



Una formación de calidad  
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias  
15 al 18 de Septiembre de 2015

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BOBINAS DE TESLA. DC

Jorge Herney Rivera Madroñero, Julián David Colorado

Universidad Santiago De Cali  
Cali, Colombia

## Resumen

Para construir y entender el funcionamiento de una bobina de tesla, es necesario tener conocimientos de las leyes del electromagnetismo, tales como: la "Ley de Faraday", La "ley Ampere" y la "Ley de Gauss" a partir de las cuales se ha implementado el diseño y construcción de una Bobina de Tesla en DC, la que genera una descarga de corto alcance, que no es letal para quien la manipule, además el campo electromagnético permite realizar transferencias inalámbricas de energía, generando ionización y ozono del aire. En este caso, se decidió construir una bobina de bajo poder con fines académicos, de forma que se pueda demostrar visualmente que el aire se ioniza cuando el capacitor alcanza altos voltajes, generando un arco eléctrico que descarga toda la energía del capacitor a través de la bobina.

**Palabras clave:** construcción; bobina; electromagnetismo

## Abstract

*To build and understand the tesla coil functioning, we should have knowledge of electromagnetic fields, such as "Faraday's Law", the "Ampere's law" and the "Gauss's Law" from which it has implemented the design and building our Tesla coil in DC, which generates a burst of short-range, which is not lethal to anyone handling, this electromagnetic field also allows wireless transfer of energy, and generate ozone and air ionization. In this case, we decided to construct a tesla coil low power for educational purposes, so we can visually demonstrate that air is ionized when the capacitor reaches high voltages, generating an electric arc that discharge all the energy of the capacitor through the coil.*

**Keywords:** *construction; coil; electromagnetic*

## 1. Introducción

La idea principal al desarrollar el proyecto “Bobina de Tesla” es entender su funcionamiento paso a paso, desde la construcción de un circuito oscilador de frecuencia que inyecta una onda pulsante a la entrada del transformador, pasando por la transmisión de energía al romper la barrera del aire a través de los explosores, hasta la liberación de dicha energía en forma de arco voltaico a la salida de la bobina secundaria. Lograr éste objetivo tiene la finalidad de entender una de las aplicaciones más importantes de los campos electromagnéticos y compartir los conocimientos adquiridos de los procesos que se generan en el diseño y construcción de la bobina, cuyos principios de funcionamiento son básicos en el entendimiento de la interacción de los campos eléctricos y magnéticos.

## 2. Teoría de Campos Electromagnéticos

Para entender que son los campos electromagnéticos se deben tener claros los conceptos de las ecuaciones que los rigen y éstas se encuentran reunidas en un conjunto con nombre propio “Ecuaciones de Maxwell”

Puntualmente se deben entender los conceptos de las ecuaciones de Maxwell para campos electromagnéticos estáticos, esto debido a que la “bobina de Tesla” realizada trabaja en DC.

### 2.1 Ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell son cuatro y su objetivo es describir los fenómenos que se presentan tras la unificación de los campos eléctricos y magnéticos en uno solo, “El Campo Electromagnético”.

#### 2.1.1 Ley de Gauss

La ley de Gauss establece que el flujo eléctrico total a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga total encerrada por esa superficie.

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

#### 2.1.2 Ley de Gauss para el campo magnético

Es la ley de Gauss para el magnetismo, esta ley establece la no existencia de monopolos magnéticos, estableciendo que las líneas de campo son cerradas, es decir, no tienen ni principio ni fin.

$$\oint_S B \cdot dS = 0$$

### 2.1.3 Ley de Faraday (Conservatividad del campo electrostático)

No es más que la ley de Faraday, que describe como las líneas de campo eléctrico rodean cualquier superficie a través de la cual existe un flujo magnético variable y relaciona el campo eléctrico con la variación de campo magnético.

$$\oint_C E \cdot dl = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_S B \cdot dS$$

### 2.1.4 Ley de Ampere

Esta ley describe como rodean las líneas de campo magnético a una superficie a través de la cual está pasando una corriente o existe un flujo eléctrico variable.

$$\oint_C B \cdot dl = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt} = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d}{dt} \int_S E \cdot dS$$

## 3. Componentes del circuito eléctrico

### 3.1 Transformador

El transformador es un elemento eléctrico, que por medio de inducción entre dos bobinas interconectadas por un núcleo de ferrita permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito de corriente alterna, basándose en el fenómeno de inducción electromagnética entre bobinas, a las bobinas se les hace referencia como devanados, estos transformadores constan de devanado primario el cual recibe la electricidad de una fuente e induce un flujo magnético en el devanado secundario el cual se encarga de generar una tensión de salida.

Símbolo Estructura

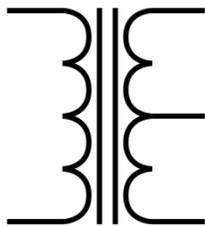


Figura 1. Símbolo del transformador

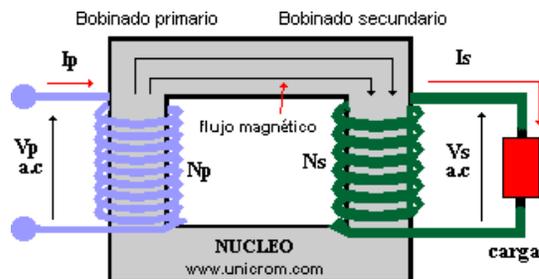


Figura 2. Estructura del transformador ([www.unicrom.com](http://www.unicrom.com))

### 3.2 Condensador

El condensador es un dispositivo pasivo que se utiliza en la electricidad y en la electrónica, este dispositivo permite almacenar energía eléctrica sustentando un cierto campo eléctrico.

Está formado por dos superficies conductoras en forma de láminas o de placas, en situación de influencia total, es decir que sus líneas de campo eléctrico parten de una hacia otra.

Estas placas se encuentran separadas por un material dieléctrico o por el vacío y están sometidas a diferencias de potencial, así adquieren una carga eléctrica pasiva en una capa y una carga eléctrica negativa en la otra, siendo la variación de la carga total nula.

#### 3.2.1 Condensador en serie

Los condensadores pueden acoplarse en serie y/o paralelo, de esta manera se obtiene una capacidad equivalente para el conjunto de capacitores, que se pueden calcular con expresiones simples. Además se pueden conocer las caídas de potencial que se generan y la carga almacenada en cada uno de los condensadores.

Para el acoplamiento en serie de los condensadores, se conectan en una misma secuencia uno tras otro, lo que permite obtener una capacidad total entre el primero y el último de la secuencia.

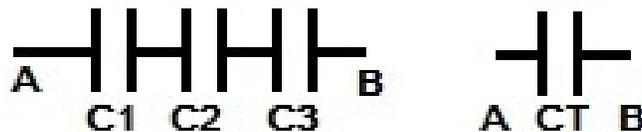


Figura 3. Capacitancia en serie

#### 3.2.2 Capacidad total en serie

La capacidad total en serie se calcula sumando las inversas de cada una de las capacidades y calculando la inversa del resultado.

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

#### 3.2.3 Tensión de capacitores en serie

La suma de las caídas de tensión de cada capacitor da como resultado la tensión total aplicada entre los bornes.

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

#### 3.2.4 Condensador en paralelo

El acoplamiento en paralelo de los capacitores se realiza conectándolos todos a los mismos dos bornes.

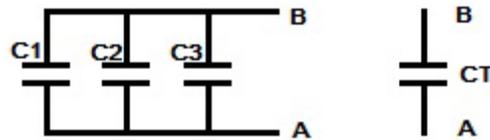


Figura 4. Capacitancia en paralelo

### 3.2.5 Capacidad total en paralelo

La capacidad total en paralelo se calcula sumando las capacidades de cada uno de los capacitores.

### 3.2.6 Tensión de condensadores en paralelo

Al estar acoplados todos los condensadores por un mismo conductor, se encuentran todos a la misma diferencia de potencial, por lo tanto la tensión de cada uno es igual a la de otro e igual a la total.

## 3.3 Inductancia

La inductancia es una medida de la oposición de un circuito o dispositivo a un cambio en la corriente. La inductancia para cualquier bobina, independientemente de su forma, tamaño o característica, se puede calcular por medio de la fórmula de Wheeler:

Fórmula de Wheeler

$$L_s = \frac{R^2 N^2}{2540(9R + 10H)}$$

Ls: Inductancia del secundario ( $\mu\text{H}$ )

R: Radio del secundario (cm)

H: Altura del secundario (cm)

N: Número de vueltas

## 3.4 Resistencia

El termino conductancia describe el grado de eficiencia con el que un material permite el flujo de corriente a través del mismo. Entre más alta sea la conductancia del material o un metal, mayor será el flujo de corriente que lo atraviese. De igual manera entre más baja sea la conductancia del material o de un metal, menor será el flujo de corriente que lo atraviese.

Entonces los materiales que presenten baja conductancia, es decir, se oponen al paso del flujo de corriente, presentan mayor resistencia eléctrica.

La resistencia eléctrica es la oposición al paso de la corriente eléctrica en un circuito cerrado, cualquier carga eléctrica conectada a este circuito presentara una resistencia

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

para que la corriente circule.

#### 4. Construcción De Bobina De Tesla

Para la construcción de una bobina de tesla se debe tener en cuenta la naturaleza de su funcionamiento, al ser un transformador resonante, para así realizar el circuito ideal. Teniendo en cuenta que será un dispositivos de baja potencia con respecto a las bobinas de Tesla en AC, se debe generar un campo electromagnético fuerte en una bobina solenoide, la cual inducirá corriente en una segunda bobina solenoide, la primera bobina tendrá un potencial eléctrico con un valor mayor a 1000 voltios, necesario para romper la resistencia del aire y dar paso a la generación de un arco voltaico.

La bobina secundaria es la encargada de disminuir la corriente proveniente de la inducción de la primera bobina, además, ésta aumentara el potencial eléctrico proveniente del campo magnético de la anterior, entonces la bobina secundaria al tener una tensión tan elevada por medio de radiación electromagnética, se encargara de transmitir inalámbricamente la energía eléctrica, para esto se necesita también una alta frecuencia en la onda oscilatoria transmitida.

Se puede observar que las "Bobinas de Tesla" actuales son diseñadas para obtener un efecto visual de los arcos eléctricos que produce su descarga, mientras que el diseño original tenía la finalidad de transmitir energía eléctrica sin la necesidad de un conductor eléctrico, por tal razón utilizaba enormes superficies con grandes radios de curvatura para evitar descargas de corona y perdidas a causa de los streamers.

Se describirá el paso a paso en el proceso de construcción de una "Bobina de Tesla" en DC, al ser en corriente continua se debe realizar una serie de procesos, tanto para la elevación del voltaje por encima de los 1000 voltios como para la generación de una frecuencia oscilatoria dentro del rango 8khz y 100khz. Al hacer esto, como ya se había planteado, se generan arcos voltaicos en la salida de la bobina secundaria, estos arcos se verán al tener una masa cercana en la cual se hace una descarga, si no hay masa cercana esta bobina propagara libremente la electricidad estática que genera a través de su campo electromagnético, lo cual indica que al no haber carga no se generara la descarga de un arco voltaico.

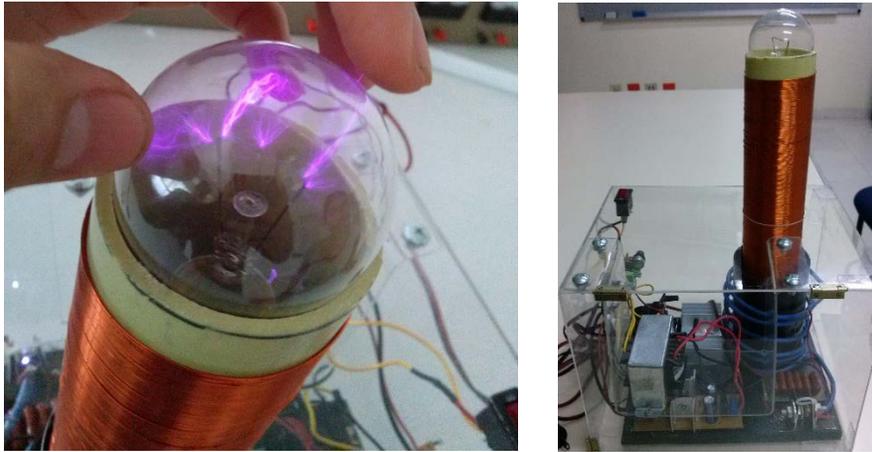


Figura 5. Imágenes del montaje físico

Para construir una bobina de Tesla es necesario contar con una fuente de poder estable. La intensidad de los arcos eléctricos de la bobina depende principalmente de la cantidad de watts que puedan ser proporcionados por la fuente de poder.

Se debe tener en cuenta que dependiendo de la potencia de la fuente se pueden trabajar mejor los procesos de generación de la onda oscilatoria de alto voltaje, además de que éstas bobinas, al tener un mayor potencial eléctrico, tendrán un mayor rango de trabajo para hacer la descarga, lo que quiere decir que a mayor potencial eléctrico se podrá obtener un mayor alcance del arco voltaico que se genera entre la bobina de secundaria y la masa en la cual se hará esta descarga eléctrica. Se ha logrado ver arcos voltaicos que superan un alcance de más de 1 metro de distancia, pero para hacer esto se requerirá un potencial mucho mayor para un óptimo funcionamiento en AC.

Se debe tener en cuenta que al tener una amplitud tan grande de potencial en la onda, es necesario reducir la corriente eléctrica de la misma, de manera que esta tenga una mejor propagación en el aire y no sea letal para los seres vivos que se encuentren dentro del rango de descarga, también se debe considerar que una alta corriente puede sobrecargar el circuito de la bobina, lo cual hará que ésta se torne inestable, y se haga daño así misma o destruya algunos materiales ubicados dentro de su rango de alcance.

En este caso, al trabajar con una bobina DC se realizara una serie de configuraciones de varios circuitos electrónicos.

A continuación se visualiza el diagrama de bloques (Fig. 6), de la interconexión y organización de estos circuitos, los cuales permitirán generar la transmisión de energía.

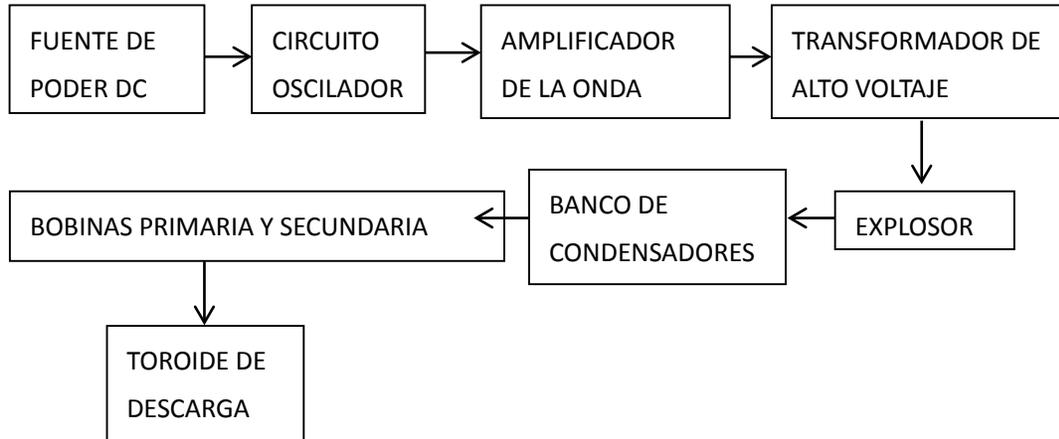


Figura 6. Diagrama de bloques

Ya que se requiere una onda pulsante en la entrada del transformador de alto voltaje para poder incrementar el potencial se implementó un circuito oscilador. Para construir el circuito, se empleó un integrado LM555. Se debe tener en cuenta que el circuito integrado 555 no tolera voltajes muy altos. Para hacer ajustes en la frecuencia y maximizar el efecto de resonancia, se utilizó un potenciómetro en el circuito de control.

El transistor que actúa como interruptor de alta velocidad para insertar la señal al transformador debe ser de potencia, o bien, se puede emplear un MOSFET para insertarle todo el poder posible al transformador y así obtener arcos más grandes. El transistor empleado como interruptor es el 2N3055.

De la terminal de salida del circuito construido con el reloj 555, la señal generada (onda cuadrada) es inyectada a la base del transistor para activarlo. Es recomendable emplear un buen disipador de calor en el transistor, puesto que este se calienta considerablemente, y si no se disipa el exceso de calor apropiadamente el componente puede dañarse. Cuando el circuito oscilador está listo, es necesario insertar la señal proveniente del transistor a la fase primaria del transformador. Para determinar tanto las terminales de entrada como tierra en un transformador.

Luego de conectarse el transformador al circuito oscilador, se seguirá con la siguiente fase la cual consiste en construir un explosor, acoplar un capacitor y una bobina para hacer el efecto de resonancia y construir así la "bobina de Tesla".

El explosor se compone de un par de terminales de acero separadas por aire. El aire se ioniza cuando el capacitor alcanza altos voltajes, generando un arco eléctrico que descarga toda la energía del capacitor a través de la bobina, y genera a la vez un impulso electromagnético de corta duración y de magnitud considerable que induce un alto voltaje en la bobina secundaria generando así los deseados arcos eléctricos.

El capacitor empleado en la bobina que se muestra (Figura 5) en este proyecto, tiene una tolerancia de 1.6KV. Debido a que la bobina a construir requiere de voltajes más altos, debe entonces emplearse un capacitor en el que su tolerancia al voltaje exceda al voltaje que se va a manipular, ya que de lo contrario puede ocurrir en una explosión de dicho componente.

En el caso del explosor, se usó un par de piezas esféricas de acero, para poder realizar ajustes entre la separación de estos, con una separación de alrededor de 1mm. El explosor, debido a los altos voltajes que maneja, crea una atmosfera de ozono en su entorno por lo que estos tienden a oxidarse rápidamente.

Cuando se tiene listo el explosor, se debe conectar al capacitor y la bobina. La bobina se puede construir sobre un tubo de PVC. Las dimensiones varían dependiendo de la intensidad de los arcos eléctricos que se desee generar. Si se desea que los arcos tengan una longitud superior, es recomendable construir una bobina con una altura considerable. En este caso se utilizó un tubo de PVC como base, (seis centímetros de diámetro) en el cual alambre de cobre (Calibre 24) fue enrollado hasta alcanzar una altura aproximada de 30cm.

Teniendo como referencia la terminal a tierra de la bobina, (el extremo inferior de la bobina, donde se iniciara a enrollar el alambre), Se comenzó a bobinar en el sentido de las manecillas del reloj hasta obtener la altura deseada. Esta constituye la bobina secundaria del circuito en la que los arcos eléctricos son expulsados al aire.

Cuando se tiene construida la bobina sobre el tubo de PVC (bobina secundaria), ésta es situada en el interior de otra bobina de 4 o 5 vueltas conectada al circuito de alto voltaje (explosor y capacitor).

La frecuencia de resonancia puede ser ajustada con el potenciómetro, la capacitancia del condensador conectado a la salida de alto voltaje del transformador, o la separación entre las terminales del explosor.

Al tener el proyecto ensamblado, se ajusta el potenciómetro y la distancia entre las terminales del explosor para obtener arcos en el secundario de la bobina. Si por alguna razón no se consigue generar arcos de magnitud suficiente o no se generan arcos, es recomendable cambiar el condensador por uno de mayor capacitancia, y reajustar la frecuencia.

A continuación se observan los circuitos configurados para el funcionamiento de la "bobina de tesla".

#### 4.1 Diagrama completo del circuito de la bobina de tesla

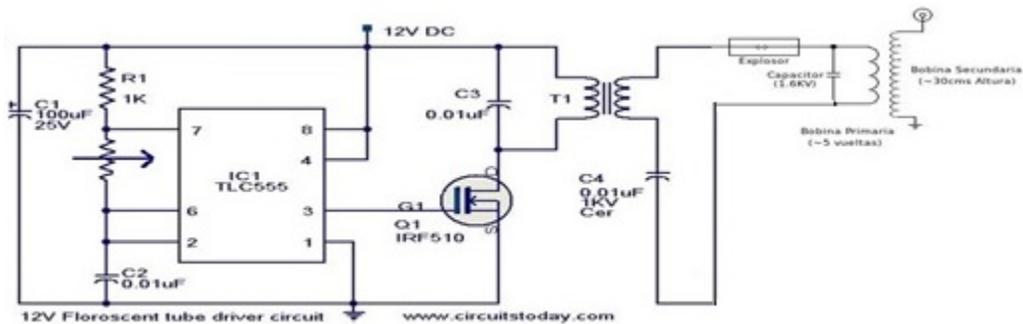


Figura 7. Diagrama de bloques del circuito. ([www.circuitstoday.com](http://www.circuitstoday.com))

### 5. Conclusiones

5.1 La idea principal fue mostrar un prototipo académico que despierte el interés de los estudiantes en la ingeniería electrónica, y se ha podido constatar en las visitas realizadas a diferentes colegios de la ciudad de Cali, que los estudiantes muestran gran interés por el proyecto, causa curiosidad y deseo de obtener información acerca de éste y la carrera, lo cual conlleva a la captación de estudiantes hacia el estudio de la electrónica.

5.2 Por medio del taller se demostrará que la construcción de la bobina es relativamente sencilla si se poseen conocimientos básicos de electromagnetismo, modelos matemáticos sencillos y electrónica.

5.3 Se puede constatar que para realizar el montaje de la bobina que se requieren las leyes básicas de la teoría electromagnética, modelos matemáticos tomados de ecuaciones diferenciales y cálculo vectorial.

### 6. Resultados

A la terminación del proyecto se obtuvieron los siguientes resultados:

- Medición del campo electromagnético.
- Mediciones de inductancia y capacitancia adecuadas para una correcta resonancia entre las bobinas.
- Comprobación de la obtención de una frecuencia variable.
- Comprobación de un rango de ionización del aire.
- Incentivación de estudiantes a estudiar ingeniería.
- Se utilizó como prototipo para la realización de una bobina de Tesla en AC de mayor tamaño.

## 7. Referencias

### Libros

- Matthew N. O. Sadiku (2002). Elementos de electromagnetismo. alfaomega, Oxford México, D.C.
- David K. Cheng (1998). Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería. Pearson, New York - USA, D.C.
- Willian H. Hayt (1968).análisis de circuitos en ingeniería séptima edición. McGraw-Hill

### Fuentes electrónicas

- Ecuaciones de Maxwell [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/electromagnetismo\\_leyes.htm#EcuacionesMaxwell](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/electromagnetismo_leyes.htm#EcuacionesMaxwell)
- Teoría de condensadores <http://yeisonmosqueraelectronicafacil.blogspot.com/2013/05/condensadores-o-capacitores-mal.html>
- Ecuaciones de Maxwell para campos electromagnéticos [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201424/CORE\\_2014\\_2/eXe201424/24\\_ecuaciones\\_de\\_maxwell\\_para\\_campos\\_electromagnéticos\\_estáticos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201424/CORE_2014_2/eXe201424/24_ecuaciones_de_maxwell_para_campos_electromagnéticos_estáticos.html)

## 7. Sobre los autores

- **Jorge Herney Rivera Madroño:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santiago de Cali. [jorgeh\\_rivera@hotmail.com](mailto:jorgeh_rivera@hotmail.com)
- **Julián David Colorado:** Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santiago de Cali. [julianjar92@gmail.com](mailto:julianjar92@gmail.com)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)