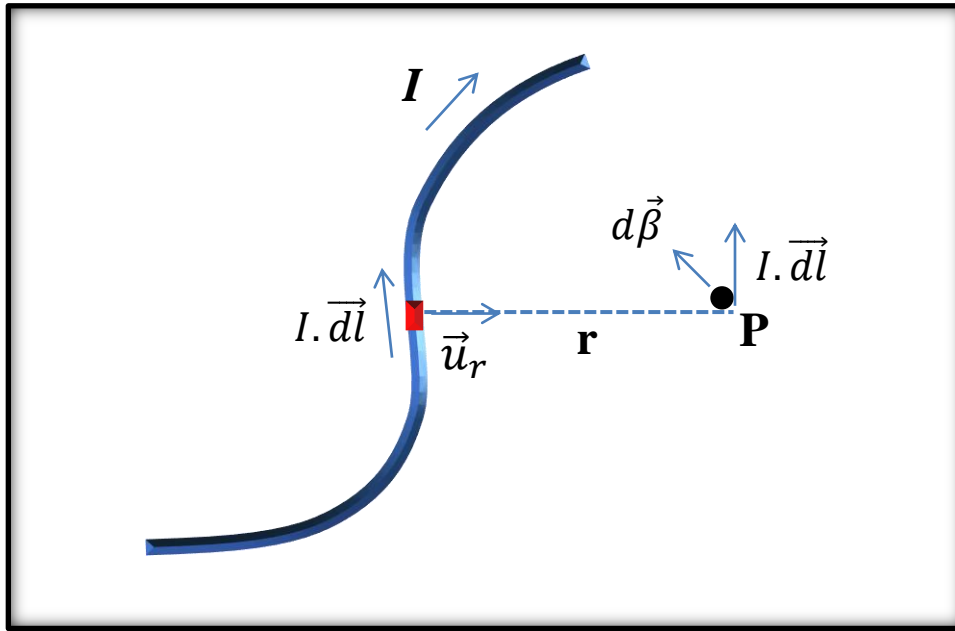


Fig.2.2.4.0 Representación de un conductor explicando la ley de Biot-Savart
 COTOC. I (2019). Redibujado, Software: Word
 Recuperado de: www.fisicalab.com/amp/apartado/campo-magnetic-creado-corriente-electrica

Cada elemento infinitesimal de corriente $I \cdot d\vec{l}$ del conductor crea en "P" un campo magnético infinitesimal $d\vec{\beta}$. Diferencial que es perpendicular a \vec{u}_r y a $I \cdot d\vec{l}$. El campo magnético en el punto será la suma (integral) de todos los $d\beta$ originados por todos los elementos de corriente del conductor.

Si en vez de una corriente eléctrica indefinida disponemos de una corriente en línea recta, el cálculo del campo magnético creado la corriente mencionada, se simplifica. El valor del campo magnético creado por una corriente rectilínea en un punto "P" se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{\mu_0 * I}{2\pi * r}$$

3. Desarrollo

3.1 Circuitos realizados

3.1.1 Conmutador de polos para la bobina de la dinamo

En la experimentación de la dinamo con la bobina de 11 Gauss, se requiere tener el control y poder de alternar el sentido del campo magnético según se requiera.

La función de conmutar se realizó con una configuración de dos relevadores de 5VCD, un interruptor de tres posiciones, LEDs como indicadores del estado de la bobina. Para desarrollar este dispositivo, se diagramo la conexión de cada uno de los componentes que se usaran para poder realizar la conmutación de los polos (Fig.3.1.1); se usó el software “Proteus 8 Professional”, en el cual se simulo el diagrama y a su vez se realizó el diseño del PCB (“Printed Circuit Board”) para poner todos los componentes soldados en una placa en una placa.

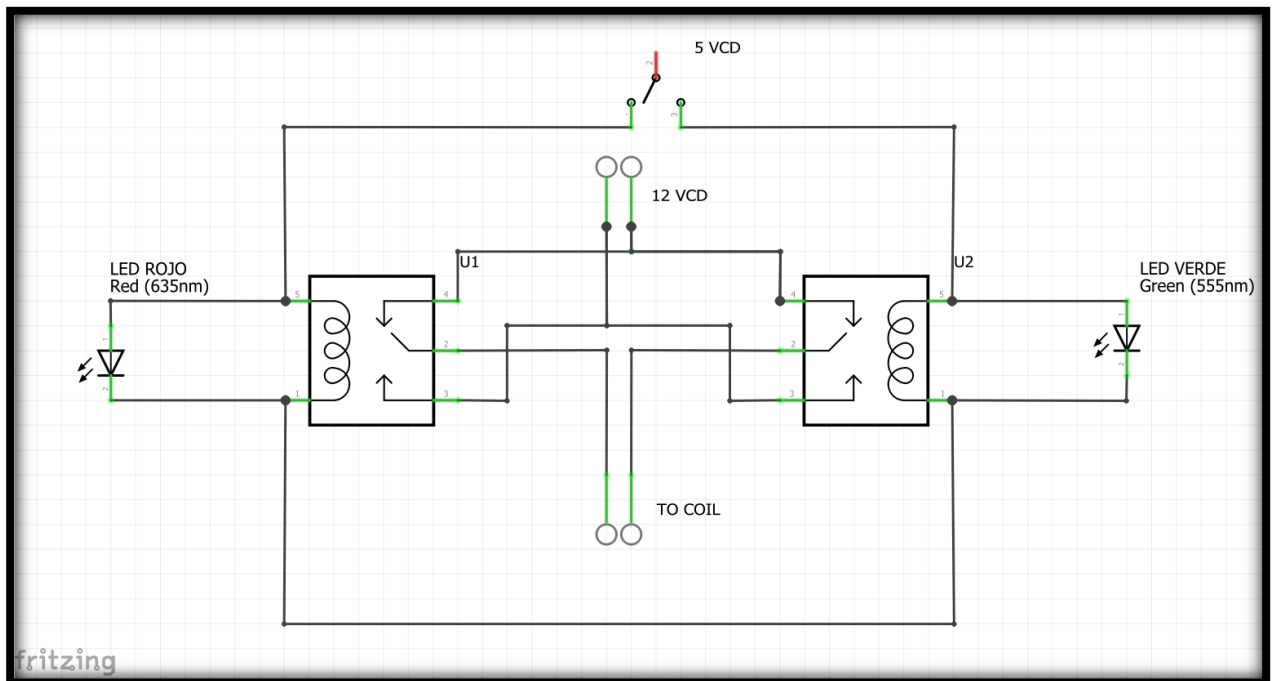


Fig.3.1.1.0 (Diagrama de conexión para el conmutador de polos
COTOC, I. (2019). *Diseño propio, Software: Fritzing*

3.2 Programas realizados

3.2.1 Adquisición y archivo de datos de RPM en tiempo real

Se desarrolló un programa en Arduino, el cual mide las **Revoluciones Por Minuto** en tiempo real, así como su grafica para observar el comportamiento; a su vez se requería que todos los datos, se registraran y se almacenaran en el tiempo en el que fueron adquiridos.

Arduino por sí mismo no tiene una funcionalidad tal cual de almacenar datos en tiempo real en un ordenador, dado el caso, se usó *Parallax Microcontroller Data Acquisition for Excel*, software que es capaz de enlazarse con Arduino y almacenar los datos que adquiera el sensor, y guardarlos en un archivo digital con extensión (.xlsx) el cual se puede manipular en Excel.

El sensor que se usó, es el LM393, en módulo de sensor de velocidad. Funciona por interrupciones ópticas entre un opto-interruptor por el cual está compuesto el modulo, causadas por un disco perforado que se acopla al motor, al cual le medimos la velocidad; enviando pulsos de 0V a 5v como señal digital TTL (Transistor-Transistor Logic); estos pulsos son leídos por Arduino, en unos de los pines de entrada digital, en el cual lee (PWM) este caso el pin numero 3

La conexión que se realizó para el funcionamiento del lector digital de RPM, es la que se muestra en la (Fig.3.2.1)

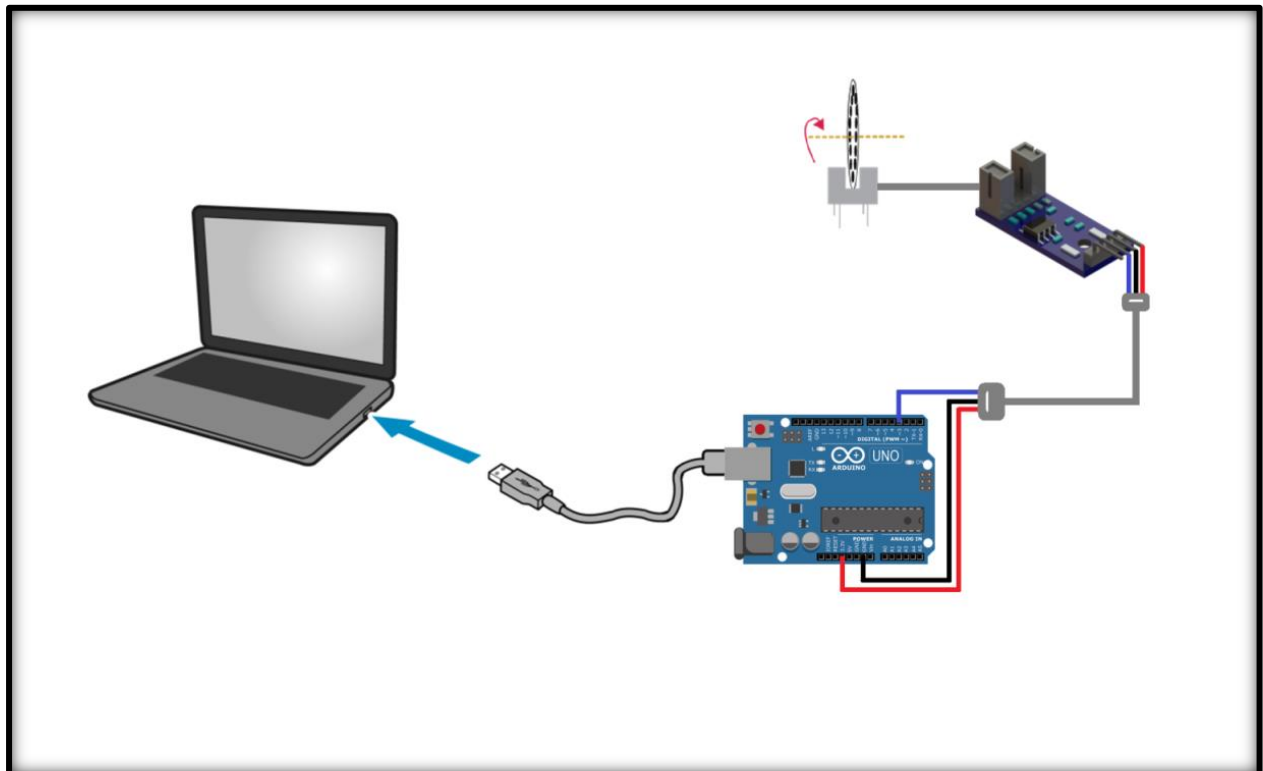


Fig.3.2.1.0 (Conexión de lector de RPM)
COTOC, I. (2019). Diseño propio, Software: Paint

Parallax Microcontroller Data Acquisition, usa directivas de control para el enlace con Arduino, las directivas se encuentran en la ayuda de PLX-DAQ (Parallax Microcontroller Data Acquisition); las que se usaron se encuentran en la captura siguiente:

Control Directives

[Home] [Copyrights] [Basic Principles] [Getting Started] [Control Directives] [Plotting Example] [Interactive Metering Example]

PLX-DAQ Directives

PLX-DAQ analyzes incoming data strings from the controller for action. Strings begin with a directive informing PLX-DAQ of what action to take.

- All directives are in CAPITAL letters, and some are followed by comma-separated data. Each string MUST end in a carriage return (CR).
- Strings not beginning with directives will be ignored.
- Note that the BASIC Stamp's DEBUG instruction is used in the following discussion.

Control and Data Directives	BASIC Stamp Example Usage
DATA, value1, value2,... Stores the data into the next row from column A on.	Up to 26 comma values may be sent. The 1st value will be placed in column A, the 26th in column Z. DEBUG "DATA," DEC Val1, ",", DEC Val2, CR
LABEL, label 1, label 2, label 3,... Labels the columns from A up to Z. Row 1 is used for labels, up to 26 labels may be sent.	Special: The strings TIME , TIMER and DATE in value positions 1 and 2 will cause PLX-DAQ to replace those strings with the current time (TIME) or the time in seconds since opening or the last timer reset (TIMER), and date when using the DATA directive. DEBUG "DATA, TIME, TIMER," DEC Val1, ",", DEC Val2, CR
CLEARDATA Clears columns A-J of data from Row 2 on (labels remain in Row 1), or the number of columns to which data was being posted.	DEBUG "CLEARDATA", CR
RESETTIMER Resets the when using the TIMER directive to place the time in seconds into the cell.	DEBUG "RESETTIMER", CR
MSG, message string Places a message in the PLX-DAQ Controller Message box. Do not use commas in the message string.	DEBUG "MSG, Starting data run.", CR

Fig.3.2.1.1. Directivas de control
Captura de pantalla- PLX-DAQ Help File

Usando las directivas de control de PLX-DAQ, se desarrolló el siguiente programa en Arduino

```

RPM_DATA_TO_EXCEL $
// ASIGNACION DE VARIABLE "RPM" (DOUBLE PARA DATOS DECIMALES)
double rpm;
//CONTEO
long pulseCount = 0;
//Tiempos de los pulsos
unsigned long pulseTime, lastTime;

void setup()
{
  Serial.begin (9600);

  ///////////////////////////////////////////////////////////////////Declaración de las celdas en donde se guardan los datos adquiridos////////////////////////////////////

  Serial.println ("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,FECHA, HORA, TIEMPO DE MUESTRA, RPM");
  Serial.println("RESETTIMER");

  //INTERRUPCIONES
  attachInterrupt(1, onPulse, FALLING);
}

void onPulse()
{
  //Medicion de los tiempos
  lastTime = pulseTime;
  pulseTime = micros();
  //Contador de pulsos
  pulseCount++;
  //Calculo de RPM mediante el tiempo de los pulsos
  rpm = (1090909.090909090909/ (pulseTime - lastTime));
}

void loop()
{
  //IMPRESION DE DATOS EN EXCEL
  Serial.print("DATA, DATE, TIME, TIMER, ");
  Serial.println(rpm);
}

```

Fig.3.2.1.2. Código de Arduino
COTOC, I. (2019). Código propio

Teniendo del código desarrollado, se sube a la placa Arduino; una vez realizado, se inicia el software PLX-DAQ, se mostrara la siguiente interfaz, seleccionamos en “Port”, el puerto en donde está conectada la placa Arduino; cuando se requiera grabar los datos, ubicamos el botón “Connect” y se da click, a continuación se iniciara a grabar los datos al igual que mostrarnos la gráfica.

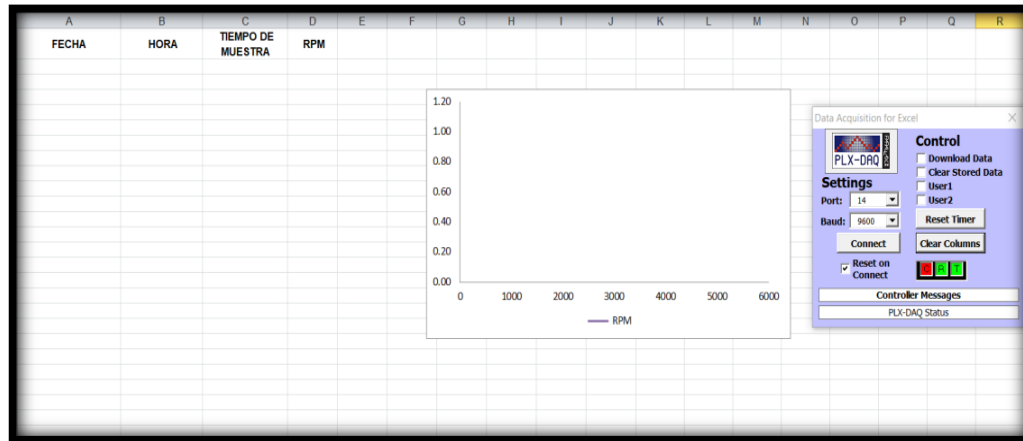


Fig.3.2.1.3. Interfaz PLX-DAQ
Captura de pantalla

Se realizó un manual de operación para la utilización del programa: de requerir consultarlo dar click en el siguiente icono para dirigirse al manual



3.2.2 Calculo de Bobina con campo magnético de 11 gauss, para experimentación con el DYNAMO

Se realizó un cálculo para realizar una bobina de 11 gauss en el centro de la bobina; se calculó de las vueltas necesarias usando la siguiente formula:

$$\beta = \frac{I * N * \mu_0}{D} \quad \text{Despejando N ...} \quad N = \frac{\beta * D}{I * \mu_0}$$

Dónde:

- β = Campo magnético (Teslas)
- I = Corriente eléctrica (Ampere)
- N= Numero de vueltas (Vueltas)
- μ_0 = Permeabilidad del vacío = $4\pi * 10^{-7}$ T.m/A
- D = Diámetro (m)

La fuente con la que se va a alimentar la bobina, tiene cinco diferentes salidas (Fig.3.2.2.0).



Fig.3.2.2.0 (Salidas de voltaje y Amperes de la fuente)
COTOC, I. (2019). Fotografía de fuente

Se usa la salida amarilla, +12VCD-19A. Se selecciona el alambre magneto con la capacidad del amperes que soporta el alambre; no se planea ocupar toda la capacidad de amperaje para protección de la fuente, por ese motivo determinamos trabajar la fuente de 0-16 Amperes

Con ese valor seleccionamos el calibre que usaremos para bobina, en la siguiente tabla de alambres magneto, el calibre 13 (Tab.3.2.2.1)

Calibre	Alambre Desnudo		Capa Sencilla ⁽¹⁾			Capa Doble			Máxima Tensión de Embobinado ⁽²⁾	Resistencia D.C. a 20°C	Capacidad de Corriente ⁽³⁾ (A)	
	Diámetro Nominal	Peso Total Aprox.	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada			155°C	200°C
AWG	mm	kg/km	mm	mm	m/kg	mm	mm	m/kg	kg	Ohm/km		
6	4,115	118,23	-	-	-	0,081	4,244	8,4	79,5	1,286	87	131
7	3,685	93,79	-	-	-	0,089	3,787	10,6	63,1	1,634	69	104
8	3,264	74,39	-	-	-	0,089	3,383	13,3	50,0	2,080	55	83
9	2,906	58,98	-	-	-	0,086	3,023	16,8	39,7	2,599	44	65
10	2,588	46,76	-	-	-	0,086	2,703	21,2	31,5	3,278	35	52
11	2,304	37,08	-	-	-	0,084	2,416	26,7	24,9	4,135	27	41
12	2,052	29,40	-	-	-	0,081	2,159	33,6	19,8	5,213	22	33
13	1,829	23,36	-	-	-	0,081	1,935	42,2	15,7	6,562	17	26

Tab.3.2.2.1 (Tabla de datos de alambre magneto)
Normas de fabricación NEMA MW-1000, NTC 361

Determinando una altura de la bobina de 10cm se inicia el cálculo de la bobina, para obtener la corriente a la cual se trabajara la bobina

$$A = (N * D)$$

Despejando N ...

$$N = \frac{A}{D}$$

Dónde:

A = Altura de la bobina (metros) = 0.1m

N = Numero de vueltas = ¿?

D = Diámetro del conductor (metros) = 0.001829m

$$N = \frac{0.1m}{0.001829m} = 54.67468562 \text{ vueltas}$$

El campo magnético en el centro de la bobina es de 11 Gauss por lo tanto “β” ya está determinado, y el valor de “N” ya se tiene; por lo consecuente se calcula “I” la corriente eléctrica con la cual va a generarse el campo. Se despeja la “I” de la ecuación de campo magnético y se realiza la operación

$$\beta = \frac{I * N * \mu_0}{D}$$

Despejando I ...

$$I = \frac{\beta * D}{N * \mu_0}$$

Dónde:

I = Corriente eléctrica (Ampere) = ¿?

β = Campo magnético (Teslas) = 11 Gauss = 0.0011 Teslas

D = Diámetro (metros) = 0.7m

N = Numero de vueltas (Vueltas) = 54.67468562

μ₀ = Permeabilidad del vacío = 4π * 10⁻⁷ T.m/A

Equivalencia: 1 Gauss = 0.0001 Teslas

$$I = \frac{0.0011 T * 0.7m}{(54.67468562) * (4\pi * 10^{-7}) \frac{T * m}{A}} = 11.20713405 \text{ Amperes}$$

Para comprar el alambre necesitamos saber el peso o la longitud total del alambre que tendrá la bobina, se calcula de la siguiente manera:

$$L = (\pi * D)(N)$$

Dónde:

L = Longitud del alambre de la bobina (metros) = ¿?

$\pi = 3.1416\dots$

D = Diámetro de la bobina (metros) = 0.7m

N = Numero de vueltas = 54.67468562

$$L = (\pi * 0.7m)(54.67468562) = 120.23591347678 \text{ metros}$$

La resistencia de la bobina nos servirá para tener la relación aproximada de corriente y diferencia de potencial que tendrá la bobina, se calcula con la siguiente formula:

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

Dónde:

R = Resistencia eléctrica (Ohms) = ¿?

$\sigma =$ Conductividad del material = 59600000

L = Longitud del alambre de la bobina (metros) = 120.23591347678 metros

S = Sección transversal (Área en metros²) = 0.00000026273461 m²

“S” se calcula con el diámetro o calibre del conductor que se obtiene en la hoja de datos de alambres magnetos (Fig.3.2.2.1)

$$R = \frac{120.2359135 \text{ m}}{(59600000) * (0.00000026273461 \text{ m}^2)} = 0.767839863 \text{ Ohms}$$

Se tiene los valores de Resistencia y de Corriente, calcularemos el voltaje que tiene la bobina:

$$V = (I * R) \quad \text{ENTONCES ...} \quad V = (0.767839863 \text{ Ohms}) * (11.20713405 \text{ A})$$

$$V = 8.6052843 \text{ Volts}$$

Los datos y la metodología que se llevó a cabo en el cálculo, se estructuró en una hoja de cálculo de Excel, para poder hacer tablas y graficas comparativas de diferentes datos de corriente. Este formato se realizó con el objetivo principal de tener un calculador de bobinas eficiente, para solo ingresar los datos y obtener el número de vueltas que se necesita para realizar la bobina, así como el peso y longitud total del alambre.

Se observan casillas de color rojo; esas casillas son las que se pueden editar para poder cambiar los datos de la bobina, como: campo magnético requerido (en Gauss), valores de fuente, o dimensiones de la bobina. (Fig.3.2.2.2)

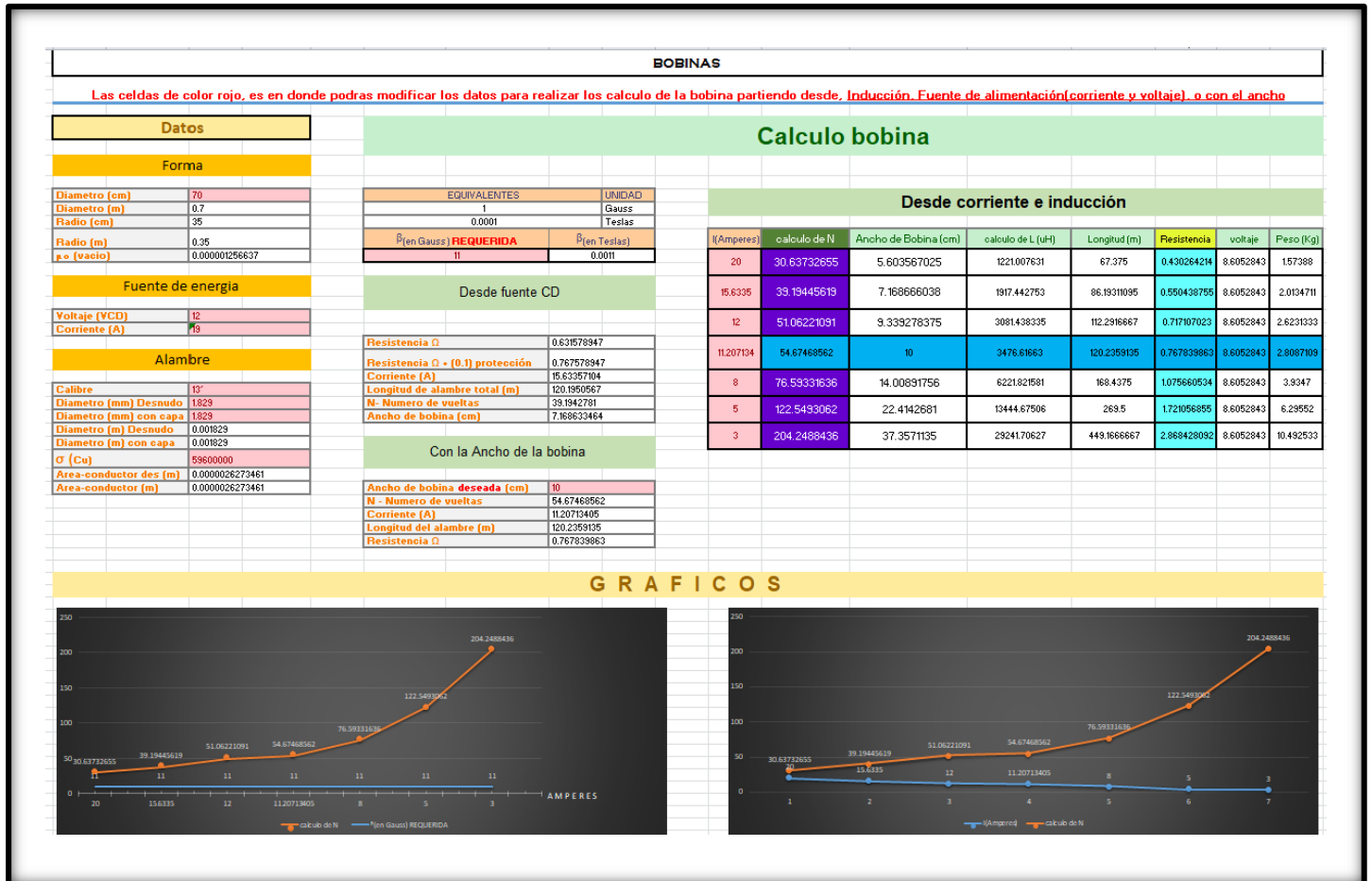


Fig.3.2.2.2 (Interfaz de Excel con cálculos y cuadros comparativos)
COTOC, I. (2019). Diseño propio. Software: Excel

En la hoja de cálculo, ingresamos una operación más a la tabla; la de inductancia. Este valor se usó para poder comparar los datos en un software calculador de bobinas (COIL 32). Se usó la fórmula de Wheeler:

$$L = 0.394 \frac{(a^2 * N^2)}{(9a + 10l)}$$

Dónde:

L= Inductancia (μH)= ¿?

a= Radio de la bobina (centímetros) = 35 cm

N= Numero de vueltas = 54.67468562 vueltas

l = ancho de la bobina (centímetro) = 10 cm

0.394 = constante de Wheeler

$$L = 0.394 \frac{(35cm^2 * 54.67468562^2)}{(9(35cm) + 10(10cm))} = 3476.61663 \mu H$$

Se ingresa el valor de inductancia y los datos de la forma o geometría, al programa “COIL32”, queda de la siguiente manera:

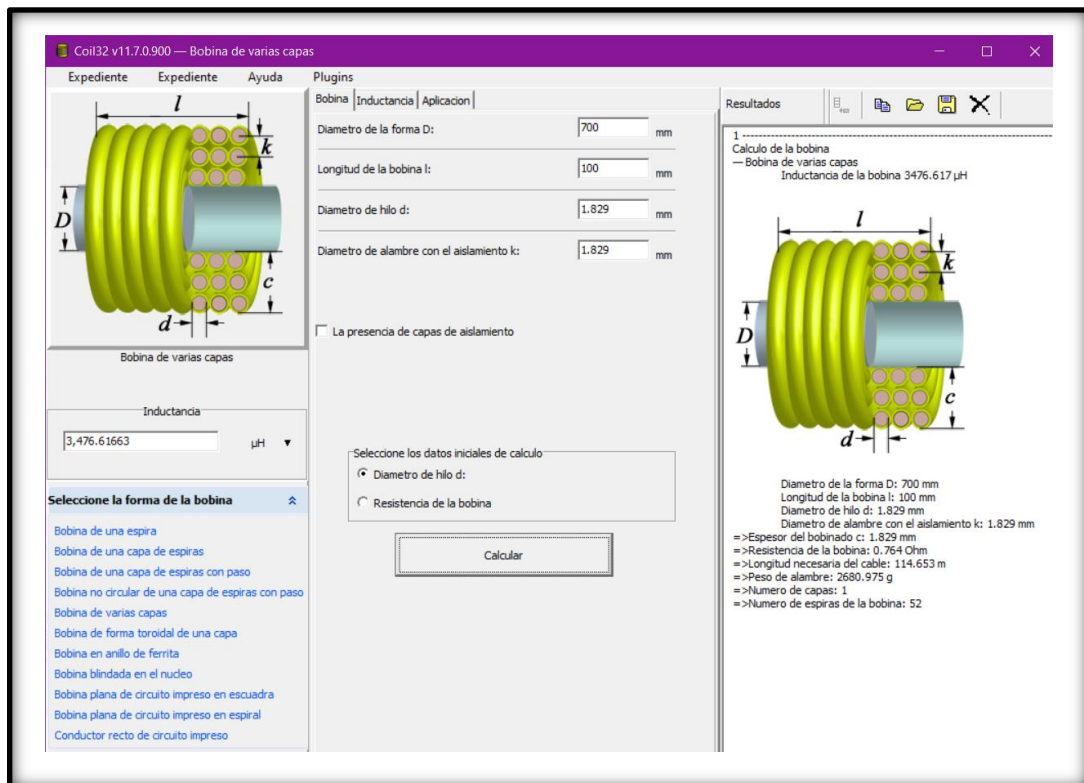


Fig.3.2.2.3 Interfaz de COIL32 con datos y el cálculo de la bobina
Captura de pantalla

Se hizo un molde con palitos de madera para realizar la bobina, el molde se monta en el disco de la dinamo, para iniciar a realizar la bobina, con la información de vueltas que necesita (Fig.3.2.2.4)



Fig.3.2.2.4 Molde montado en el disco de la dinamo
COTOC, I. (2019). Fotografía

Las hicieron las vueltas requeridas que se calcularon previamente; Sobre el molde se observa el bobinado; en la (Fig.3.2.2.5)

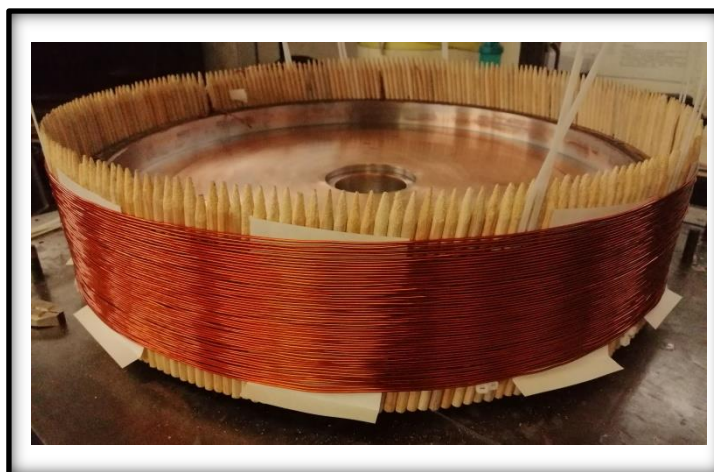


Fig.3.2.2.5 Bobinado sobre el molde
COTOC, I. (2019). Fotografía

3.3 Pruebas, correcciones y validación

3.3.1 Cálculo de resistencia de los electrodos de carga del generador lineal

Para ello se realizaron medidas de la forma de los electrodos; en la (Fig.3.3.1.0) se puede observar el electrodo y las secciones en las que se midió, para calcular la resistencia respectiva a la sección. Las medidas y la resistencia que se obtuvieron se muestran en la (Tab.3.3.1.0), se usó la siguiente fórmula para lo anteriormente expresado

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

Dónde

R = Resistencia eléctrica (Ohms) = ¿?

σ = Conductividad del material = 59600000

L = Longitud (metros)

S = Sección transversal (Área en metros²)

DATOS electrodo					
Sección	Medidas			Área (m ²)	Resistencia (ohm)
	Ancho	Largo	Alto		
A	0.019	0.071	0.015	0.001349	1.85E-07
C	0.019	0.229	0.01	0.004351	3.83E-08
D	0.017	0.229	0.0117	0.003893	5.01E-08
E	0.0095	0.071	0.0127	0.0006745	3.14E-07
B	0.019	0.4401	0.071	0.001349	5.44E-06
Resistencia total					6.02E-06

Tab.3.3.1.0 Electrodo del Generador lineal; mostrando la letra de cada sección la sección

Fotografía

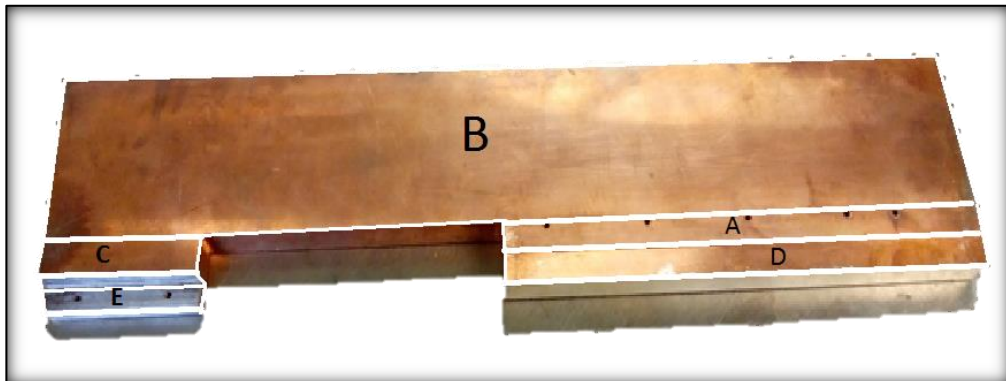


Fig.3.3.1.0 Electrodo del Generador lineal; mostrando la letra de cada sección la sección

Fotografía sin fondo

Se realizó los electrodos y cargas faltantes para así al finalizar sumar las resistencias totales y obtener la resistencia total de todo el; en la (Fig.3.3.1.1) se muestra la carga total armada

$$R_{total} = R(\text{Electrodo A}) + R(\text{Electrodo A}') + R(\text{Carga B})$$

$$R_{total} = 6.0249E^{-6} + 6.0249E^{-6} - 06 + .741E^{-6}$$

$$R_{total} = 12.8E^{-6}$$

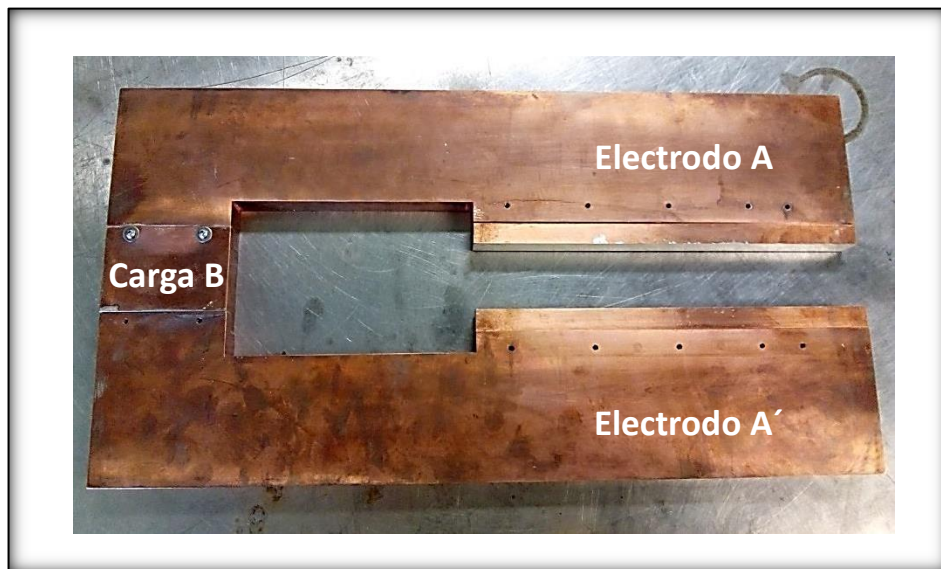


Fig.3.3.1.1 Carga total armada del Generador lineal;
señalando los electrodos
Fotografía

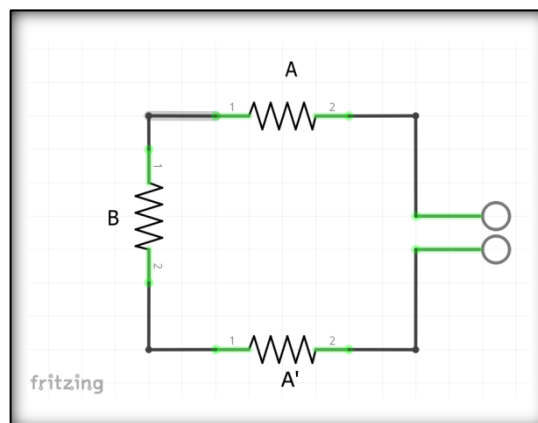


Fig.3.3.1.2 Carga total esquemática del
Generador lineal
Captura de pantalla, Diseño propio;
Software: Fritzing

3.3.2 Pruebas en el generador lineal

Nota:

Muchas actividades que fueron realizadas e información a la cual se tuvo acceso de este proyecto; se me fue estrictamente prohibido divulgarlas. Dado a que el proyecto sigue en investigación; los avances que me presentaron en la trayectoria, son el trabajo de una titulación reciente de Doctorado. Dicho trabajo no ha sido publicado. Por este motivo se hablara en resumen en esta parte del reporte.

Mediciones

Campo magnético: para realizar las mediciones del campo magnético se usó un sensor de efecto Hall modelo HE244, este campo se midió en el transductor

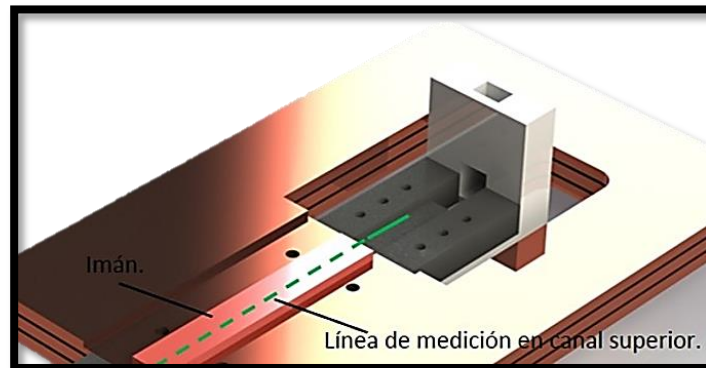


Fig.3.3.2.0 Punto de medición en el transductor del generador lineal

Recuperado; Tesis de Doctorado, Pérez A. (2019) "Estudio teórico-experimental de un generador magnetohidrodinámico de metal líquido acoplable a un convertidor de energía de olas"

Voltaje inducido: con un multímetro de banco Keithley modelo 2002, se obtuvieron valores de voltaje diferentes frecuencias y amplitudes con el transductor en funcionamiento.

3.3.3 Mediciones de campo magnético en la bobina realizada

La bobina que se realizó, se saca del molde donde se enrolló y se procede a conectar a la fuente de alimentación de CD que se escogió para la bobina (12VCD) y se realizan las mediciones de campo magnético en el centro (B_y) de la bobina.

En la (Fig.3.3.3.0) se muestra la bobina y el gaussmetro con el valor de (-10.808 Gauss) en la componente B_y , el signo negativo nos indica que el campo está entrando en la dirección que se muestra con la flecha (B_y)

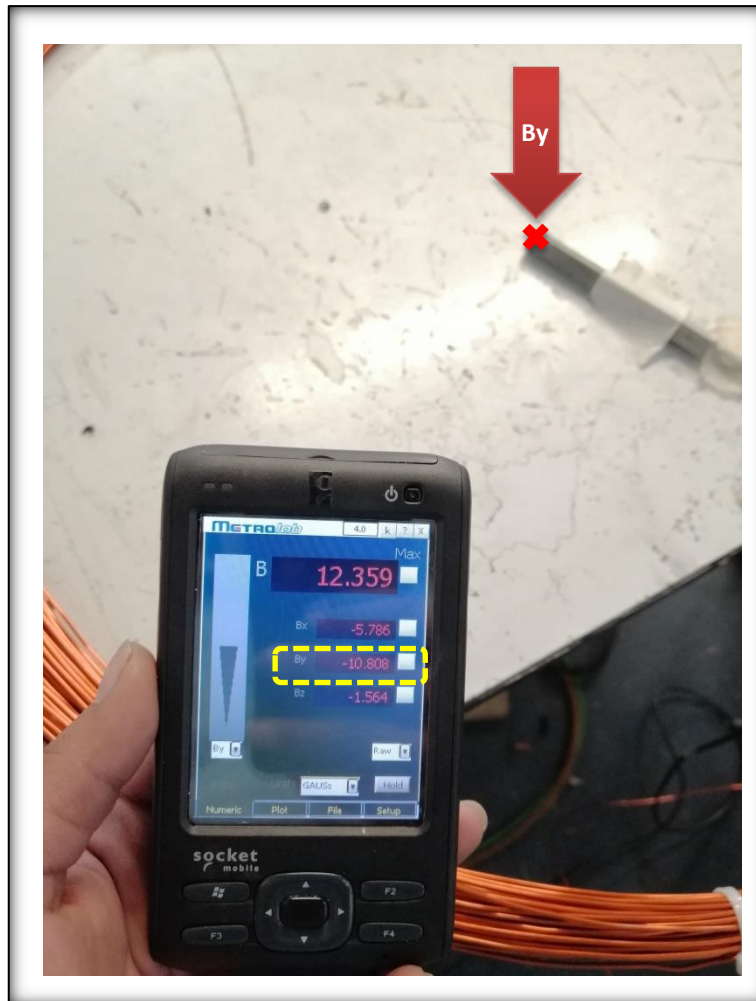


Fig.3.3.3.0 Medición de bobina de 11 Gauss en el centro
COTOC, I. (2019). Fotografía

Para fines prácticos se ideó hacer la bobina de tal manera que estuviera en un tubo plástico, para que así de esta manera la bobina pudiera manipularse con mayor facilidad en el disco. Se embobinó de nuevo, pero esta vez sobre la tubería de plástico (Fig.3.3.3.1).



Fig.3.3.3.1. Bobina en el tubo de plástico sobre el molde COTOC, I. (2019). Fotografía

La bobina ya terminada se quitó del molde ya con la tubería y con cinturones de plástico se terminó de armar y cerrar la bobina, quedando de la siguiente manera (Fig.3.3.3.2). Para posteriormente ponerla sobre la base del disco de la dinamo (Fig.3.3.3.3).



Fig.3.3.3.2. Bobina terminada COTOC, I. (2019). Fotografía

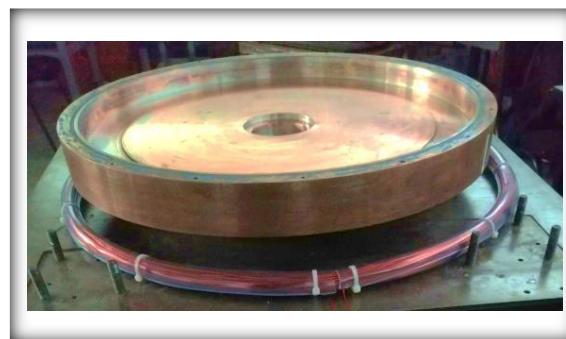


Fig.3.3.3.3. Bobina sobre la base del disco de la dinamo COTOC, I. (2019). Fotografía

3.3.4 Medición de campo magnético

Para realizar la medición de campo magnético en la bobina de la dinamo, se usó un sensor de efecto Hall marca Hoeben 144 (Fig.3.3.4.0), este será alimentado con una fuente regulada, inyectando en el sensor 1mA. El sensor se colocara en la bobina como se muestra en la figura (Fig-3.3.4.1)

En la salida del sensor leeremos voltaje y aplicaremos la conversión siguiente:
Por cada (0.2 Volts = 1 Tesla) lo que es igual a decir que por cada (0.02mVolts = 1 Gauss)

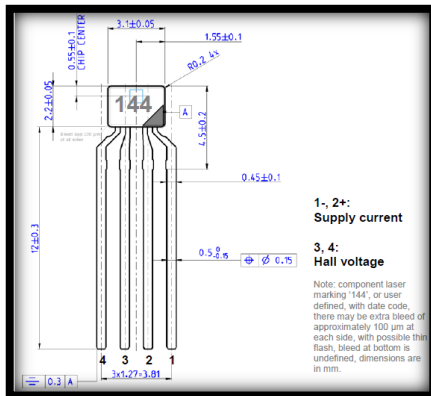


Fig.3.3.4.0. Sensor Hall Hoeben144 DATASHEET H144. Captura de pantalla

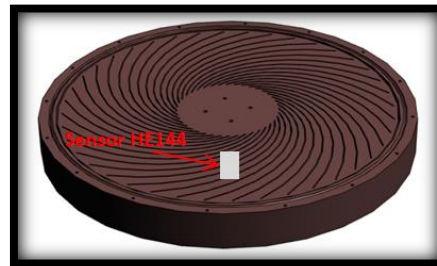


Fig.3.3.4.1. Sensor H144 colocado en el punto de medición de la bobina Recuperado; CICATA, (2019) Manual de programas (2015)

Para ello se usó un programa desarrollado en Labview, previamente realizado por un trabajo de maestría. Este se encargara de leer, graficar y guardar en un archivo los datos (Fig3.3.4.2)

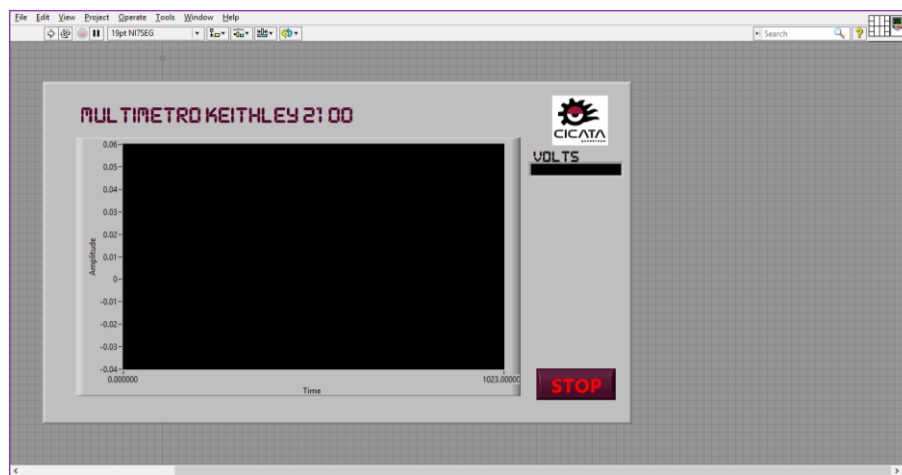



Fig.3.3.4.2. Interfaz Multímetro Keithley 2100 Captura de pantalla; CICATA, (2019)

Estando en esta interfaz se corre el programa presionando la siguiente tecla , se le da nombre al archivo y se acepta. Terminando de grabar los datos se hace la conversión de voltaje a campo magnético.

3.3.5 Medición de diferencia de potencial en la bobina de la dinamo

Se realizó por medio de un multímetro Keithley 2100, estos valores se leerán, graficaran y guardan por medio de la misma interfaz de software en Labview en el que se tomó lecturas del sensor de efecto Hall.

Las puntas de prueba del multímetro Keithley se conectan a la bobina como se muestra en la (Fig.3.3.5.0)



Fig.3.3.5.0. Puntas de prueba en bobina de la dinamo
Recuperado; CICATA, (2019) Manual de programas (2015)

Al finalizar la prueba los datos se manejan y se trasforman a MiliVolts para tener una mejor visualización, debido a que los valores son muy pequeño en esta área.

3.3.6 Diseño y realización de conmutador de polaridad para la bobina de 11 Gauss

Se diseñó un conmutador con una configuración de relevadores funcionando con +5 VCD, este se encargara de invertir la polaridad de la bobina (sentido de la componente By).

Para verificar el diseño, se simulo el circuito en el software “FluidSIM”, se sustituyó a la bobina por un motor de CD (Corriente Directa); veremos el sentido del giro; para cada sentido de giro hay un led indicador el cual nos mostrara que ya ha cambiado, de igual manera se puede observar una flecha en el motor que nos indica la dirección. Se puede observar en las capturas de pantalla (Fig. 3.3.6.0) & (Fig.3.3.6.1)

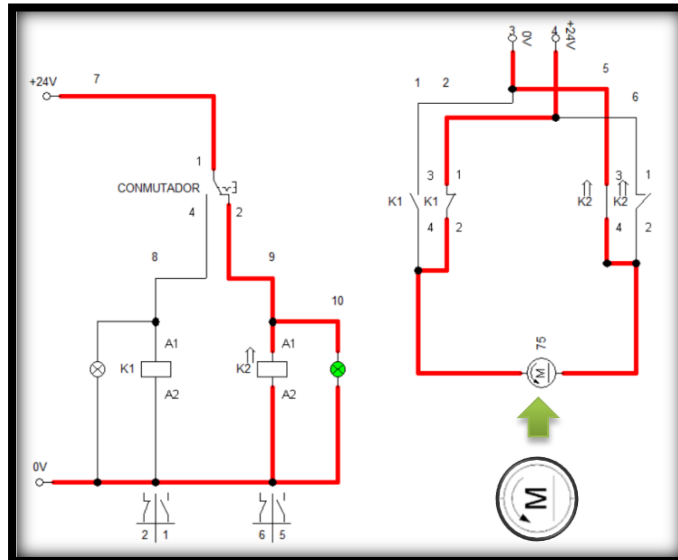


Fig.3.3.6.0. Cambio de polaridad, indicador verde, Giro con sentido anti-horario

COTOC, I. (2019). Diseño propio. Software: FluidSIM

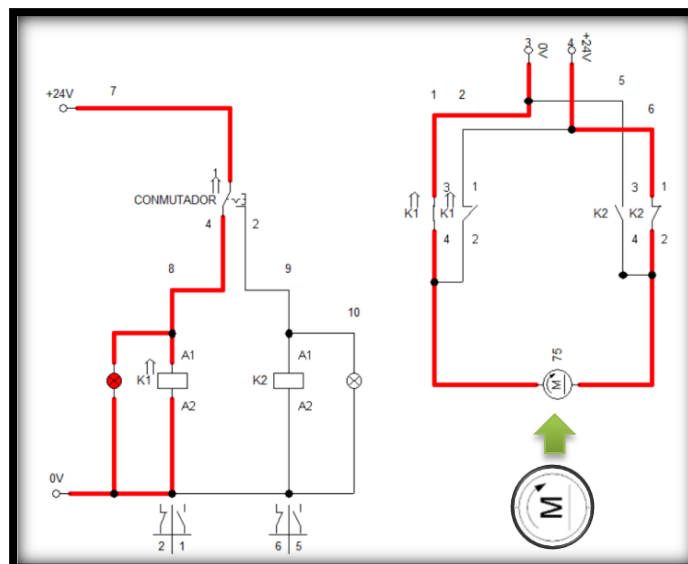
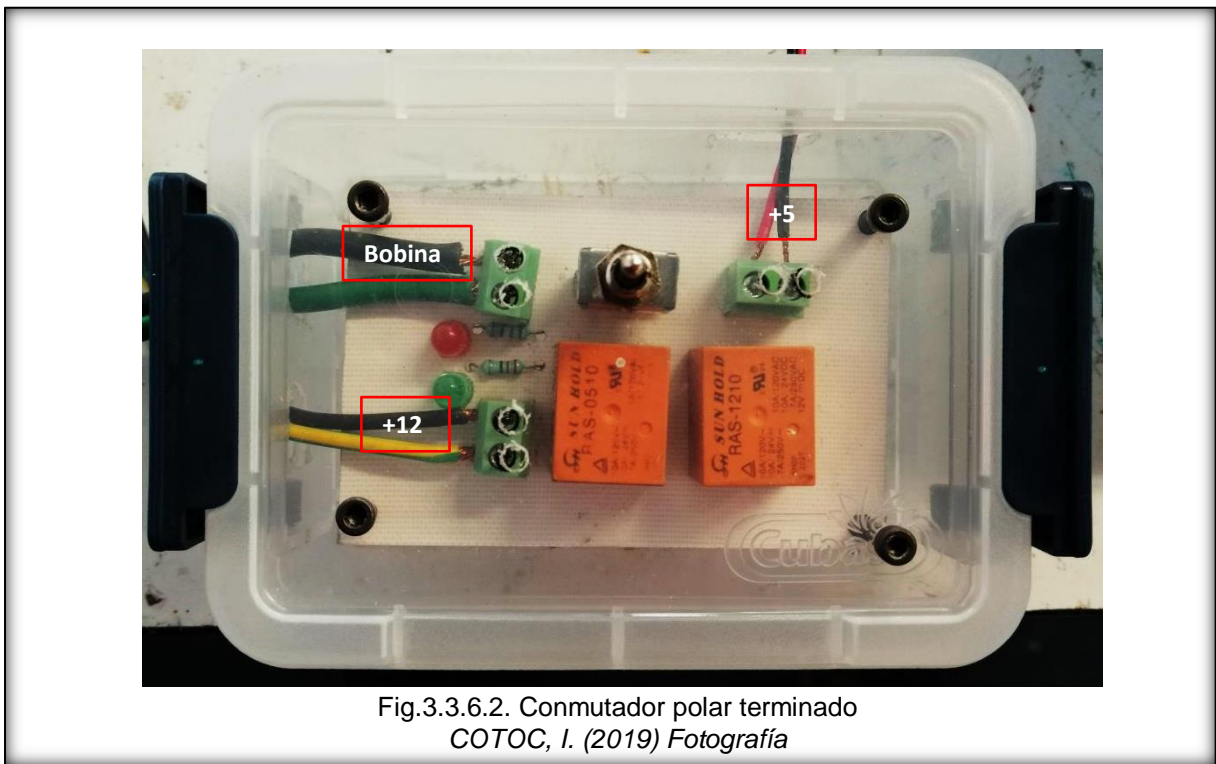


Fig.3.3.6.1. Cambio de polaridad, indicador rojo, Giro con sentido horario

COTOC, I. (2019). Diseño propio. Software: FluidSIM

Se realizó el PCB (Printed Circuit Board) en el software de “Proteus 8”, el diseño de PCB se imprimió en una placa de cobre, procediendo a soldar los componentes necesarios para realizar la función, posteriormente se fijó a una armazón plástica la placa ya con los componentes soldados, para facilitar su movilidad y a su vez proteger la placa del exterior (Fig.3.3.6.2).

En el conmutador tendremos dos entradas de voltaje y una salida; una de +5VCD que servirá para el funcionamiento de los relevadores y otra de +12VCD la cual se encargara de energizar a la bobina, la salida será de +12VCD intercambiando la polaridad cuando se active el interruptor de tres posiciones. La salida de voltaje se comprobó con un multímetro, poniendo las dos puntas en las terminales de salida para la bobina. Se activa en el multímetro el parámetro de voltaje, accionamos el interruptor, observamos los leds prenderse, eso nos indica que una de las polaridades esta activa, según la posición de switch; medimos y vemos en el multímetro valores de +12VCD y -12VCD, se comprobó con esto que está funcionando correctamente.



Se realizó un manual de operación del conmutador y el calculador de bobinas en Excel para mejorar el entendimiento al usuario.



Manual para el uso
de la bobina de 11 Ga

3.3.7 Características de amperímetro de gancho trifásico UT-243 (Tab.3.3.7.0)

UT-243 Datos		
Pantalla	9999 dígitos, LCD, 46 x 42 mm	
Energía activa	1 ~ 9999 kWh	
Alimentación	batería 1.5 V (LR16) (4 Baterías AA)	
Dimensiones (L x Anch. x Gr.)	303 x 112 x 39 mm	
Peso	601 g	
Parámetros	Especificación	Rango
Voltaje AC	Diapasón	150 V / 300 V / 600 V
	Precisión	±(1.2%+5)
Corriente AC	Diapasón	5 A / 250 A / 1000 A
	Precisión	±(2%+5)
Potencia activa	Diapasón	0.01 kW - 600 kW
	Precisión	±(2.5%+5)
Potencia aparente	Diapasón	0.01 kVA ~ 600 kVA
	Precisión	±(4%+5)
Potencia reactiva	Diapasón	0.01 kVAr ~ 600 kVAr
	Precisión	±(4%+5)
Factor de potencia	Diapasón	0.3 ~ 1
Ángulo de fase	Diapasón	0° ~ 360°
Frecuencia	Diapasón	20 Hz ~ 500 Hz

Tab.3.3.7.0 Características de amperímetro de gancho UT-243
Uni-Trend Group Limited. (2010). Operating Manual; Pags.2-8

3.3.9 Mediciones de voltaje, corriente y $\text{Cos } \phi$ en un motor trifásico de prueba, con amperímetro de gancho UT-243

En un motor trifásico diferente al sistema de la dinamo se realizaron pruebas de obtención de datos. Se buscó la hoja de datos para saber en qué tipo de conexión trabaja, de igual manera se verifico al abrir la caja de conexiones del motor y se identificó una conexión **Y** o estrella. Una vez comprobado lo anterior mencionado, se selecciona el tipo de sistema en el que mediremos. Cada una de las fases se conecta de la siguiente manera (Fig.3.3.9.0):

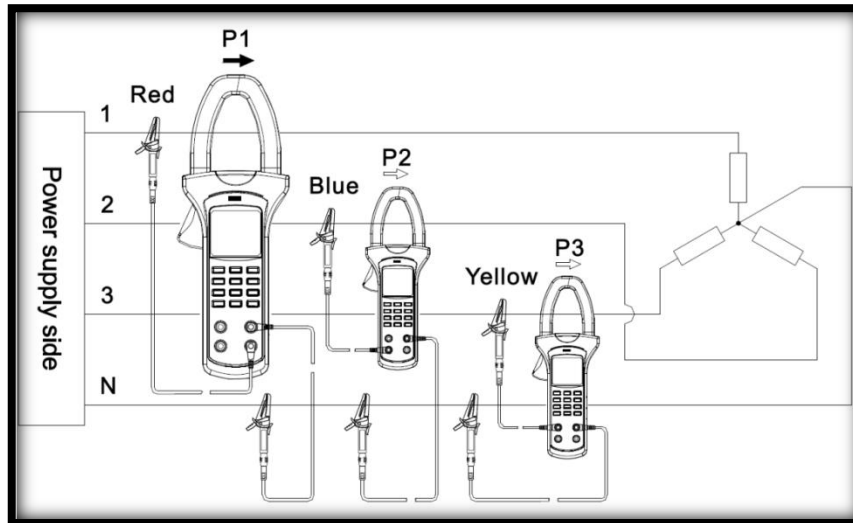


Fig.3.3.9.0 Conexión del amperímetro en un sistema trifásico a 4 hilos
Uni-Trend Group Limited. (2010). Operating Manual; Pag.17

Momentáneamente se realizó unas terminales en una tabla de madera para poder medir en el motor de prueba, para así obtener valores de una fase; ángulo de fase, voltaje y corriente (Fig.3.3.9.1) & (Fig.3.3.9.2)

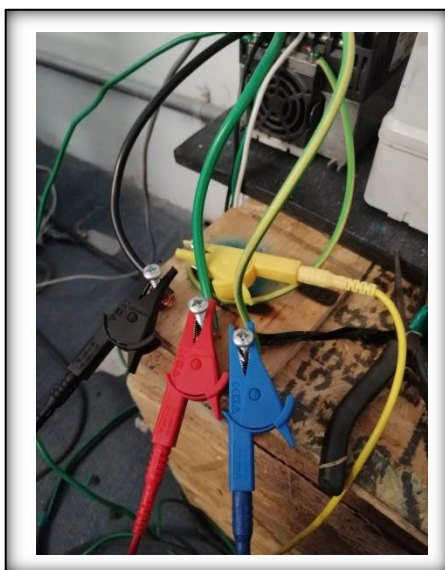


Fig.3.3.9.1 Puntas de prueba, conectadas a terminales
COTOC, I. (2019). Fotografía



Fig.3.3.9.2 Amperímetro de gancho UT-243 funcionando
COTOC, I. (2019). Fotografía

Se conecta el cable USB de datos al multímetro y después al ordenador donde esté instalado el software “UNI-T”, se enlaza para tener una transferencia de datos exitosa.

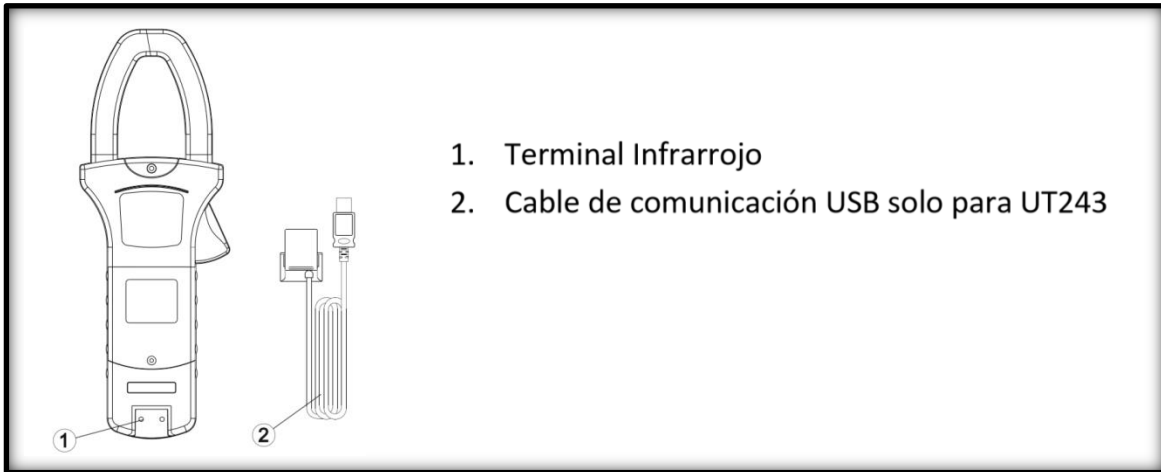


Fig.3.3.9.3 Transmisión de datos por USB en UT-243
Uni-Trend Group Limited. (2010). Operating Manual; Pag.11

Se abre “UNI-T” el software del wattmetro, interfaz de UT-243 que nos servirá para observar los datos de las mediciones, así como la gráfica de estos. A su vez cuenta con una funcionalidad de almacenarlos en un archivo de formato “.txt” o “.xls” (Fig.3.3.9.4)

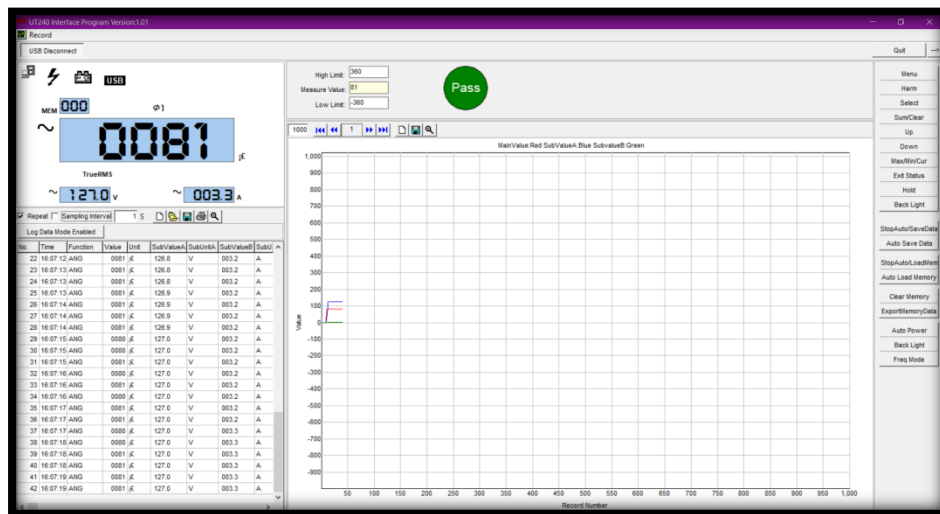


Fig.3.3.9.4 Interfaz transferencia de datos del UT-243
Uni-Trend Group Limited. (2010). Interfaz UNI-T

Previamente realizaron en un trabajo de maestría, una interfaz de control en el software de programación gráfica, Labview; es la que se muestra en la (Fig.3.3.9.5), en ella se puede configurar el sentido de giro, la frecuencia y alguna configuración a desear que se efectúe en el motor; todos los datos que arroje y lea el VFD serán guardados en un archivo, datos que a su vez se muestran gráficamente en tiempo real.

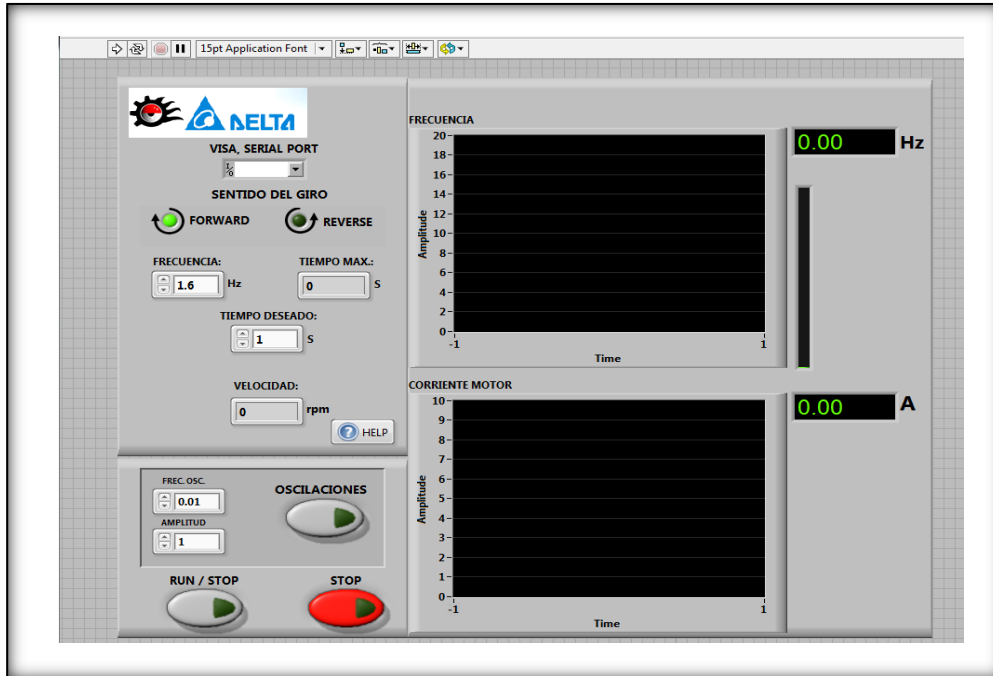



Fig.3.3.9.5 Interfaz de control en Labview
CICATA. (2017), Interfaz Labview; Captura de pantalla (2019).

La primera prueba consiste en realizar mediciones de un motor trifásico, externo al sistema de la dinamo. El fin de experimentar el uso del wattmetro es comprobar los datos de medición que se obtendrán del amperímetro, con los datos que obtiene el VFD por medio de Labview. Estas pruebas servirán para relacionarse con el uso del dispositivo y los comandos necesarios para efectuar las mediciones.

1. Conectamos el VFD a la PC
2. Seleccionamos el puerto COM en donde está conectado el convertidor USB-RS485
3. Para iniciar el programa, se da click en la flecha que está en la parte superior aparecerá una ventana para escoger la ubicación para guardar el archivo y aceptamos, a continuación se iniciara el programa 
4. Ingresamos un valor de 60Hz a la frecuencia y configuramos una oscilación con una amplitud de 4 y una frecuencia de 0.2.
5. Para hacer funcionar el motor, dar Click en el botón de RUN/STOP

El programa inicia y el motor funciona, se registran datos en Labview y en UNI-T, la interfaz de Labview se ve de la siguiente manera (Fig.3.3.9.6)

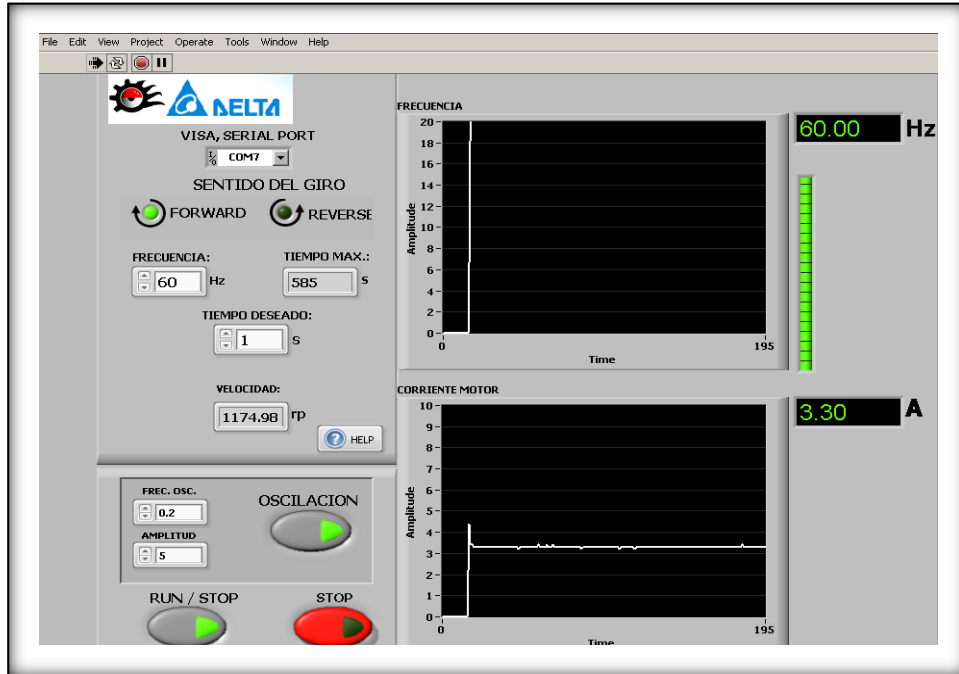


Fig.3.3.9.6 Interfaz de control del motor trifásico, en funcionamiento CICATA. (2017), Interfaz Labview; Captura de pantalla (2019).

En la (Fig.3.3.9.6) se observa las gráficas de corriente, la frecuencia de funcionamiento y los valores de oscilación que se le ingresaron. La oscilación se activa cada minuto para poder observar el comportamiento en los datos que obtengamos en el UT-243. Los datos del UT-243 se pasan a una hoja de cálculo de Excel y se grafican para mirar el comportamiento del motor al ingresarle la oscilación (Fig3.3.9.7)

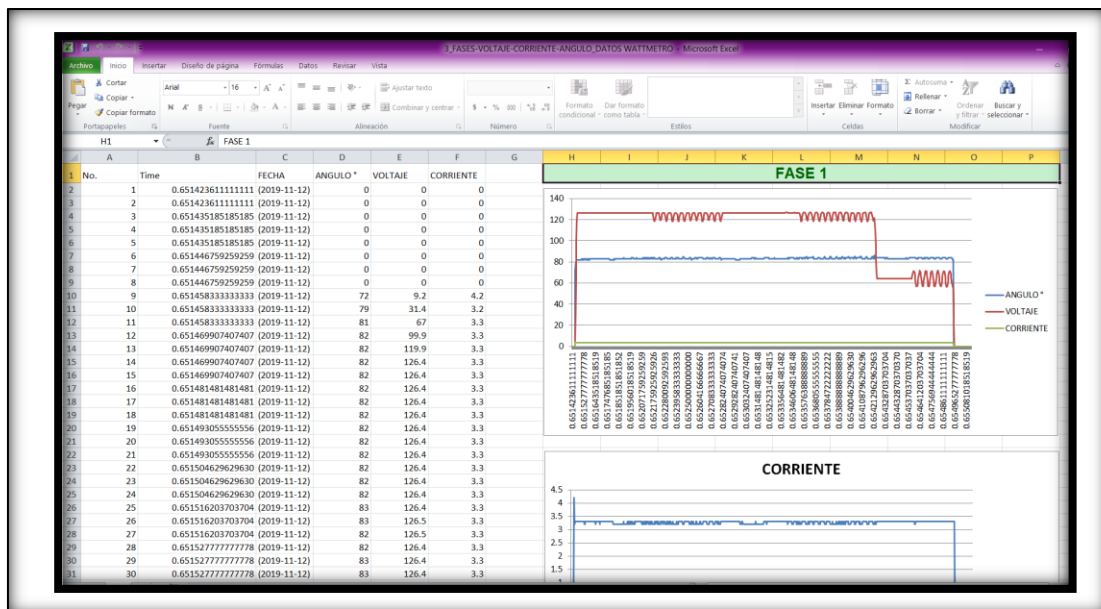


Fig.3.3.9.7 Datos de Angulo de fase, voltaje y corriente; con sus respectivas gráfica obtenidos con UT-243
COTOC, I. (2019). Gráficos realizados en Excel; Captura de pantalla.

En base a las pruebas y mediciones anteriores se realizó un manual experimental para facilitar el uso del Amperímetro de Gancho UT-243 (Wattmetro) así como la transferencia de datos al ordenador; para observarlo dar click en el siguiente icono del documento:



Manual de medición
con amperímetro.pdf

3.3.10 Mediciones de voltaje, corriente y $\text{Cos } \phi$ en el motor trifásico del sistema de la dinamo

Como la prueba anterior, se tiene que identificar el tipo de conexión con la que trabaja el motor trifásico, con la hoja de datos y verificarla en la caja de conexiones; se observó que tienen una conexión tipo Δ (Delta).

En base a lo anterior se determina el tipo de conexión de cómo se conectara el dispositivo de medición; es la siguiente (Fig.3.3.10.0)

Nota:

Se me es estrictamente prohibida la divulgación, de los datos obtenidos de la dinamo. Este proyecto aún está en investigación por el instituto

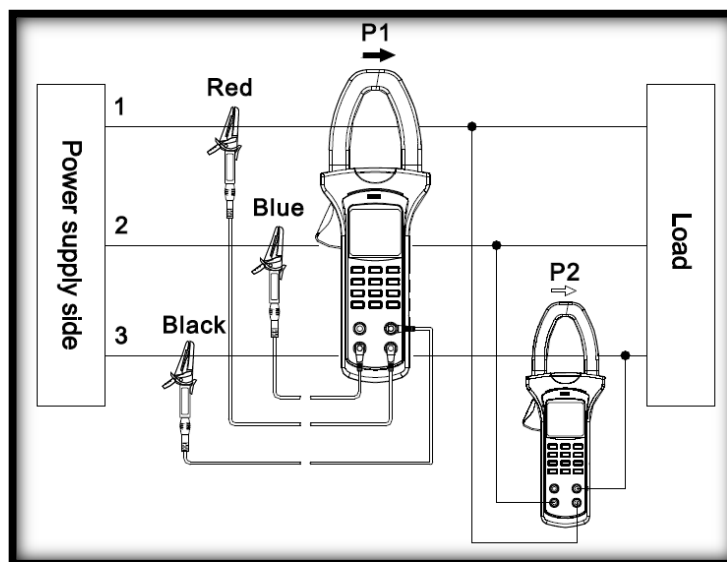


Fig.3.3.5.10.0 Conexión del amperímetro en un sistema trifásico a 3 hilos
Uni-Trend Group Limited. (2010). Operating Manual; Pag.18

Como el dispositivo requiere que las puntas tipo caimán se conecten a las fases, se realizaron unas terminales de fácil contacto a los caimanes, quedo de la siguiente manera (Fig.3.3.10.1)



Fig.3.3.10.1 Terminales para conectar UT-243
COTOC, I. (2019). Fotografía

La conexión del wattmetro y las puntas de prueba; así como el gancho en el conductor de la fase en donde se tomaran los datos. Queda de la siguiente manera (Fig.3.3.10.2)

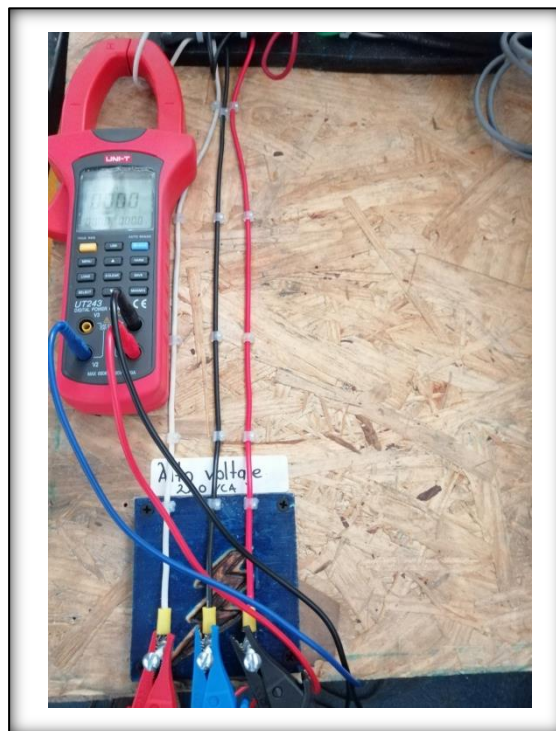


Fig.3.3.10.2 Puntas de prueba, conectadas en las terminales y gancho en el conductor
COTOC, I. (2019). Fotografía

4. Conclusiones

Caracterizar este tipo de generadores, funcionales con metal líquido; tuvo una ligera complicación en la metodología, por la diferencia en la configuración y estructura, en comparación a la que un generador ordinario está constituido. Funcionan con los mismos principios pero la forma en la construcción de estos, varia. Genera una ligera incertidumbre con el método que se usa en las maquinas eléctricas. En el trayecto se desarrolló técnicas y se usó dispositivos de medición para efectuar la caracterización que requería el trabajo de investigación. Toda la metodología fue plasmada en manuales para facilitar el uso y entendimiento.

Se encontró en el cálculo que en los generadores con los que se trabajó, constaban de una resistencia muy diminuta, circulando altas corrientes pero con un diferencial de potencia bajo. Estas fueron calculadas y comprobadas, realizando las mediciones y visualización por medio de uso de software de programación estructurada (Labview)

Se observó la auto-excitación con un campo inicial diminuto como el de la tierra con un valor de 0.365 Gauss (Dependiendo la ubicación en el planeta). Se induce corrientes en la bobina cuando inicia el efecto de auto-excitación, genera un campo mayor al inicial al girar con los contactos deslizantes de metal líquido. Generando a su vez un diferencial de potencial, que se visualizó en tiempo real, con labview

La energía cinética rotatoria de la dinamo es inyectada por un motor trifásico, al cual se le realizo mediciones de potencia activa, en el momento del funcionamiento del experimento. Esta información sirvió para obtener la información de la transformación de energía en todo el sistema.

Se concluyó con éxito la caracterización en los puntos que solicito el investigador del instituto.

5. Referencias Bibliográficas

1. Federick J. bueche & Eugen Hetch. (2007). Física General. Mexico: McGraw-Hill Interamericana
2. J. Priede & R. A. Avalos-Zúñiga. (2013). Feasible homopolar dynamo with sliding liquid-metal contacts: Physics letters A, 267
3. K. H. Raedler & M. Rheinhardt. (2002). Can a disc dynamo work in the laboratory? :Magnetohydrodynamics, 38
4. R. A Avalos-Zúñiga, J. Priede & C. E Bello-Morales. (2017). A homopolar disc dynamo experiment with liquid metal contacts : Magnetohydrodynamics, 53 No.1
5. Serway, Raymond A.; John W. Jewett, Jr. (2014). Física para ciencias e ingeniería Vol.2. Santa Fe: CENGAGE