

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de inductores de baja potencia de fabricación  
nacional”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

**ANDRÉS JAVIER RODRÍGUEZ MORÁN**

**SHIRLEY YOSSELYN SINCHIGUANO ACURIO**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**Año: 2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme salud y vitalidad para terminar mi carrera.

A mis padres Blanca Acurio & José Sinchiguano S. por guiarme por el buen camino, por su gran apoyo, esfuerzo y confianza para culminar mi carrera. Por ser ellos el motor de mi vida, mi fuente de inspiración y mi razón de ser. A mis abuelos por cuidarme desde el cielo.

A mis hermanas Verónica y Kerly, mis sobrinos y mi familia en general por todo el apoyo incondicional brindado a lo largo del camino que he recorrido hasta cumplir esta meta. A mis amistades por brindarme su ayuda. Al Ing. Eduardo Mendieta que nos brindó su tiempo y a todas las personas que de alguna otra manera aportaron en el desarrollo de este proyecto.

Shirley Yosselyn Sinchiguano Acurio

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Janet y José, por haberme formado y guiarme durante el camino.

A mis hermanos, Elkin y Joseph, por darme fuerzas en momentos adversos. A mi abuelo, por haber despertado mi interés por la ingeniería.

A mi familia y amistades, por creer en mí y brindarme su ayuda. Al Ing. Eduardo Mendieta, por su guía durante la elaboración del proyecto.

Andrés Javier Rodríguez Morán

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Andrés Javier Rodríguez Morán

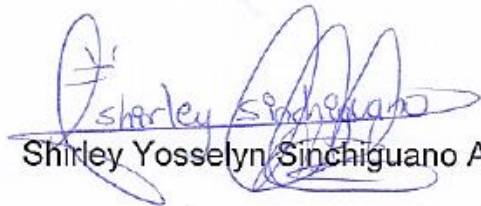
Shirley Yosselyn Sinchiguano Acurio

Ing. Eduardo Mendieta Rengifo

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Andrés Javier Rodríguez Morán



Shirley Yosselyn Sinchiguano Acurio



Ing. Eduardo Mendieta Rengifo

## RESUMEN

En la actualidad en el Ecuador no existe una organización que diseñe y construya inductores de baja potencia, los mismos que son utilizados ampliamente en el campo de sistemas automáticos, transmisores de energía y de seguridad, por lo que se constituye en una importante perspectiva de desarrollo de industrias que puedan ser fabricados y comercializados para diferentes requerimientos técnicos con materiales disponibles en el mercado local; a fin de promover el desarrollo tecnológico y científico dentro del país.

Es por ello que se diseñó eléctricamente y mecánicamente un inductor de baja potencia para aplicaciones como relays, el cual cumple con los requerimientos de operación para obtener el encendido de luces de faros automotrices. Para el diseño de este dispositivo se utilizó las normas IEC 61810 para relés electromecánicos elementales, IEC 60317-38 para el devanado y ASTM B258-14 para el calibre del alambre como referencias, las cuales sirvieron para diferentes cálculos ingenieriles de los componentes mecánicos; como son resorte, pines, núcleo magnético, armaduras, entre otros. Para la selección de los materiales se utilizó el libro MATERIALES ELECTROTÉCNICOS, que especifica los materiales magnéticos para distintas aplicaciones industriales. Y también se utilizó un programa complementario como FEMM software libre para el desarrollo del proyecto.

Se obtuvo como resultado que la fuerza necesaria para accionar la armadura móvil es de aproximadamente 2N y para alcanzar dicha fuerza se calculó una bobina de 520 vueltas con núcleo de acero y alambre de cobre AWG#37. Para ello, se tuvo en cuenta las disponibilidades de los materiales localmente para la fabricación de estos inductores para la aplicación requerida. El prototipo fue construido en base a los cálculos obtenidos, el cual, no tuvo ningún tipo de irregularidad mecánica ni eléctrica, lo cual indica un diseño correcto del dispositivo.

Palabra clave: Inductores, magnetismo, materiales magnéticos, relay.

## ABSTRACT

Currently in Ecuador there is no organization that designs and builds low power inductors, the same ones used extensively in the field of automatic systems, energy transmitters and security, so it constitutes an important industrial development perspective that can be manufactured and marketed for different technical requirements with materials available in the local market; In order to promote technological and scientific development within the country.

For this reason, a low-power inductor was designed electrically and mechanically for applications such as relays, which accomplish the requirements of operation to obtain the lighting of automotive headlights. For the design of this device was used IEC 61810 standards for elementary electromechanical relays, IEC 60317-38 for winding and ASTM B258-14 for wire gauge as references, which served for various engineering calculations of the mechanical components; As son spring, pines, magnetic core, armatures, among others. For the selection of materials used the book MATERIALES ELECTROTÉCNICOS, which specifies magnetic materials for various industrial applications. And complementary programs are also used as FEMM free software for project development.

As a result, the force required to move the moving armature is approximately 2N and to achieve such a force a 520 turns coil was calculated with a steel core and AWG # 37 copper wire. Account the availability of local materials for the manufacture of these inductors for the required device. The prototype was built based on calculations obtained, which, there is no mechanical or electrical failure, which indicates a correct design of the device.

Keywords: Inductors, magnetic materials, magnetism, relay.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE PLANOS .....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.2.1. Objetivo General.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Marco teórico.....	2
1.3.1. Inductor.....	2
1.3.2. Inductores de núcleo de hierro.....	4
1.3.3. Relay.....	4
1.3.4. Clasificación del relay .....	5
1.3.4.1. Relays electromagnéticos.....	5
1.3.4.1.1. Relays de armadura atraída.....	5
1.3.5. Componentes básicos de un relay electromagnético .....	6
1.3.6. Sistema magnético tipo Clapper (armadura atraída).....	6
1.3.7. Uso del relay en sistemas eléctricos de encendido de faros automotrices.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. METODOLOGÍA .....	8
2.1. Flujograma.....	8
2.2. Posibles alternativas .....	9
2.3. Análisis de alternativas .....	11
2.4. Selección de alternativa.....	16
2.4.1. Forma del relay .....	16
2.4.2. Forma del Inductor .....	17

2.5.	Selección de materiales.....	18
2.5.1.	Núcleo del inductor.....	18
2.5.2.	Devanado.....	26
2.5.3.	Pines.....	26
2.5.4.	Armadura fija.....	27
2.5.5.	Conjunto móvil.....	27
2.5.6.	Base y cubierta.....	28
2.6.	Cálculos.....	28
2.6.1.	Fuerza necesaria de armadura móvil.....	29
2.6.2.	Fuerza de atracción electromagnética.....	32
2.7.	Normativas.....	38
2.7.1.	Generales.....	38
2.7.2.	Devanado.....	38
2.7.3.	Calibre de alambre.....	38
2.8.	Proceso de fabricación del relay.....	39
CAPÍTULO 3.....		42
3.	RESULTADOS.....	42
3.1.	Análisis de resultados.....	42
3.1.1.	Resultados generales.....	42
3.1.2.	Materiales.....	43
3.1.3.	Simulación del relay.....	43
3.2.	Análisis de costos.....	44
3.2.1.	Costos de materiales.....	44
3.2.2.	Costos de construcción.....	45
3.2.3.	Costos Total del proyecto.....	45
CAPÍTULO 4.....		46
4.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	46
4.1.	Conclusiones.....	46
4.2.	Recomendaciones.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....		48
APÉNDICES.....		50



## ABREVIATURAS

<i>ESPOL</i>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<i>INEN</i>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<i>IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<i>AC</i>	Alternating current
<i>DC</i>	Direct current
<i>NA</i>	Normalmente Abierto
<i>NC</i>	Normalmente Cerrado
<i>CAD</i>	Computer Aided Design
<i>FEMM</i>	Finite Element Method Magnetics
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission
<i>ASME</i>	American Society of Mechanical Engineers

## SIMBOLOGÍA

$e$	Fem
$L$	Inductancia
$\mu_0$	Permeabilidad del espacio libre
$\mu_r$	Permeabilidad relativa del material del núcleo
$A$	Área de sección transversal del núcleo
$Nv$	Número de vueltas de la bobina
$l$	longitud del núcleo
$gp$	Espacio entre el núcleo y la armadura
$D$	Diámetro sección transversal
$d$	Diámetro del conductor
$d_i$	Diámetro nominal incluido el aislamiento
$d_w$	Diámetro de trabajo del alambre
$D_0$	Diámetro exterior de la bobina
$E$	Espesor
$I$	Intensidad de corriente
$F_m$	Fuerza magnetomotriz
$F_R$	Fuerza del resorte
$K$	Constante del resorte
$X$	Distancia de alargamiento
$R$	Brazo de torque
$M$	Masa
$\tau$	Torque
$g$	Gravedad
$\alpha$	Aceleración angular
$p$	Distancia entre ejes de inercia
$B$	Inducción magnética
$S$	Área de superficie de contacto entre el núcleo y la armadura

$F$	Fuerza de atracción
A-v/m	Amperio-vuelta por metro
$L_b$	Longitud de bobina
A-v	Amperio-vuelta
H	Intensidad del campo
$L_w$	Longitud total del alambre en la bobina
Uds.	Unidades
Kg	Kilogramo
\$	Dólares americanos
m	Metro
A	Amperios
kPa	KiloPascales
$mA$	Miliamperios
N	Newton
T	Tesla
rad/s	Radianes por segundo
$m^2$	Metros cuadrados

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inductancia de una bobina .....	3
Figura 2. Inductor de núcleo ferroso.....	4
Figura 3: Elementos Básicos de un relay electromagnético.....	6
Figura 4. Tipos del sistema magnético de los modernos relays electromagnéticos.....	6
Figura 5. Diagrama de sistema eléctrico de faros automotrices.....	7
Figura 6 Metodología de Diseño.....	8
Figura 7. Alternativa A .....	10
Figura 8. Alternativa B .....	10
Figura 9. Alternativa C .....	11
Figura 10 Núcleo envolvente .....	14
Figura 11 Núcleo modular .....	15
Figura 12. Núcleo acoplado .....	15
Figura 13. Ciclo de histéresis de un material magnéticamente blando .....	24
Figura 14. Esquema armadura móvil .....	29
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de armadura móvil.....	30
Figura 16. Curvas de magnetización en función de la intensidad de campo magnético y el material del núcleo .....	33
Figura 17. Parámetros de devanado.....	35
Figura 18. Relay de fabricación nacional.....	41
Figura 19.Simulación del relay .....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de decisión-diseño de forma del relay .....	16
Tabla 2. Matriz de decisión-diseño de forma del inductor.....	17
Tabla 3. Propiedades eléctricas del latón (60%Cu;40%Zn) .....	26
Tabla 4. Propiedades físicas del acero galvanizado.....	27
Tabla 5. Propiedades físicas del Cobre .....	27
Tabla 6. Propiedades físicas del Plástico PLA.....	28
Tabla 7. Parámetros de diseño .....	28
Tabla 8. Resultados .....	42
Tabla 9. Resultados del Devanado.....	42
Tabla 10 Costos de la parte estructural del relay .....	44
Tabla 11 Costos de Construcción.....	45
Tabla 12 Costo Total.....	45

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Isométrico relay
Plano 2	Vista en explosión
Plano 3	Dimensiones generales
Plano 4	Base
Plano 5	Pin a
Plano 6	Pin b
Plano 7	Pin c
Plano 8	Platina
Plano 9	Armadura móvil
Plano 10	Núcleo
Plano 11	Carrete
Plano 12	Armadura fija
Plano 13	Cubierta

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del problema

El uso de inductores es amplio en el campo de sistemas automáticos, transmisores de energía y de seguridad, por lo que se constituye en una importante perspectiva de desarrollo de industrias que fabriquen diferentes tipos de inductores para diferentes requerimientos técnicos a nivel del Ecuador y países de la región andina. En el desarrollo de este esquema es necesario que el futuro ingeniero mecánico adquiera las destrezas y habilidades que le permitan el uso de materiales disponibles en el Ecuador para en base al diseño técnico usando software adecuado pueda fabricar y desarrollar diferentes aplicaciones de estos dispositivos como por ejemplo relays para aplicaciones vehiculares y de dispositivos disyuntores. En el marco del desarrollo industrial del Ecuador es necesario que estos dispositivos puedan ser fabricados y comercializados en el área regional andina inicialmente y disminuir de esta forma la dependencia tecnológica actual en estas aplicaciones.

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1. Objetivo General

- Diseñar inductores de baja potencia para la producción de relays, empleando recursos y materiales disponibles en el país, impulsando la transformación de la matriz productiva orientando la inclusión de nuevas empresas.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el uso y aplicación de materiales del mercado local para la fabricación de inductores de uso comercial.
- Diseñar mecánicamente la estructura y soporte de diversos tipos de inductores para su fabricación a nivel nacional y regional.
- Construir en base a especificaciones técnicas inductores de baja potencia para aplicaciones industriales de control y seguridad usando materiales disponibles en el mercado nacional ecuatoriano.

## 1.3. Marco teórico

### 1.3.1. Inductor

Un inductor es un dispositivo que puede almacenar la energía en forma de campo magnético y la entrega cuando es necesario. Bobinas, solenoides y toroidales son todos ejemplos de inductores. Siempre que la corriente pasa a través de un conductor, se generan líneas de flujo magnético a su alrededor. Este flujo magnético se opone a cualquier cambio en la corriente debido a la *fem* inducida. Esta oposición al cambio en la corriente se conoce como inductancia y el componente que produce la inductancia se conoce como inductor. La unidad de inductancia es Henry [H]. La *fem* inducida, es realmente dada por:

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$e$  = *fem* inducida [V]

$L$  = Inductancia [H]

$\frac{di}{dt}$  = Tasa de cambio de corriente

El signo negativo en la ecuación anterior indica que la *fem* inducida. Se opone a la causa del cambio de corriente.



Un inductor es usualmente una bobina de hilo de cobre enrollado alrededor de un núcleo compuesto de un material ferromagnético, como se muestra en la Figura 1. La inductancia (L) de la bobina viene dada por:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r AN^2}{l} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

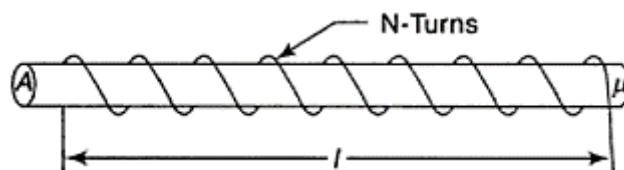
$\mu_0$  = Permeabilidad del espacio libre =  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m =  $1,257 \times 10^{-6}$  H/m

$\mu_r$  = Permeabilidad relativa del material del núcleo

A = Área de sección transversal del núcleo

N = Número de vueltas de la bobina

l = Longitud del núcleo



**Figura 1. Inductancia de una bobina**

Fuente: (Salivahanan, 2008)

Por lo tanto, el valor del inductor depende de los siguientes factores: Número de vueltas, permeabilidad del material del núcleo y tamaño del núcleo.

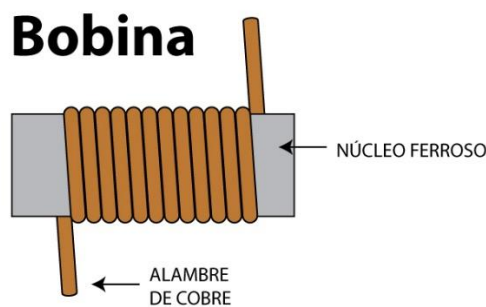
Los inductores se pueden dividir en tres categorías dependiendo del tipo de núcleo utilizado. Son:

- Inductores de núcleo de aire
- Inductores de núcleo de hierro
- Inductores de núcleo de ferrita

### 1.3.2. Inductores de núcleo de hierro

Tienen una bobina que contiene un número de vueltas de alambre de cobre enrollado en una estructura hueca y el material de núcleo pasa a través de la estructura de tal manera que forma una trayectoria magnética cerrada para el flujo magnético. La estructura se compone de papel o material plástico. El núcleo se compone generalmente de acero de silicio (un material ferromagnético que tiene alta permeabilidad) en forma de hojas laminadas delgadas. Se utilizan hojas laminadas en lugar de masa sólida para reducir la histéresis y las pérdidas por corrientes parásitas.

Los transformadores de núcleo de hierro se utilizan en aplicaciones de baja frecuencia como circuitos de filtro en fuentes de alimentación, estrangulamientos en tubos fluorescentes o como elemento reactivo en circuitos AC. El valor de los inductores está generalmente en el orden de unos Henrios. (Salivahanan, 2008)



**Figura 2. Inductor de núcleo ferroso**

Fuente: (Duncan, 2013)

### 1.3.3. Relay

Es un componente considerablemente utilizado en la ingeniería. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) lo define como “Un dispositivo eléctrico diseñado para responder a las condiciones de entrada de una manera prescrita y, después de que las condiciones especificadas se cumplen, provoca una acción de contacto o cambio abrupto similar en los circuitos de control eléctrico asociados.” (C37.90-1978 - IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus )

Es un interruptor eléctrico que opera con una pequeña cantidad de corriente para controlar un circuito de alta corriente. Básicamente, funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, donde por medio de una bobina y un electroimán generan un campo magnético al aplicarle este un voltaje a la bobina ocasionando que los contactos hagan conexión dependiendo si están normalmente abierto (N.A) o normalmente cerrados (N.C), por el cual, permiten o niegan el paso de la corriente eléctrica de otros circuitos eléctricos. Debido al sistema magnético, transforma la corriente eléctrica de la entrada al poder mecánico necesario para el cierre de los contactos.

#### **1.3.4. Clasificación del relay**

Existen varios tipos de relays utilizados en los sistemas de potencia. Normalmente, la respuesta es una señal eléctrica, aunque a veces puede ser presión o temperatura. Los relays pueden clasificarse de varias maneras. En términos generales, los relays de protección eléctrica se pueden clasificar en dos categorías: Relays electromagnéticos y relays estáticos.

##### **1.3.4.1. Relays electromagnéticos**

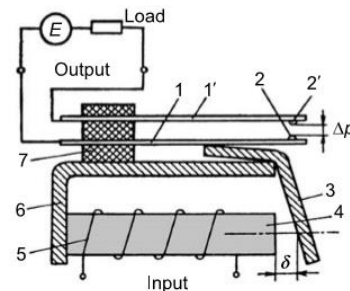
Existen dos tipos principales de relays electromagnéticos: Relays tipo armadura atraída; y Relays de inducción.

###### **1.3.4.1.1. Relays de armadura atraída.**

Estos son los tipos más simples que responden a AC, así como DC. Todos estos relays tienen el mismo principio, una fuerza electromagnética producida por el flujo magnético que a su vez es producido por una señal de entrada. La fuerza electromagnética ejercida sobre el elemento móvil es proporcional al cuadrado del flujo en el núcleo o el cuadrado de la corriente. En relays electromagnéticos DC esta fuerza es constante; si esta fuerza excede la fuerza de restricción, el relay funciona de manera fiable. (Chander, 1977)

### 1.3.5. Componentes básicos de un relay electromagnético

Está compuesto por elementos básicos que se muestran en la siguiente Figura 3



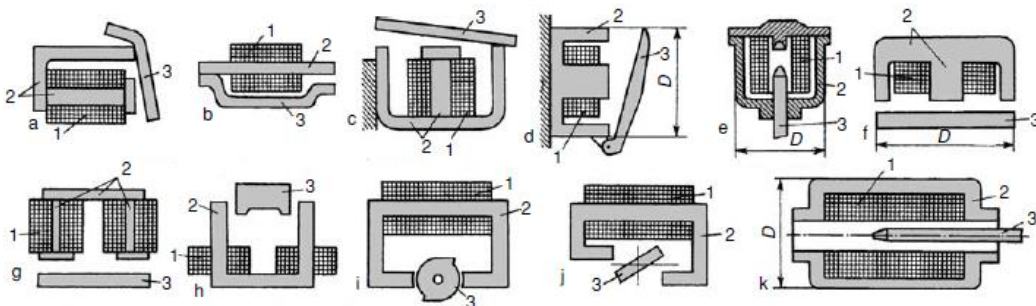
**Figura 3: Elementos Básicos de un relay electromagnético.**

**1-resorte; 2-contacts; 3-armadura; 4-núcleo; 5-devanado; 6-núcleo magnético; 7-aislador.**

Fuente: (Gurevich, 1956)

### 1.3.6. Sistema magnético tipo Clapper (armadura atraída).

Este es el tipo más antiguo de sistemas magnéticos, su construcción ya estaba descrita en las patentes de Edison. Se utilizó primero en relays telefónicos, y más tarde en relays cubiertos, industriales y compactos. Hoy en día este tipo de sistema magnético es ampliamente utilizado en las construcciones de relays de tamaño medio y pequeño, con una cubierta rectangular de plástico. Están diseñados principalmente para el trabajo en sistemas de automatización industrial y la industria de generación de energía.



**Figura 4. Tipos del sistema magnético de los modernos relays electromagnéticos.**

**1 - bobina de control; 2 - núcleo magnético; 3 - armadura; (a-d) - sistemas de tipo clapper (atraído-armadura); (f, g) - sistemas magnéticos de movimiento directo; (e, h, k) - sistemas con armadura retráctil (tipo solenoide); (i, j) - sistemas con una armadura de giro equilibrada.**

Fuente: (Gurevich, 1956)

### 1.3.7. Uso del relay en sistemas eléctricos de encendido de faros automotrices

La energía se transmite de la fuente (batería / alternador) a las lámparas por medio de los cables, los conectores y los interruptores. Idealmente no debe haber ninguna pérdida de alimentación en el circuito, pero en la práctica existen varios factores a tomar en cuenta como que los conectores utilizados que no estén sellados herméticamente y, por lo tanto, los contactos comienzan a oxidarse o corroerse. El propio cableado, si está en buena forma, no es una entidad crítica. En el caso de la conmutación, la chispa generada a través de los contactos, con el tiempo daña el contacto. Los conectores o interruptores tienen resistencia, la cual es despreciable cuando son nuevos. Sin embargo, a medida que la corrosión y los daños por chispas se acumulan, la resistencia se acumula haciendo que se calienten. Este calor favorece la decadencia de los contactos hasta que eventualmente el conector o el interruptor falla - o peor, causa un incendio.

Mediante el uso de un relay se reemplaza la conmutación de alta corriente lejos del interruptor de faros de modo que el interruptor sólo ve una pequeña corriente en el rango de unos pocos miliamperios.

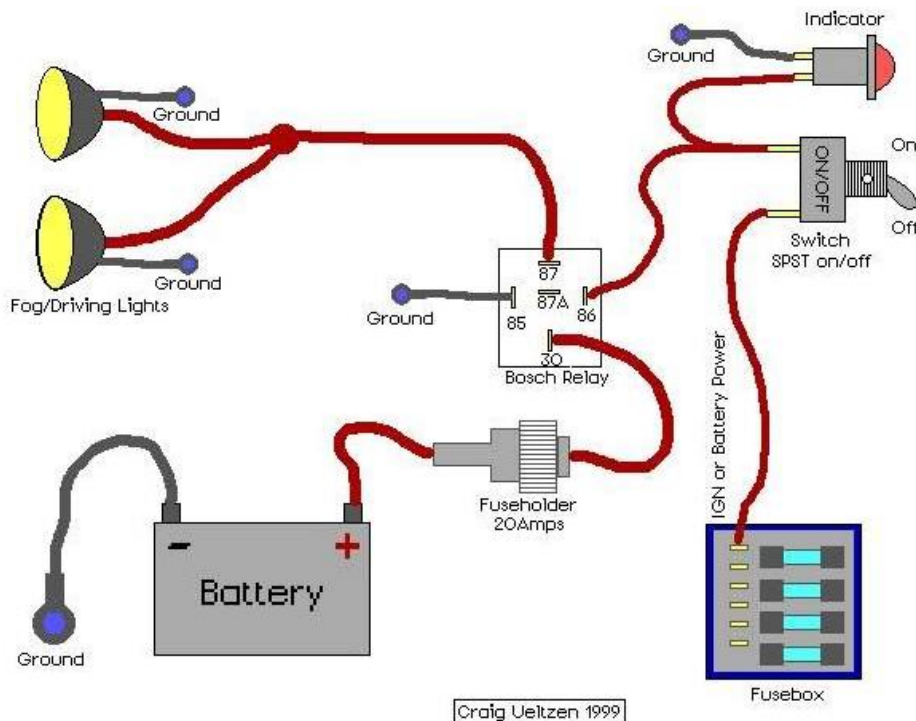


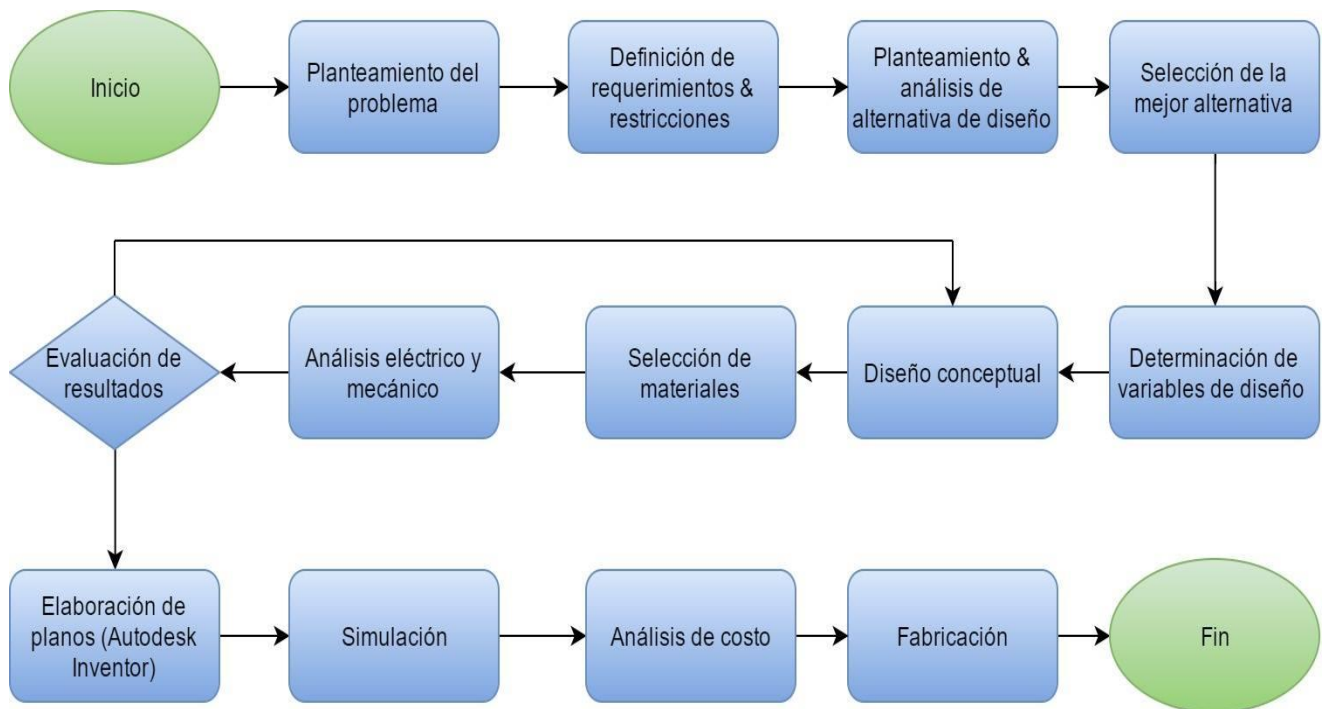
Figura 5. Diagrama de sistema eléctrico de faros automotrices.

Fuente: (Ueltzen, 1999)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Flujograma



**Figura 6 Metodología de Diseño.**

Fuente: (propia, 2017)

En la *Figura 6 Metodología de Diseño.*, se muestra gráficamente las actividades que se desarrollarán para llevar a cabo el diseño del relay. Para ello, se dará una descripción breve de las etapas.

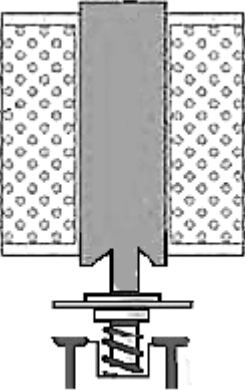
1. Inicialmente, se define el planteamiento del problema
2. Luego, se definen los requerimientos y restricciones, los cuales ajustan al diseño.
3. Seguidamente, se plantea y se analiza las diferentes alternativas de diseño.
4. Se escoge la mejor alternativa de diseño para nuestros objetivos.

5. Se determinan las variables de diseño para realizar el diseño de forma del tipo de relay. Al mismo tiempo se realizan los cálculos de la parte eléctrica y mecánica (resorte) para la obtención de variables como fuerzas de atracción, fuerza magnetomotriz, flujo útil (número de ampere-vueltas necesarios), campo magnético, sección del hilo, etc.
6. A continuación, se realiza el diseño conceptual.
7. Luego, se fijan dimensiones hipotéticas al relay como: espacio del devanado, permeabilidad en vacío, intensidad de corriente, longitud de la bobina. Donde, se tendrán resultados referenciales debido a que es etapa de Pre-Diseño.
8. Se selecciona el material que se ajuste a las características de diseño y se encuentren disponibles en el mercado local.
9. En la etapa de análisis eléctrico y mecánico, los resultados obtenidos dependerán de las iteraciones, valores que se obtendrán de las variables decisivas para el diseño del relay.
10. Con el conocimiento de las fuerzas existentes en el dispositivo (relay) y si los resultados son los requeridos se diseñan los elementos mecánicos como bobina, núcleo magnético, alambre, armadura, resorte, contactos, aislador para la construcción de los elementos del relay, de lo contrario se repiten los pasos del 7-10.
11. Se procede con la elaboración de los planos en CAD (Autodesk Inventor). Posteriormente, se realiza la simulación del dispositivo.
12. Se analizan costos de construcción del dispositivo.
13. Finalmente, construcción del dispositivo.

## **2.2. Posibles alternativas**

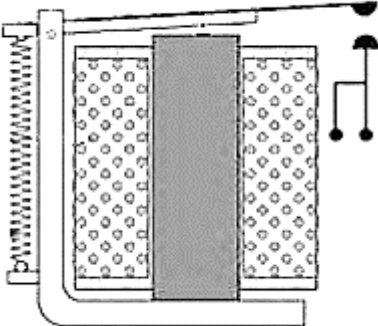
El relay electromagnético tipo armadura es un dispositivo electromecánico complejo en el que la energía eléctrica se convierte, mediante enlaces, en un movimiento mecánico que activa los contactos eléctricos. Su rendimiento y fiabilidad, por lo tanto, dependen de las interacciones de muchos parámetros de diseño relacionados con las aplicaciones y los criterios de rendimiento. Es esencial, pues, que la idoneidad de un diseño se evalúe en función de los factores que puedan afectar a su rendimiento en entornos específicos, condiciones de los circuitos de bobinado, requisitos de vida mecánica y cargas de contacto.

En la actualidad, el uso de los inductores es muy importante y amplio, razón por lo que, es de gran expectativa su desarrollo a la fabricación de diferentes tipos de inductores para variedades de requerimientos técnicos a nivel local dentro de las industrias. Cuyos diferentes parámetros a considerarse en el diseño son: la capacidad de la batería, movimiento de la armadura y el accionamiento de contacto. Además, las razones de importancia en el uso de estos relays tienden a ser no sólo la cantidad de energía que pueden manejar, sino más importantemente es con qué frecuencia y rapidez. Para una mejor comprensión de las características eléctricas y mecánicas de estos relays, uno debe considerar por separado la conexión electromagnética "actuador" y el rendimiento de contacto. Donde primero debemos considerar algunos requisitos mecánicos para su funcionamiento. A continuación, se mencionará tres diferentes alternativas de solución para el diseño en base a los siguientes parámetros antes mencionados:



**Figura 7. Alternativa A**

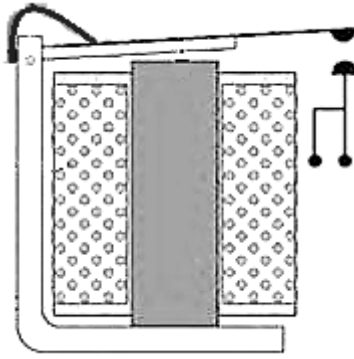
Fuente: (propia, 2017)



**Figura 8. Alternativa B**

Fuente: (propia, 2017)





**Figura 9. Alternativa C**

Fuente: (propia, 2017)

### **2.3. Análisis de alternativas**

La fase inicial en la evaluación y aplicación de cualquier relé debe ser un análisis de su diseño. En gran medida, los criterios de diseño dependen del tipo de aplicación, de las consideraciones económicas y de las consecuencias del fracaso. Un diseño que es adecuado para la mayoría de las aplicaciones podría no ser adecuado para su uso en circuitos críticos que requieren controles rigurosos y un alto grado de estabilidad. Un buen diseño es básicamente compacto, emplea materiales de calidad, y es un producto de buena mano de obra y técnicas controladas. El análisis de diseño de un relé es un oficio que involucra el buen juicio de ingeniería. Este debe basarse, en gran medida, en la experiencia y la apreciación de los factores de costo relacionados con los requisitos de desempeño y las consecuencias del fracaso.

A continuación, se enuncian algunos factores considerados para el diseño de relays y diseño del inductor:

## **Diseño del relay**

**1. Fricción.** La fricción puede afectar significativamente el rendimiento. Los contactos tienden a oxidarse y a menudo producen fricción excesiva. El deslizamiento excesivo o el frotamiento entre los elementos actuadores o accionados también pueden causar fricción variable.

**2. Acabados.** Los acabados resistentes al desgaste en las caras de los polos y las superficies de apoyo son a menudo necesarios en relays que requieren una larga vida mecánica o un alto grado de estabilidad característica eléctrica.

**3. Ajustes de contacto.** La fuerza de contacto y la sobrecarga de contacto pueden verse afectadas significativamente por el entorno, el desgaste y los márgenes de contacto. Las técnicas de ajuste de diseño y contacto deben asegurar también que la fuerza total de los resortes de contacto móviles se ejerce contra los contactos fijos. Con los resortes de contacto accionados por amortiguación es esencial que haya un espacio entre el accionador y el resorte móvil cuando el inducido esté completamente liberado. Para determinar el tipo de holgura necesaria para asegurar un contacto fiable se necesita estudiar el sistema de accionamiento.

**4. Manufactura.** Las piezas del relay -particularmente los contactos, el pivote y los polos- deben liberarse de la contaminación por partículas, y los contactos deben estar libres de películas orgánicas cuando se controlan circuitos de baja energía.

**5. Materiales de contacto.** Los materiales de contacto empleados deben ser adecuados para la carga de contacto, el medio ambiente y otros requisitos de rendimiento. Siempre que sea posible, se deben evitar los materiales que tienden a adherirse.

**6. Materiales aislantes.** Los materiales aislantes dentro de las cámaras de contacto, o adyacentes a los contactos de los relays abiertos, deben emitir una cantidad mínima de vapores que puedan afectar el rendimiento del contacto. Los materiales aislantes deben ser: a) capaces de prevenir impurezas que promuevan la corrosión, b) dimensionalmente estable para minimizar los cambios de ajuste con fluctuación de la temperatura y la humedad, c) evitar una tendencia a arrojar partículas que pueden contaminar los contactos o quedar atrapados en los cojinetes o cavidades, y d) adecuados para los rangos de temperatura ambiental.

**7. Fluidos de soldadura.** Prácticamente todos los fundentes de soldadura líquida o en pasta y los decapantes químicos para alambre esmaltado son altamente corrosivos. A menos que el diseño se preste a procesos de lavado y neutralización completos, se debe evitar el uso de los fundentes y de los decapantes. Las técnicas de sellado para relays herméticamente cerrados deben asegurar que el flujo o los vapores no estén atrapados dentro de la cámara de contacto.

## Diseño del Inductor

### Núcleo envolvente

Los núcleos envolventes ofrecen una serie de ventajas, incluyendo: auto-blindaje, eficiencia espacial, conveniencia, buena estabilidad a la temperatura y bajas pérdidas. Las aplicaciones típicas para núcleos envolventes incluyen transformadores de potencia, Y transformadores inversores, fuentes de alimentación conmutadas e inductores de filtro. (MAGNETICS, 2017)

Entre las desventajas se encuentran que el calor generado en el devanado queda atrapado dentro de la estructura magnética, el acoplamiento genera aberturas de aire no intencionadas, el espacio para terminar los cables de la bobina es limitado, las bobinas y el montaje son caros. (TSCINTERNATIONALL, 2016)



**Figura 10 Núcleo envolvente**

Fuente: (2016)

## Núcleo modular

Los núcleos modulares son más baratos que los núcleos envolventes, puesto que tienen los aspectos de bobinado sencillo y ensamblaje sin complicaciones. También se pueden encontrar tamaños métricos y DIN. Poseen una variedad de áreas en sección transversal accesibles comercialmente. (ELECTRONIC CIRCUIT PROJECTS, 2016)

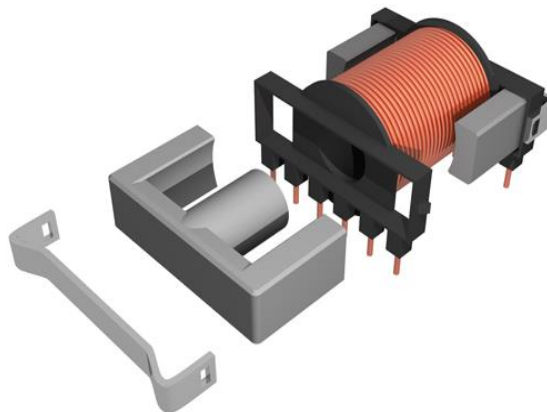


**Figura 11 Núcleo modular**

Fuente: (Basic Car Audio Electronics, 2016)

## Núcleo acoplado

Cuando el núcleo es acoplado, la superficie de acoplamiento tiene que ser rectificadas. Esto se hace para proporcionar una superficie de acoplamiento con el mínimo de entrehierro y el máximo de permeabilidad. La otra desventaja es cuando los núcleos son reensamblados, el método usado normalmente se hace con una banda y hebilla, y este procedimiento requiere un poco de habilidad para proporcionar la alineación correcta y la tensión correcta. (McLyman, 2004)



**Figura 12. Núcleo acoplado**

Fuente: (McLyman, 2004)

## 2.4. Selección de alternativa

### 2.4.1. Forma del relay

Para ello, se utilizó una matriz de decisión presentada en la Tabla 1, en la cual se ponderará mediante números desde el 1 hasta el 5, siendo 1 la alternativa menos conveniente y 5 la alternativa más conveniente para el criterio evaluado.

**Tabla 1. Matriz de decisión-diseño de forma del relay**

Criterio	Ponderación	Alternativa		
		A	B	C
Fricción	15	2	1	3
Acabado	10	2	3	3
Ajustes de contacto	10	3	5	4
Manufactura	20	4	5	3
Materiales de contacto	15	3	4	2
Materiales aislantes	15	3	5	4
Fluidos de soldadura	15	2	4	3
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>56</b>	<b>78</b>	<b>62</b>

Fuente: (propia, 2017)

Se seleccionó el tipo de alternativa de diseño para los relays, utilizando la matriz de decisión, se comparó y se evaluó los tres tipos de diseño (A, B y C) valorando la fricción, ajustes de contacto, manufactura, materiales de contacto, materiales aislantes y fluidos de soldadura. Donde, el diseño que resultó con mejor ponderación fue la alternativa B, ya que tiene las mejores características de diseño como los ajustes de contacto, manufactura, materiales de contacto y materiales aislantes en comparación con las demás (A y C).

### 2.4.2. Forma del Inductor

Para ello, se utilizó una matriz de decisión presentada en la Tabla 2, donde se muestran tres diferentes alternativas, en la cual, se ponderará mediante números desde el 1 hasta el 5, siendo 1 la alternativa menos conveniente y 5 la alternativa más conveniente para el criterio evaluado.

**Tabla 2. Matriz de decisión-diseño de forma del inductor**

Criterio	Ponderación	Alternativa		
		Núcleo modular	Núcleo envolvente	Núcleo acoplado
Tamaño	25	3	4	2
Pérdidas	10	3	5	4
Disponibilidad	25	5	3	4
Estabilidad térmica	20	3	4	5
Ensamblaje	20	5	3	2
<b>Total</b>	100	<b>78</b>	73	66

Fuente: (propia, 2017)

Se seleccionó el tipo de alternativa de diseño del inductor, utilizando la matriz de decisión, se comparó y se evaluó los tres tipos de diseño de núcleos como: el modular, el envolvente y el acoplado; valorando más el tamaño, disponibilidad, estabilidad térmica y ensamblaje. Donde, el diseño que resultó con mejor ponderación fue el del núcleo modular, ya que tiene las mejores características de diseño como disponibilidad y ensamblaje, cuyos criterios son de gran consideración para el desarrollo del mismo a nivel local en comparación con las demás (núcleo envolvente y núcleo acoplado).

## **2.5. Selección de materiales**

### **2.5.1. Núcleo del inductor**

Generalmente para este tipo de aplicaciones se utiliza como material la ferrita, pero esta no está disponible localmente, por lo cual se buscó un material sustituto que sea fácil de adquirir en el mercado.

### **Clasificación de los materiales magnéticos**

El estudio de las propiedades magnéticas de los cuerpos es esencialmente experimental. Por ello, se investigan las condiciones en que se magnetizan los diferentes cuerpos, y la forma como varía su estado magnético, en función de la intensidad del campo magnético, de la temperatura, de los esfuerzos mecánicos, de la frecuencia, etc. Desde el punto de vista de sus propiedades magnéticas, los materiales se clasifican en tres grupos:

**1. Materiales ferromagnéticos.** - Se caracterizan por el valor muy grande que puede tomar su magnetización, debido a pequeños valores de intensidad del campo magnético. Estos materiales son poco numerosos, pero de la mayor importancia técnica. Entre los materiales ferromagnéticos se incluyen: el hierro, cobalto y níquel y algunas aleaciones de estos elementos, el óxido magnético de hierro (magnetita), ciertas combinaciones del manganeso con metaloides y algunas aleaciones ternarias del manganeso. Al magnetizarse los materiales ferromagnéticos se producen fenómenos muy complejos:

- a. Aparecen cargas magnéticas en la superficie del material y producen, en esta parte del cuerpo, un campo magnético que, en general, no tiene la misma dirección ni el mismo sentido que el campo magnetizante, y que se llama campo desmagnetizante. Ambos campos, magnetizante y desmagnetizante, tienen carácter vectorial y el estado magnético del material considerado, está determinado por la suma geométrica de ambos.
- b. A un valor determinado del campo magnetizante, no corresponde un valor único, bien determinado, de la magnetización, al menos en los campos de pequeño valor; esta magnetización depende, esencialmente, de los valores anteriores del campo magnetizante.



**2. Materiales paramagnéticos.** - Estos materiales se magnetizan siempre en el mismo sentido que el campo magnético; su magnetización es proporcional a la intensidad del campo magnetizante y se anula cuando éste se anula. Su susceptibilidad magnética es positiva, pero siempre muy pequeña: para obtener una magnetización específica igual a 1, habría que emplear intensidades de campo muy elevadas. Entre los cuerpos paramagnéticos, se encuentran:

- Metales: platino, sodio, potasio, aluminio, manganeso, cromo, etc.
- Aleaciones: a base de cobre, cromo, manganeso, vanadio, etc.
- Gases: oxígeno, ozono, óxido nítrico, etc.

**3.- Materiales diamagnéticos.** - Estos materiales se magnetizan en sentido contrario al del campo magnético. Colocados en un campo no uniforme, son rechazados hacia las partes en que el campo es débil. Su imanación es proporcional al campo y su susceptibilidad magnética es muy pequeña y siempre negativa. En este grupo, se encuentran los siguientes materiales:

- metaloides distintos del oxígeno
- metales como oro, plata, mercurio, cobre, plomo, etc.
- casi todas las sustancias orgánicas

## **Materiales ferromagnéticos**

Por su composición, los materiales ferromagnéticos pueden clasificarse como:

- a. Metales puros
- b. Aleaciones

Y por sus propiedades magnéticas y específicos campos de aplicación, estos materiales se clasifican así:

- a. *Materiales magnéticamente blandos*
- b. Materiales magnéticamente duros
- c. Materiales especiales

Los ***materiales magnéticamente blandos*** están caracterizados por las siguientes propiedades:

- a. Alta permeabilidad
- b. Pequeña fuerza coercitiva
- c. Pequeñas pérdidas por histéresis

Sus aplicaciones principales están en los núcleos magnéticos para máquinas eléctricas, transformadores, relés, etc., así como para aplicaciones en Electrónica. Algunas veces se emplean en forma de núcleos macizos (por ejemplo, para relés de corriente continua) aunque lo general es que se utilicen en forma de chapas de diversos espesores que, apiladas, constituyen el núcleo magnético.

## **Metales ferromagnéticos**

Los únicos metales ferromagnéticos conocidos son: hierro, níquel, cobalto. De ellos, el único con aplicación industrial es el hierro, ya que tiene una mayor susceptibilidad magnética que los otros dos y, además, resulta más económico.

El hierro puro no ha podido obtenerse, ni aun por procedimientos de laboratorio. La clase más pura de hierro comercial, producido en gran escala, contiene menos de 0,2 % total de impurezas, constituidas por carbono, manganeso, silicio, cobre, azufre, fósforo, oxígeno. Pero incluso estas pequeñas cantidades de impurezas tienen un efecto importante sobre las propiedades magnéticas del metal resultante. Las principales ventajas de este material son una alta permeabilidad y reducidas pérdidas por histéresis, con fuerzas magnéticas bajas o moderadas.

Refundiendo hierro electrolítico en el vacío y sometiéndolo a un recocido en atmósferas especiales, tienden a eliminarse los últimos restos de impurezas; de esta forma, se obtiene un material cuyas principales cualidades son:

- a. Inducción elevada, con fuerzas magnéticas reducidas
- b. Permeabilidad máxima muy elevada (cerca de 50 000)
- c. Reducidas pérdidas por histéresis
- d. Inducción de saturación alta

Estas propiedades demuestran las ventajas de reducir las impurezas del hierro a los límites más bajos que puedan conseguirse. Con fuerzas magnéticas muy bajas, la permeabilidad del hierro electrolítico altamente purificado es inferior a la de las aleaciones clásicas de níquel-hierro.

El cobalto no es, por sí mismo, un elemento ferromagnético importante, pero resulta de gran utilidad como elemento de aleación del hierro y del níquel. El níquel tampoco es un elemento ferromagnético importante por sí mismo, pero sus aleaciones binarias o ternarias con hierro y cobalto tienen gran importancia comercial. La susceptibilidad magnética en una dirección cualquiera se reduce notablemente si se somete a esfuerzos de tracción y se aumenta si se somete a esfuerzos de compresión en dicha dirección; es decir, que el níquel tiene magnetostricción negativa, lo que determina su aplicación en aparatos detectores por ultrasonidos (sonar).

## **Aleaciones ferromagnéticas**

Cuando los metales ferromagnéticos (hierro, cobalto, níquel) se alean entre sí o con otros elementos (cobre, manganeso, carbono, etcétera) pueden obtenerse materiales de propiedades previamente fijadas y aptos para determinadas aplicaciones. El conjunto básico, es decir, el punto de partida de dichos grupos de propiedades, perfectamente determinadas, está constituido por el hierro, el níquel y el cobalto, o por aleaciones binarias o ternarias de estos elementos. Aunque existen aleaciones ferromagnéticas en las que no intervienen ninguno de los elementos citados, actualmente, estos materiales solamente tienen un interés teórico.

Un interés especial tiene el sistema binario hierro-níquel, en el que existen dos campos de aplicación:

1. Las aleaciones hierro-níquel, con pequeño contenido de níquel, que son magnéticamente duras.
2. Las aleaciones hierro-níquel, con gran contenido de níquel, que son magnéticamente blandas.

El dominio intermedio tiene deficientes propiedades magnéticas y no tiene interés práctico. Pero por adición de otros elementos, se constituyen aleaciones ternarias, cuaternarias, etc., que tienen propiedades paramagnéticas.

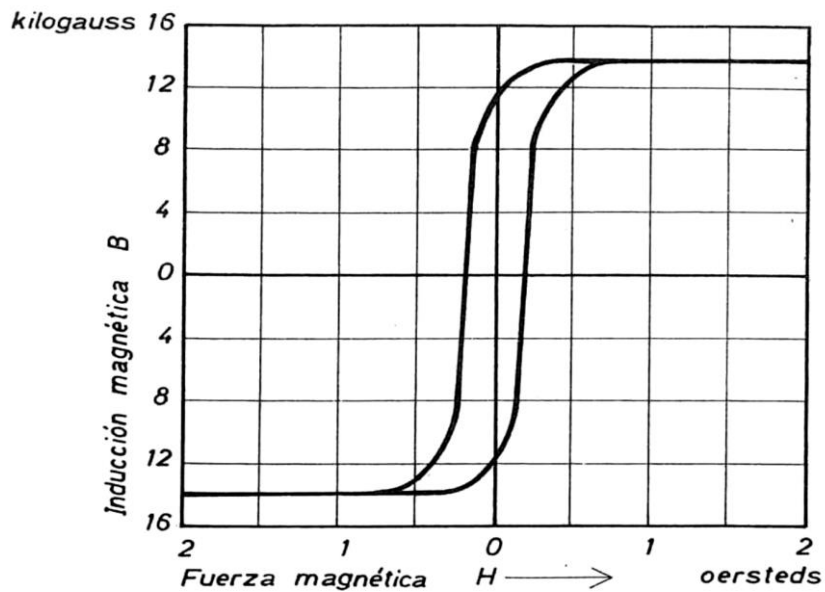
Aunque se ha dicho anteriormente que los materiales magnéticamente duros tienen moderada permeabilidad, también se han conseguido materiales de este tipo, de alta permeabilidad. Y aunque una de las características de los materiales magnéticamente blandos es su pequeña fuerza coercitiva, también se han conseguido materiales de este tipo aptos para ser utilizados en imanes permanentes, es decir, con gran fuerza coercitiva.

## **Materiales magnéticamente blandos**

Desde el punto de vista de las aplicaciones prácticas, lo que caracteriza a los materiales magnéticamente blandos es su estrecho ciclo de histéresis (Figura 13); de esta forma, una vez desaparecida la fuerza magnética, estos materiales pierden pronto sus propiedades magnéticas, ya que la fuerza coercitiva es, por lo general, muy pequeña. Con esto se consigue un funcionamiento de "todo o nada" muy interesante cuando la inercia magnética es indeseable, como sucede, por ejemplo, en los circuitos magnéticos de las máquinas eléctricas y transformadores, así como en los núcleos de relés, contactores, etc., donde interesa que la armadura no quede "enganchada" cuando el dispositivo está desconectado. Además, el ciclo de histéresis de superficie reducida significa, unas reducidas pérdidas por histéresis ya que el área de dicho ciclo es proporcional a estas pérdidas. Si a esto se añade que, por lo general, los materiales magnéticamente blandos tienen alta permeabilidad, se comprenderá que su campo de aplicación es muy extenso.

Casi todos los materiales magnéticamente blandos empleados industrialmente, son aleaciones binarias de las clases siguientes:

1. Aleaciones hierro-carbono
2. Aleaciones hierro-silicio
3. Aleaciones hierro-níquel
4. Aleaciones hierro-cobalto
5. Aleaciones hierro-aluminio



**Figura 13. Ciclo de histéresis de un material magnéticamente blando**

Fuente: (Vázquez, 1980)

Además de estas aleaciones binarias, se utilizan también otras de tres o más elementos, que tienen propiedades magnéticas similares a las anteriores, aunque los elementos adicionales suplementarios mejoran ciertas características del material, como resistividad, maquinabilidad, etc.

De las aleaciones citadas, las de hierro-carbono actúan como materiales magnéticamente blandos cuando el contenido de carbono es pequeño y como materiales magnéticamente duros en el caso contrario, por lo que, para su estudio, habrá que hacer la correspondiente distinción. A continuación, se describen las más interesantes aleaciones anteriormente expuestas.

## **Aleaciones hierro-carbono magnéticamente blandas**

La adición de carbono al hierro puro aumenta la resistividad, disminuye la permeabilidad, baja el punto de saturación y aumenta la fuerza coercitiva y la histéresis del material. Las aleaciones de hierro con bajo contenido de carbono son materiales magnéticamente blandos y se emplean en chapas magnéticas. Las aleaciones con alto contenido de carbono se consideran materiales magnéticamente duros, ya que su fuerza coercitiva resulta importante. Los materiales de este tipo más empleados por sus propiedades magnéticas, son los siguientes:

- a. Hierro dulce
- b. Acero dulce
- c. Fundición de hierro
- d. Acero colado
- e. Acero forjado

El acero colado se emplea en aquellas partes de los circuitos magnéticos de las máquinas eléctricas que, estando sometidos a flujos magnéticos uniformes y continuos, requieren una elevada resistencia mecánica. Para tener buenas propiedades magnéticas, la composición del acero colado debe limitarse a los siguientes valores:

- Carbono combinado 0.25 %
- Silicio 0.20 %
- Manganeso 0.50%
- Fósforo 0.08 %
- Azufre 0.05 %

Cuanto menor es el porcentaje de impurezas, tanto mejores son las propiedades magnéticas del material. El recocido mejora estas propiedades magnéticas. El acero colado tiene varias ventajas sobre la fundición de hierro: la permeabilidad es semejante, pero las secciones son menores y el volumen ocupado es menor también. Su principal inconveniente es que, al fundirlo, se pueden producir sopladoras o grietas, que deben evitarse, ya que reducen considerablemente su permeabilidad magnética. (Vázquez, 1980)

### 2.5.2. Devanado

Se seleccionó el alambre de cobre con calibre AWG 37 debido a las siguientes características (ASME):

- Mejora de la estabilidad química y mecánica debido al revestimiento Amida-Imida.
- Resistencia al aumento de temperatura, humedad y refrigerantes. (IRCE, s.f.)

### 2.5.3. Pines

Las características principales del latón es facilidad de fabricación debido a excelentes propiedades de conformado. Apariencia de superficie atractiva, buena conductividad eléctrica, buena resistencia a la corrosión, y buena tenacidad. El proceso típico usado por las industrias para fabricar productos de chapa y tira de latón es troquelado, por lo que el material es perforado con un troquel que lo convierte en la forma deseada. La forma del conector de terminal es sencilla para su rápida manufactura y además proporciona un montaje sencillo del relay. (DIANE, 1995)

**Tabla 3. Propiedades eléctricas del latón (60%Cu;40%Zn)**

Composición	Peso específico gr/cm <sup>3</sup>	Conducti- vidad $s \frac{m}{mm^2}$	Resisti- vidad $\Omega \frac{mm^2}{m}$	Resisten- cia a la tracción kg/mm <sup>2</sup>
91 % Cu; 9 % Zn	8,6	27,47	0,0364	42
75 % Cu; 25 % Zn	8,4	22,22	0,045	54
66 % Cu; 34 % Zn	8,3	18,18	0,055	50
60 % Cu; 40 % Zn	8,3	11,76	0,085	41

Fuente: (Vázquez, 1980)



### 2.5.4. Armadura fija

Para lograr una estructura suficientemente rígida, económica, resistente a la temperatura para que se convierta en un disipador de la misma se seleccionó una chapa de acero galvanizado, el cual cumple con las características deseadas. Además de la ventaja de corrosión galvánica que atribuye el zinc.

**Tabla 4. Propiedades físicas del acero galvanizado**

Peso específico, en gr/cm <sup>3</sup>	7,8
Resistividad a 20 °C, en ohmios · mm <sup>2</sup> /m	0,11 ... 0,22
Coefficiente de temperatura	0,006
Coefficiente de dilatación lineal	11,5 × 10 <sup>-6</sup> × por °C
Módulo de elasticidad, en kg/mm <sup>2</sup>	22 000 ... 29 600
Resistencia a la tracción, en kg/mm <sup>2</sup> (carga de rotura)	100 ... 120
Límite de elasticidad, en kg/mm <sup>2</sup>	90 ... 95
Alargamiento a la rotura	5 ... 7

Fuente: (Vázquez, 1980)

### 2.5.5. Conjunto móvil

El conjunto móvil está constituido de tres componentes: la armadura que es atraída, la platina que hace contacto y una unión pin-platina. Para la armadura atraída se usó un metal ferroso como el acero laminado, para que sea fácilmente atraído por el campo magnético inducido por la bobina. La platina fue hecha de cobre, dada su conductividad eléctrica como principal motivo, en cuanto a la unión se empleó un alambre trenzado de cobre.

**Tabla 5. Propiedades físicas del Cobre**

Símbolo químico	Cu
Número atómico	29
Peso atómico	63,54
Peso específico, en gr/cm <sup>3</sup>	8,96
Conductividad eléctrica a 20 °C, en siemens · m/mm <sup>2</sup>	59
Resistividad eléctrica a 20 °C, en ohmios · mm <sup>2</sup> /m	0,01673
Conductividad calorífica a 0 °C, en calorías-gramo/°C/cm <sup>2</sup> /cm	0,941
Coefficiente de dilatación lineal (de 20 °C a 100 °C)	16,5 × 10 <sup>-6</sup> por °C
Punto de fusión, en °C	1 083 ± 1
Calor latente de fusión, en calorías/gr	50,6
Calor específico medio, en calorías/gr × °C	0,092
Punto de ebullición, en °C	2 595
Equivalente electroquímico, en gr/Amp por hora	1,186
Módulo de elasticidad, en kg/mm <sup>2</sup>	12 700
Resistencia a la tracción, en kg/mm <sup>2</sup> (carga de rotura)	15 ... 20
Alargamiento a la rotura, en %	0,3

Fuente: (Vázquez, 1980)

### 2.5.6. Base y cubierta

Se seleccionó como material el PLA debido a que es biodegradable, reciclable y compostable debido a su derivación de recursos renovables (por ejemplo, trigo, arroz o maíz). Estas propiedades respetuosas con el medio ambiente y la sostenibilidad del PLA lo convierten en un biopolímero muy atractivo. Dado que la degradación del PLA no es tóxica, es una opción para la fabricación de elementos en gran escala. En comparación con PLA con polímeros a base de petróleo, PLA requiere 25-55% menos de energía para producir y en el futuro se reducirá aún más a menos del 10%. En cuanto a diseño de forma, se realizó pensando en protección contra fluidos exteriores y polvo, además de fácil limpieza. (Visakh, 2017)

**Tabla 6. Propiedades físicas del Plástico PLA**

Propiedades	
Peso molecular [g / mol]	204.453
Punto de fusión [° C]	150-160
Temperatura de transición vítrea [° C]	58
Peso específico	1.24
Índice de fusión [g / 10 min]	5-7
Resistencia a la tracción [MN]	60
Módulo de tracción [GPa]	3.5
Elongación por tracción [%]	6.0

Fuente: (Visakh, 2017)

### 2.6. Cálculos

Para esta sección definimos previamente los siguientes parámetros de diseño, tales que se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7. Parámetros de diseño**

Parámetro		Valor
Espacio entre el núcleo y la armadura	$gp$	0.001 m
Material del núcleo		Acero
Diámetro del núcleo	$D$	0.0058 m
Longitud de la bobina	$L_b$	0.0104 m
Diámetro del alambre	$d$	$1.13 \times 10^{-3}$ m
Corriente a través de la bobina	$I$	10 mA (ETA)

Fuente: (propia, 2017)

### 2.6.1. Fuerza necesaria de armadura móvil

Para el cálculo de la fuerza necesaria para mover la armadura móvil modelamos una viga con un pivote y un resorte en el extremo.

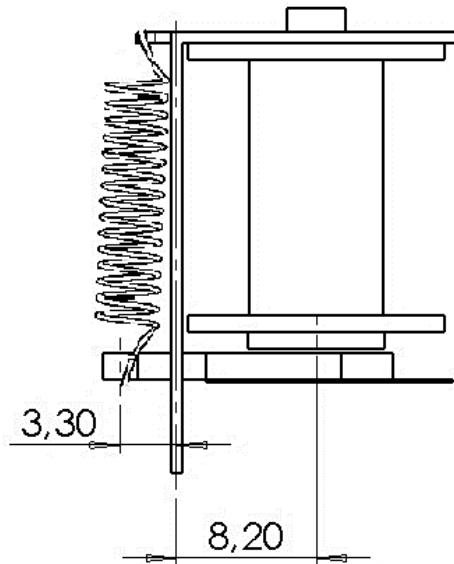


Figura 14. Esquema armadura móvil

Fuente: (propia, 2017)

### Fuerza de resorte

De manera general tenemos que:

$$F_R = k \times x$$

**Ecuación 3**

Donde:

$F_R$  = Fuerza del resorte [N]

$k$  = Constante del resorte [N/m]

$x$  = Distancia de alargamiento [m]

Debido a que el resorte se encuentra inicialmente tensado se tiene que:

$$F_R = k \times (x_1 + x_2) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$x_1$  = Alargamiento de pre-tensado [m]

$x_2$  = Alargamiento de accionamiento [m]

Por semejanza de triángulos:

$$x_2 = \frac{gp \times r_1}{r_2} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$x_2 = \frac{1 \times 10^{-3} \times 3.3 \times 10^{-3}}{8.2 \times 10^{-3}}$$

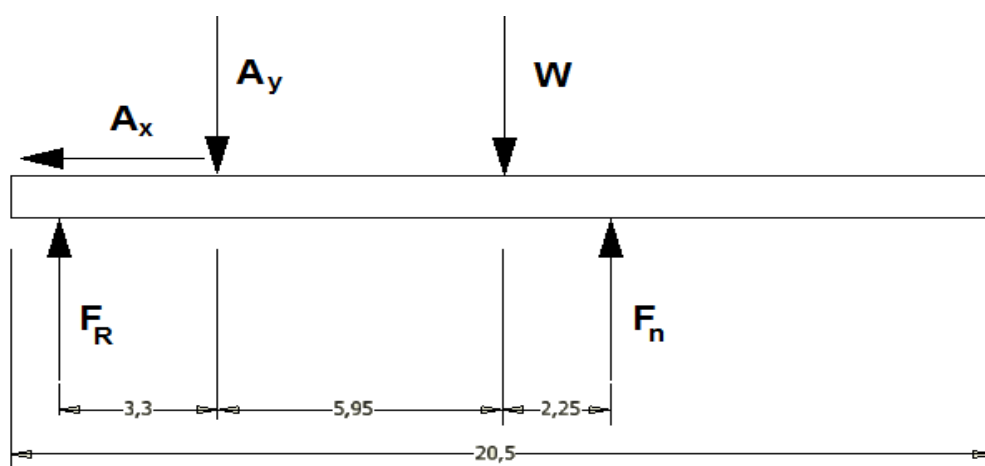
$$x_2 = 4.0244 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Entonces de la ecuación 4:

$$F_R = 225 \times (19.3 \times 10^{-3} + 4.0244 \times 10^{-4})$$

$$F_R = 4.4330 \text{ N}$$

**Torque**



**Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de armadura móvil**

Fuente: (propia, 2017)

Dónde:

M=masa de la armadura móvil

$$\Sigma\tau_A = 0$$

**Ecuación 6**

$$F_n \times r_2 = F_R \times r_1 + M \times g \times x$$

**Ecuación 7**

$$F_n = \frac{F_R \times r_1 + M \times g \times x}{r_2}$$

$$F_n = \frac{4.4330 \times 3.3 \times 10^{-3} + 1.97 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 10.25 \times 10^{-3}}{8.2 \times 10^{-3}}$$

$$F_n = 1.8081 \text{ N} \approx 2 \text{ N}$$

**Aceleración angular**

$$\Sigma\tau_A = \text{Inercia} \times \alpha$$

**Ecuación 8**

$$F_n \times r_2 - F_R \times r_1 - M \times g \times x = \left( \frac{1}{12} M \times x + M \times p^2 \right) \times \alpha$$

**Ecuación 9**

$$\alpha = \frac{F_n \times r_2 - F_R \times r_1 - M \times g \times x}{\frac{1}{12} M \times x + M \times p^2}$$

$$\alpha = \frac{1.8081 \times 8.2 \times 10^{-3} - 4.4330 \times 3.3 \times 10^{-3} - 1.97 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 10.25 \times 10^{-3}}{\frac{1}{12} 1.97 \times 10^{-3} \times 10.25 \times 10^{-3} + 1.97 \times 10^{-3} \times 5.95 \times 10^{-3^2}}$$

$$\alpha = 3.2300 \text{ rad/s}$$

### 2.6.2. Fuerza de atracción electromagnética

La fuerza de atracción en la armadura de un relay es proporcional al cuadrado de la inducción en el núcleo por el área de la superficie de contacto entre el núcleo y la armadura. Dicha fuerza con la que atrae un electroimán a un metal (armadura) a través del aire se puede calcular mediante la siguiente expresión: (SanMiguel, 2014)

$$F = 40000 \times B^2 \times S \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

$F$  = fuerza de atracción [kPa]

$B$  = Inducción magnética [T]

$S$  = área de la superficie de contacto entre el núcleo y la armadura [m<sup>2</sup>]

Para lo cual se realizaron los cálculos previos detallados a continuación:

#### Conversión de fuerza

$$F = 2 \text{ N} \times \frac{1 \text{ kPa}}{9.8067 \text{ N}} = 0.2039 \text{ kPa}$$

#### Área de sección transversal del núcleo

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

$A$  = Área de la sección transversal del núcleo [m<sup>2</sup>]

$D$  = Diámetro sección transversal [m]

$$A = \frac{\pi \times 0.0058^2}{4}$$
$$A = 2.6421 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

## Inducción magnética

$$F = 40000 \times B^2 \times S$$

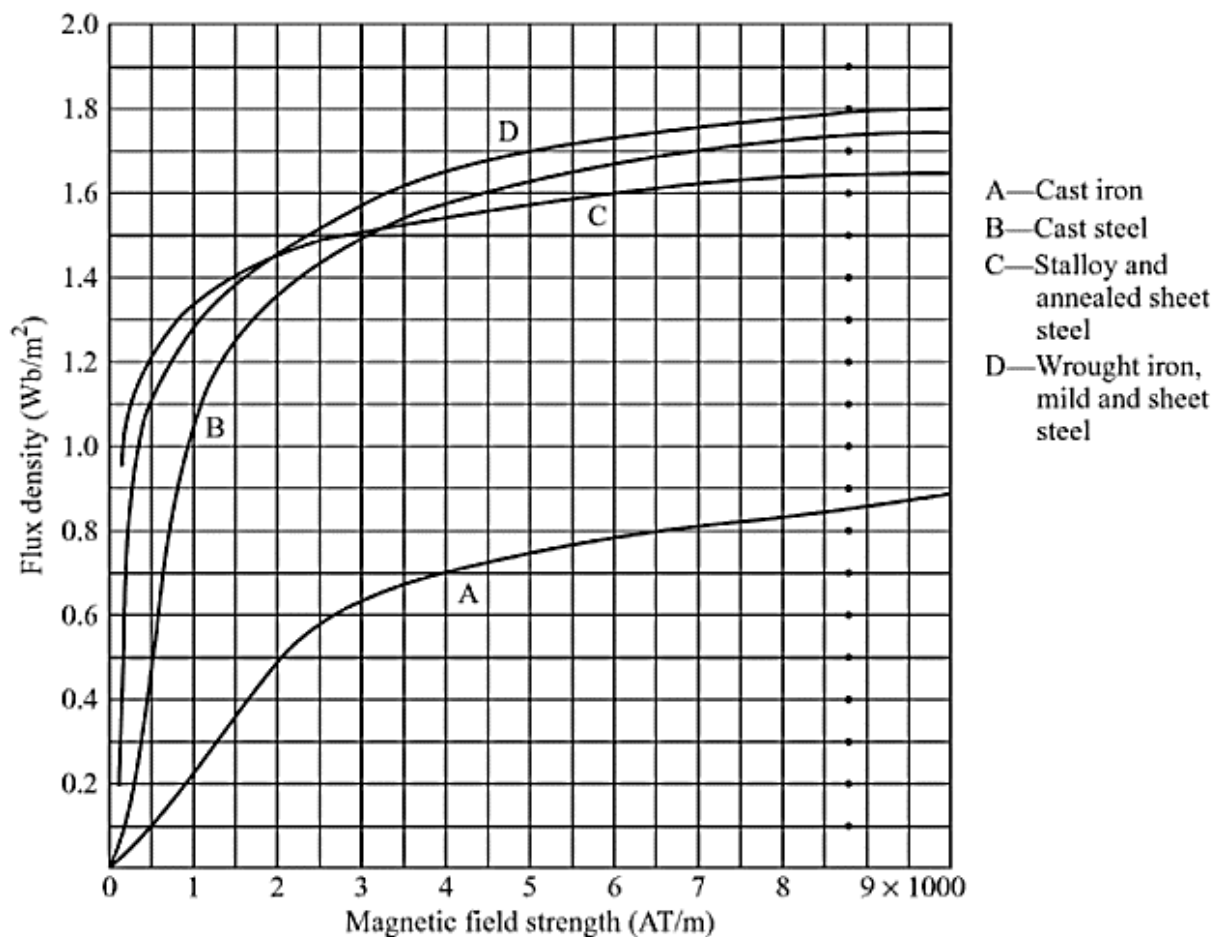
**Ecuación 10**

$$0.2039 = 40\,000 \times B^2 \times 2.6421 \times 10^{-5}$$

$$B^2 = 0.1929 \text{ T} \approx 0.2 \text{ T}$$

## Campo magnético

A partir de la Figura 16 obtenemos el campo magnético necesario teniendo en cuenta el material del núcleo y la inducción magnética.



**Figura 16. Curvas de magnetización en función de la intensidad de campo magnético y el material del núcleo**

Fuente: (Rajendra, 2014)

Obteniendo:

$$H \approx 500 \text{ A-v/m}$$

Entonces:

$$H = \frac{Nv \times I}{L_b} \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

$H$  = Intensidad del campo [A-v/m]

$L_b$  = Longitud de la bobina [m]

$Nv$  = número de vueltas de la bobina [vueltas]

$I$  = corriente a través de la bobina [A]

$$500 = \frac{Nv \times 0.01}{0.0104}$$

$$Nv = 520 \text{ vueltas}$$

**Fuerza magnetomotriz**

$$F_m = Nv \times I \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

$F_m$  = Fuerza magnetomotriz [A-v]

$Nv$  = Número de vueltas de la bobina [vueltas]

$I$  = corriente a través de la bobina [A]

$$F_m = 520 \times 0.01$$

$$F_m = 5.2 \text{ A-v}$$

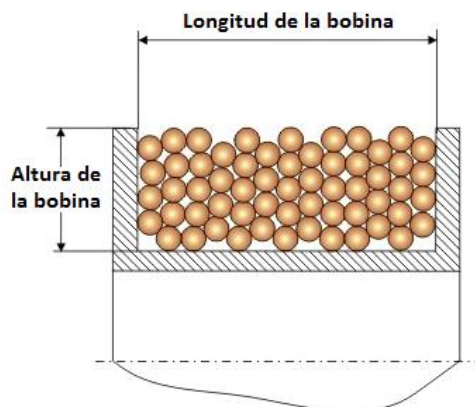


## Devanado

Una vez seleccionado el grosor del alambre y el número de vueltas, debe comprobarse que existe espacio suficiente en la estructura de la bobina. Comúnmente se realiza la suposición ingenua que la estructura es suficiente para la cantidad de vueltas que se desea envolver con un cálculo geométrico simple de áreas transversales. Dado que las vueltas de las capas adyacentes no están exactamente paralelas entre sí y deben cruzarse en algún punto, no siempre pueden estar correctamente distribuidas.

En la práctica se debe permitir que cada capa se separe por todo el grosor del alambre del que está debajo. El valor del espesor utilizado debe ser tomado aproximadamente 10% mayor que el espesor real para permitir las irregularidades. Esto sólo se aplica cuando el alambre se alimenta tomando en cuenta de que una vuelta esté en contacto cercano con la siguiente. Cuando se usa hilo fino ( $<0,2$  milímetros), esto se vuelve poco práctico. Alrededor del 15% debe añadirse al diámetro real en el caso de bobinas de "enrolladas al azar". También se debe tomar en cuenta que los tamaños de alambre citados en catálogos siempre se refieren al diámetro del conductor. El aislamiento del esmalte aumenta este en un 10%. (IREE, 1975)

Este método produce estimaciones conservadoras que permiten cualquier cable de salida y aislamiento adicional que pueda ser necesario. Por lo general, sólo es posible mantener el devanado cerca de 4 o 5 capas sin el efecto de "cruce" mencionado, que arruina la bobina. Se recomienda colocar una capa de poliéster o cinta adhesiva alrededor de la bobina después de cada 2 o 3 capas para 'estabilizar' el devanado, entonces el embalaje cerrado se puede continuar indefinidamente. (Clarke, s.f.)



**Figura 17. Parámetros de devanado**

Fuente: (Dobroschke, s.f.)

### Diámetro nominal incluido el aislamiento

$$d_i = d \times \text{factor del esmaltado}$$

**Ecuación 14**

$$d_i = d \times 1.1$$

Dónde:

$d_i$  = Diámetro nominal incluido el aislamiento [m]

$d$  = Diámetro del conductor (alambre AWG 37) [m]

$$d_i = 1.1300 \times 10^{-4} \times 1.1$$

$$d_i = 1.2430 \times 10^{-4} \text{ m}$$

### Diámetro de trabajo del alambre

$$d_w = d_i \times \text{factor del bobinado}$$

**Ecuación 15**

$$d_w = d_i \times 1.1$$

Dónde:

$d_w$  = Diámetro de trabajo del alambre [m]

$d_i$  = Diámetro nominal incluido el aislamiento [m]

$$d_w = 1.2430 \times 10^{-4} \times 1.1$$

$$d_w = 1.3673 \times 10^{-4} \text{ m}$$

### Vueltas por capa

$$\text{Vueltas por capa} = \frac{L_b}{d_w}$$

**Ecuación 16**

Dónde:

$L_b$  = Longitud de la bobina [m]

$d_w$  = Diámetro de trabajo del alambre [m]

$$\text{Vueltas por capa} = \frac{0.0104}{1.3673 \times 10^{-4}}$$

$$\text{Vueltas por capa} = 76.0623 \approx 76$$

### Número de capas

$$\text{Número de capas} = \frac{Nv}{\text{Vueltas por capa}}$$

**Ecuación 17**

Dónde:

$Nv$  = Número de vueltas

$$\text{Número de capas} = \frac{520}{76}$$

$$\text{Número de capas} = 6.8421 \approx 7$$

### Diámetro exterior de la bobina

$$D_o = (2 \times \text{Número de capas} \times d_w) + D$$

**Ecuación 18**

Dónde:

$D_o$  = Diámetro exterior de la bobina [m]

$$D_o = (2 \times 7 \times 1.3673 \times 10^{-4}) + 0.0078$$

$$D_o = 0.0097 \text{ m}$$

### Longitud total del alambre en la bobina

$$L_w = 2\pi \left( \frac{\text{Número de capas} \times d_w + D}{2} \right) \times Nv$$

**Ecuación 19**

Dónde:

$L_w$  = Longitud total del alambre en la bobina [m]

$d_w$  = Diámetro de trabajo del alambre [m]

$D$  = Diámetro sección transversal [m]

$Nv$  = Número de vueltas

$$L_w = 2\pi \left( \frac{7 \times 1.3673 \times 10^{-4} + 0.0078}{2} \right) \times 520$$

$$L_w = 14.3059 \text{ m}$$

## **2.7. Normativas**

### **2.7.1. Generales**

Para el diseño del relay se utilizó la norma: IEC 61810 RELÉS ELECTROMECAÑICOS ELEMENTALES, la IEC (International Electrotechnical Commission) desarrolla Normas Internacionales para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas como referencia.

### **2.7.2. Devanado**

Alambre de cobre - IEC 60317-38 Especificaciones para tipos particulares de hilos de bobinado - Parte 38: Poliéster o poliésterimida recubierto con poliamida-imida, hilo de cobre redondo esmaltado, clase 200, con una capa de unión.

### **2.7.3. Calibre de alambre**

Para seleccionar el calibre del alambre se basó en la norma ASTM B258-14 Especificación estándar para diámetros nominales estándar y áreas de sección transversal de AWG Tamaños de alambres redondos sólidos utilizados como conductores eléctricos.

## **2.8. Proceso de fabricación del relay**

### **Carrete, Base y Cubierta**

Se realizó los planos en base a las dimensiones calculadas previamente y se lo fabricó mediante impresoras 3D en material plástico como el PLA. Se guardó los archivos en formato STL y se los posicionó sobre el plano virtual de impresión, para dar la orden de imprimir. La impresora se alimenta mediante una bobina del material, la cual calienta el mismo para su fusión, conformando las piezas deseadas. Por último se retiró el material excedente y se obtuvo los elementos.

### **Núcleo**

A partir de una barra de Acero A-36 cilíndrica de 8mm de diámetro, se utilizó un torno para el desbaste de la barra hasta alcanzar la dimensión aproximada del núcleo (ver planos en APÉNDICES) a través de un cilindrado. Luego, se realiza un acabado para tener las dimensiones del núcleo. Seguidamente, se realiza un refrentado para obtener una barra de superficie plana en ambas caras. Finalmente, una vez obtenida la barra con las dimensiones requeridas se realiza un corte con una cuchilla de corte.

### **Bobinado**

Se procedió al devanado sobre el carrete anteriormente manufacturado, manualmente se envolvió con alambre AWG37 de cobre al carrete que contendrá el núcleo, en base a un número determinado de vueltas y capas calculados conforme a los requerimientos preestablecidos. Por cada capa realizada se cubrió con cinta de papel para que no se afecte la distribución uniforme del devanado.

## **Pines**

Iniciando con una chapa de latón de 0.8mm de espesor, se empleó una máquina de bordes cortantes como el troquel y se realizó las marcas, cortes, perforaciones sobre la superficie del material a troquelar en base a las dimensiones de los planos de la pieza. Finalmente, se realizó el limado para quitar pequeñas cantidades de material (rebabas) a través del uso de una lima con el fin de dar a la pieza la forma y las dimensiones finales deseadas.

## **Armadura fija**

Con una lámina de Acero galvanizado de espesor 0.5mm, se recurrió al troquel y se efectuó los cortes y perforación, posteriormente se realizó el doblado en ángulo recto, en base a las dimensiones de los planos de la pieza. En último lugar, se realizó usó la lima para eliminar los rebordes obteniendo la configuración deseada del componente.

## **Armadura móvil**

Comenzando con una chapa de acero laminado de 1.5mm de espesor, se manejó una máquina troquel y se efectuaron los cortes sobre la superficie del material a partir de los planos de la pieza. Por último, se limó manualmente para remover los excesos de material y alcanzando las dimensiones finales de dicha pieza.

## **Platina**

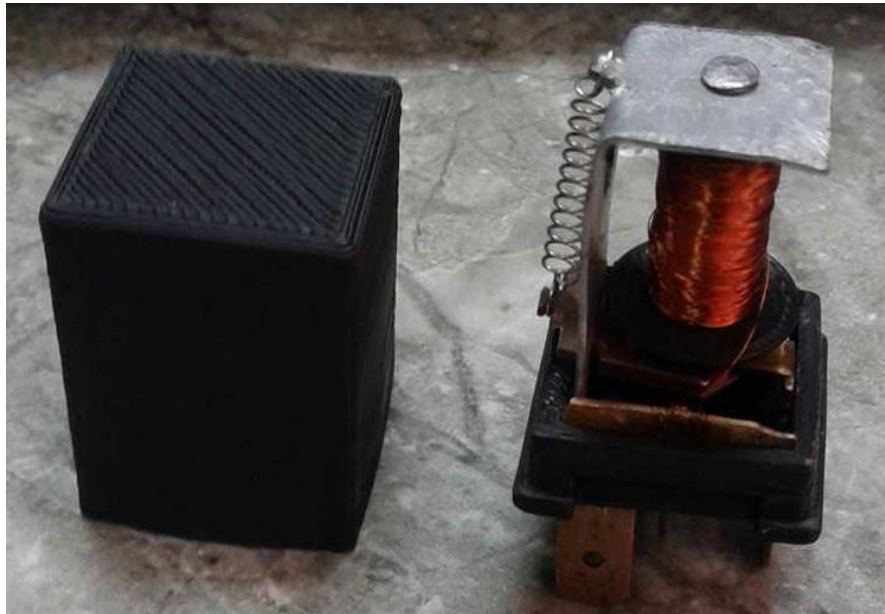
Similarmente a los componentes anteriores se partió de una lámina de cobre con espesor de 0.2mm de espesor, se dispuso de la troqueladora y se efectuó los cortes. Finalmente, se realizó usó la lima para eliminar las rebabas obteniendo el contorno deseado del elemento.

## Conjunto móvil

Mediante el uso de la soldadura de punto se procedió a la unión del alambre trenzado de cobre con la platina y el pin respectivo, asegurando la conductividad eléctrica.

## Ensamble

Finalmente se procedió a ensamblar todas las piezas con máximo cuidado, puesto que una deformación de las mismas infiere en fallas no deseadas como el corte del alambre, contacto eléctrico no deseado, etc



**Figura 18. Relay de fabricación nacional**

Fuente: (propia, 2017)

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Análisis de resultados

En este capítulo se presentarán los detalles de cada uno de los componentes que conforman el relay. A continuación, se muestran las tablas donde se incluye los detalles calculados (diseño crítico), los cuales se utilizaron para la construcción del mismo; con base a los recursos económicos y disponibilidad de los materiales en el mercado local.

#### 3.1.1. Resultados generales

Tabla 8. Resultados

Variable		Resultado
Fuerza del resorte	$F_R$	4,43 N
Fuerza de atracción electromagnética	$F_n$	2 N
Aceleración angular	$\alpha$	3,23 rad/s
Inducción magnética	$B$	0,2 T
Área de sección transversal del núcleo	$A$	$2,64 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
Campo magnético	$H$	500 A-v/m
Número de vueltas de la bobina	$N$	520 vueltas
Fuerza magnetomotriz	$F_m$	5,20 A-v

Fuente: (propia, 2017)

Tabla 9. Resultados del Devanado

Variable		Resultado
Diámetro nominal incluido el aislamiento	$d_i$	$1,24 \times 10^{-4} \text{ m}$
Diámetro de trabajo del alambre	$d_w$	$1,37 \times 10^{-4} \text{ m}$
Vueltas por capa		76
Número de capas		7
Diámetro exterior de la bobina	$d_o$	$9,70 \times 10^{-3} \text{ m}$
Longitud total del alambre en la bobina	$L_w$	14,31 m

Fuente: (propia, 2017)



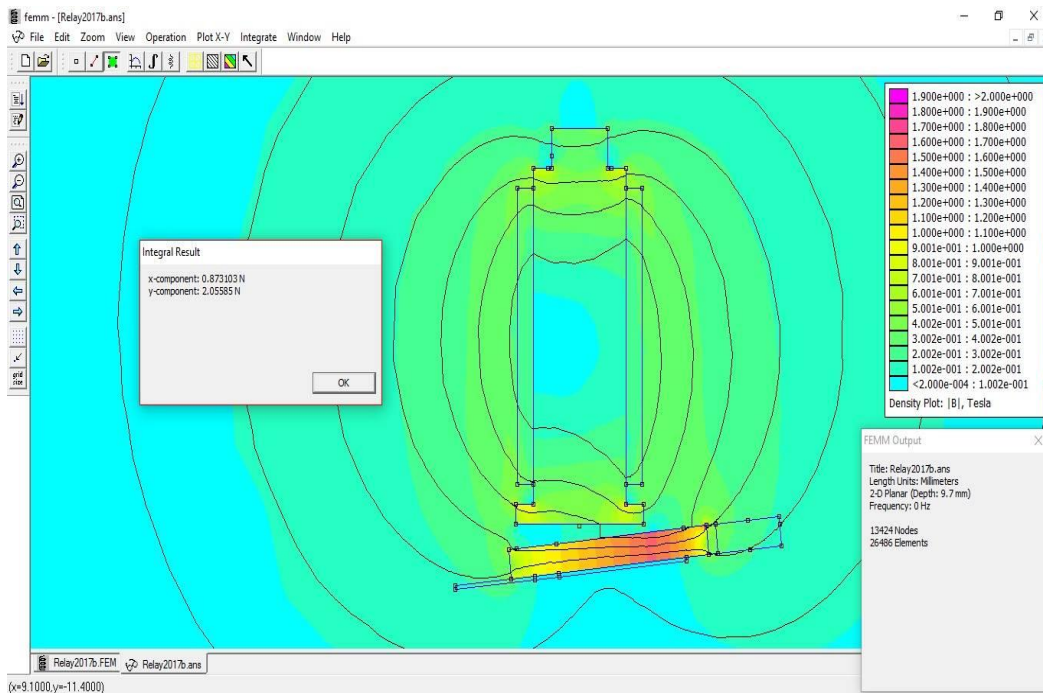
### 3.1.2. Materiales

#### *Núcleo magnético*

El material de Acero al Silicio al 3% no se lo puede encontrar disponible en el mercado nacional dado que sólo lo vende en chapas y no en forma de barra cilíndrica. Por ende, si utilizamos chapas a este había que hacerle un proceso de fundición en base a un molde para obtener la forma y dimensiones del núcleo magnético requerido, pero por su pequeño tamaño no era viable en cuanto al costo para un prototipo.

En relación al proceso de maquinado posterior a la fundición del mismo, este se lo debe realizar mediante un torno con piedras de desbaste dado que el silicio por sus propiedades mecánicas es muy quebradizo para exponerlo a un proceso de torno con cuchilla como generalmente se acostumbra, sin embargo, el proceso de maquinado abrasivo, por razones económicas es poco viable puesto que es más elevado el costo para su construcción, en especial cuando se tiene como objetivo competir en el mercado local y posteriormente en el mercado regional.

### 3.1.3. Simulación del relay



**Figura 19. Simulación del relay**

Fuente: (propia, 2017)

Puesto a que no existen ecuaciones directas para la aplicación específica del proyecto, se partió de diversas fórmulas generales para los cálculos magnéticos, unas que surgen de las ecuaciones de Maxwell (teóricas), y otras desarrolladas mediante observación y experimentación (empíricas), por lo que se generaron varias dudas sobre la aplicación de estas en el proyecto, despejando dichos cuestionamientos con la simulación del sistema magnético mediante el programa FEMM versión 8,0, el cual confirmó que los resultados obtenidos a través de los procesos y cálculos realizados en el Capítulo 2, son los correctos para el proyecto.

### 3.2. Análisis de costos

#### 3.2.1. Costos de materiales

En la Tabla 10 se muestra los costos aproximados de cada uno de las piezas que conforman la parte estructural del relay.

**Tabla 10 Costos de la parte estructural del relay**

Ítem.	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (\$/Kg)	Valor total
1	Alambre de cobre esmaltado AWG #37	kg	0.00095	11.66	\$ 0.01
2	Carrete de plástico PLA	Kg	0.00085	20	\$ 0.02
3	Carcasa de plástico PLA	Kg	0.00004	20	\$ 0.01
4	Base de plástico PLA	Kg	0.00024	20	\$ 0.05
5	Resorte espiral K=225, Acero A36	Pieza	1	1	\$ 1.00
6	Núcleo- Acero A36	Kg	0.00470	0.84	\$ 0.01
7	Armadura móvil- Cobre	Kg	0.00173	9.98	\$ 0.02
8	Armadura fija- Acero galvanizado	Kg	0.00460	1.05	\$ 0.01
9	Platina móvil - Cobre	Kg	0.00024	9.98	\$ 0.01
10	PIN B-Latón (2 Uds.)	Kg	0.00178	0.59	\$ 0.02
11	PIN A-Latón	Kg	0.00081	0.59	\$ 0.01
12	PIN C-Latón	Kg	0.00105	0.59	\$0.01
13	Alambre de cobre trenzado	m	0.01500	2.30	\$0.04
				<b>TOTAL</b>	<b>\$1.22</b>

Fuente: (propia, 2017)

### 3.2.2. Costos de construcción

En la Tabla 11 se muestra los costos de construcción proporcionados por un taller de Metal-Mecánica, en base a los planos obtenidos del relay y la fabricación del prototipo del mismo.

**Tabla 11 Costos de Construcción**

Ítem.	Descripción	Costo
1	Procesos de manufactura (Torneado, troquelado, limado y soldadura)	\$25
	<b>Total</b>	<b>\$25</b>

Fuente: (propia, 2017)

### 3.2.3. Costos Total del proyecto

Finalmente, el costo total de la elaboración del proyecto se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12 Costo Total**

Ítem.	Descripción	Costo
1	Material	\$1.22
2	Procesos de manufactura	\$25
	<b>Total Relay</b>	<b>\$26.22</b>

Fuente: (propia, 2017)

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se consideró que los objetivos del proyecto perseguían el diseño de inductores y la elaboración de un prototipo, por ende, se logró enfocar estrictamente en el desarrollo del producto empleando recursos y materiales disponibles localmente, independientemente del aspecto económico.
- Se determinó a partir de varios cálculos ingenieriles que la fuerza necesaria para mover la armadura móvil es de aproximadamente 2N con un número de 520 vueltas, núcleo de acero y alambre de cobre AWG#37.
- Se logró el diseño mecánico del relay con éxito cumpliendo con estándares internacionales de elementos como: núcleo y pines.
- Se logró realizar el modelo en 3D del relay y sus componentes en el software de Autodesk Inventor. Además, se visualizó la proporción de los elementos constituyente del relay, para poder modificar cualquier desperfecto de forma.
- Mediante una simulación en FEMM, versión 8,0; se pudo demostrar que los resultados obtenidos a través de los procesos y cálculos ingenieriles realizados son los correctos para el proyecto.
- Se logró la construcción del prototipo con materiales disponibles en el mercado local, ya que actualmente no se cuenta en las industrias grandes variedades de materiales en el Ecuador.
- Finalmente, en base al costo final del prototipo no representa que el costo del producto diseñado sea elevado, como se pudo observar, los costos de procesos de manufactura representan un 95.35% del costo total del prototipo, si se requiriese fabricar este producto en serie, el precio se reduciría en gran medida, permitiendo la competitividad. Por el cual, sería una gran expectativa de emprendimiento a nivel local promover el desarrollo tecnológico, científico y económico dentro del país.

## 4.2. Recomendaciones

- Incentivar a la creación de empresas o convenios gubernamentales a transformación de la materia prima con materiales disponibles en el Ecuador a la producción de diferentes aparatos tecnológicos-electrónicos logrando así fuentes de empleos y economía en del país.
- Tomar en cuenta los estándares internacionales al momento de diseñar un dispositivo puesto que deben cumplir el principio de diseño mecánico de intercambiabilidad de componentes. Los límites de funcionamiento de un inductor vienen dados por las propiedades del alambre empleado en el devanado, como corriente, temperatura, tensión, etc.

# BIBLIOGRAFÍA

1. (s.f.). Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/document/7444075/>
2. (16 de 06 de 2016). Obtenido de <http://www.acalbf.com/nl/articles/articlesContentPage/Iron-powder-pot-cores-keep-the-flux-inside/NA-000667>
3. ASME. (s.f.). *ASTM B258 - 14 Standard Specification for Standard Nominal Diameters and Cross-Sectional Areas of AWG Sizes of Solid Round Wires Used as Electrical Conductors.*
4. *Basic Car Audio Electronics.* (12 de 06 de 2016). Obtenido de <http://www.bcae1.com/inductor.htm>
5. Chander, B. R. (1977). *Switchgear, Power System Protection and* (Ilustrada ed.). (N. a. International, Ed.)
6. Clarke, R. (s.f.). *Producing wound components.* Obtenido de <http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/index.html#wdc>
7. DIANE, C. (1995). *Agreements, Economic Effects of Antidumping & Countervailing Duty Orders & Suspension.* (D. Publishing, Ed.) DIANE Publishing.
8. Dobroschke, A. (s.f.). *Spulnwickeltechnik.* Obtenido de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Aumann\\_Wilde\\_Wicklung\\_03.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Aumann_Wilde_Wicklung_03.jpg)
9. Duncan, S. (2013). *Componentes electrónicos análogos y digitales.* Recuperado el 14 de 06 de 2017, de <http://espanol.seymourduncan.com/wp-content/uploads/Bobina.jpg>
10. *ELECTRONIC CIRCUIT PROJECTS.* (13 de 06 de 2016). Obtenido de <http://www.homemade-circuits.com/2015/07/Ferrite-Core-Material-Selection-Guide-SMPS.html>
11. ETA. (s.f.). *Electronic Standard Relay - ESR10 ISO Micro.* Obtenido de [https://www.e-t-a.com/fileadmin/user\\_upload/Ordnerstruktur/pdf-Data/Products/Relais/Halbleiterrelais/2\\_eng/D\\_ESR10\\_Micro\\_ENG.pdf](https://www.e-t-a.com/fileadmin/user_upload/Ordnerstruktur/pdf-Data/Products/Relais/Halbleiterrelais/2_eng/D_ESR10_Micro_ENG.pdf)
12. Gurevich, V. (1956). *ELECTRIC RELAYS: PRINCIPLES AND APPLICATIONS.*
13. IRCE. (s.f.). Obtenido de <http://www.irce.it/eng/>
14. IREE. (1975). *Proceedings* (Vol. 36).
15. *MAGNETICS.* (14 de 06 de 2017). Obtenido de <https://www.mag-inc.com/Products/Ferrite-Cores/Ferrite-Pot-Cores>

16. McLyman, C. W. (2004). *Transformer and Inductor Design Handbook* (3 ed.). California, USA, E.E.U.U.
17. Rajendra, P. (2014). *Electrical machines*. (P. L. Pvt.Ltd, Ed.)
18. Salivahanan, S. (2008). *Electronic Devices & Circuits* (2 ed.). (T. M.-G.-H. education, Ed.)
19. SanMiguel, P. (2014). *ELECTROTECNIA*.
20. SOFTWARE INVENTOR 2017. (s.f.).
21. TSCINTERNATIONALL. (15 de 06 de 2016). Obtenido de <http://www.tscinternational.com/potdisadvant.html>
22. Ueltzen, C. (1999).
23. Vázquez, D. J. (1980). *MATERIALES ELECTROTECNICOS* (2 ed.). CEAC, S. A.
24. Visakh. (2017). *Rubber Based Bionanocomposites: Preparation Volume 56 of Advanced Structured Materials*. (Springer, Ed.)
25. Warrington, A. R. (2012). *Protective Relays: Their Theory and Practice* (ilustrada ed., Vol. 1). (S. S. Media, Ed.)

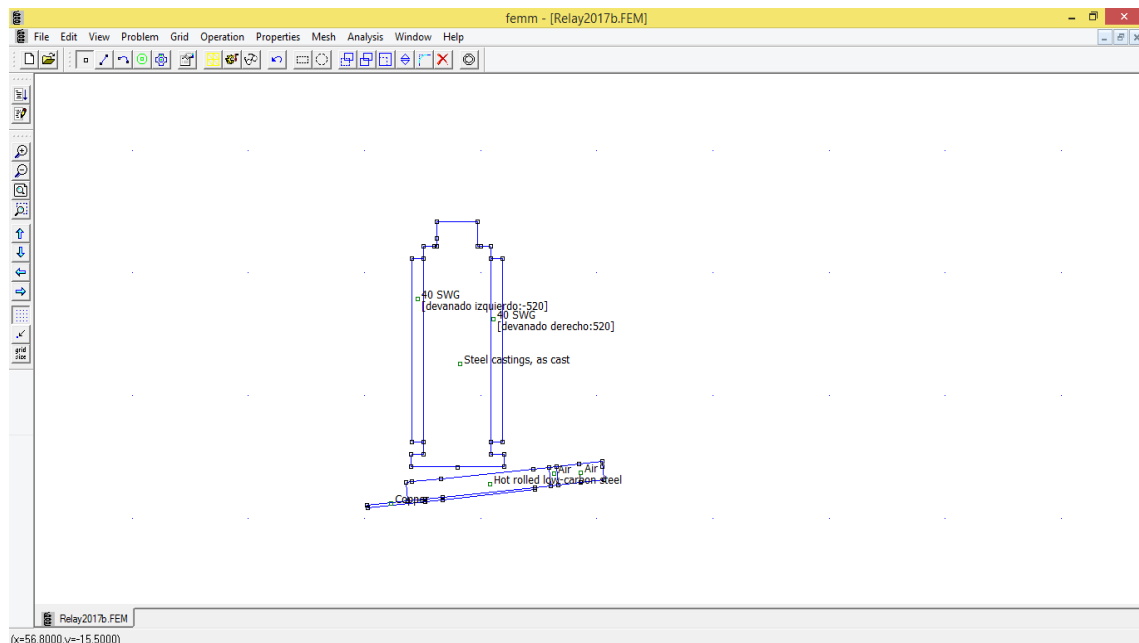
## **APÉNDICES**



## APÉNDICE A

### Simulación Magnética

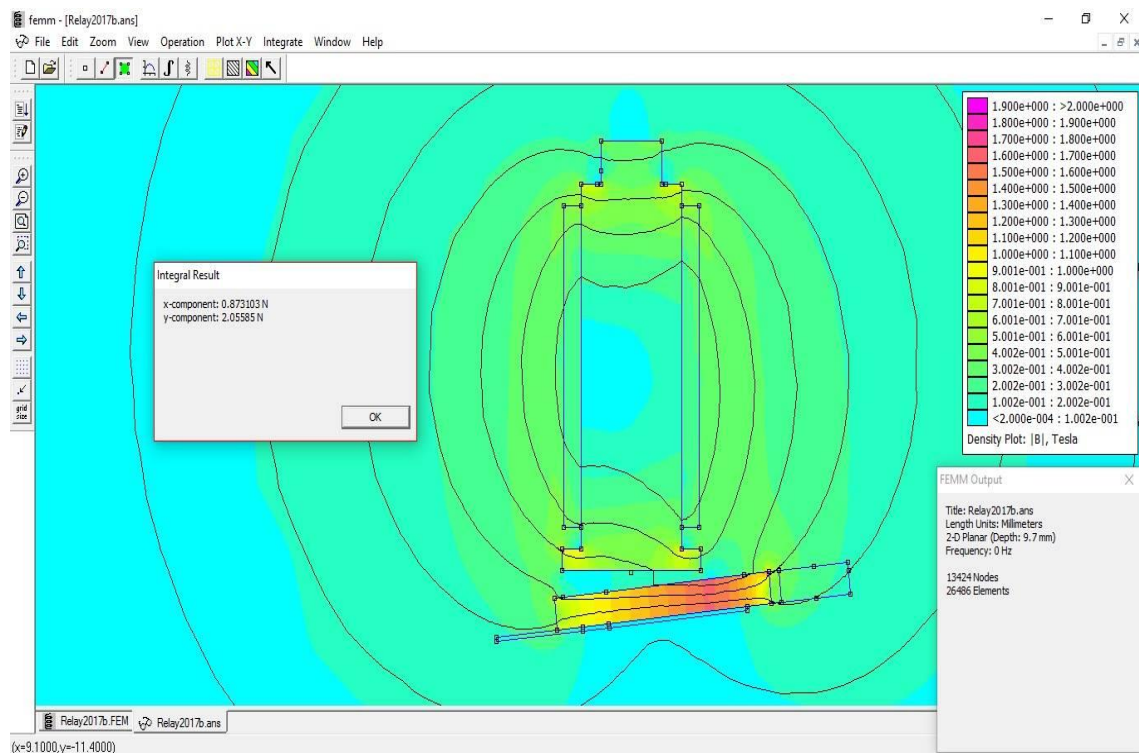
El análisis de fuerza y campo magnético se realizó mediante el programa libre FEMM (Finite Element Method Magnetics), para lo cual se procedió inicialmente a generar un nuevo archivo, se eligió el tipo de problema a resolver, en este caso fue “problema magnético”, luego se efectuó el esquema de nuestro sistema ingresando los nodos y se conectó por segmentos de recta. Una vez completado el esquema se seleccionó el menú propiedades y se agregó los materiales utilizados de la librería hacia el campo de “materiales del modelo”, además se crearon dos circuitos para los devanados tanto izquierdo como derecho, donde se especificó la corriente, el número de vueltas y el calibre del alambre. Después se colocó las “etiquetas de bloque”, las cuales determinaron los materiales de cada sección del esquema Ilustración A. A continuación, se estableció una frontera a través del parámetro “radio” y se guardó un archivo con extensión “FEM”.



**Ilustración A. Esquema magnético**

Fuente: (propia, 2017)

Posteriormente se generó el mallado obteniendo 13424 nodos, se corrió el análisis y se eligió la opción “ver resultados”. En el menú “ver” se seleccionó diagrama de densidad y se activó el casillero “mostrar tabla de densidad”, obteniendo un gráfico con escalas de colores del campo magnético B en Teslas. Finalmente se seleccionó los bloques móviles y se integró la fuerza por tensor de carga peso, obteniendo las fuerzas en las direcciones X y Y (ver Ilustración B), las cuales confirmaron los cálculos previamente efectuados ( $F_y \approx 2 N$ ).

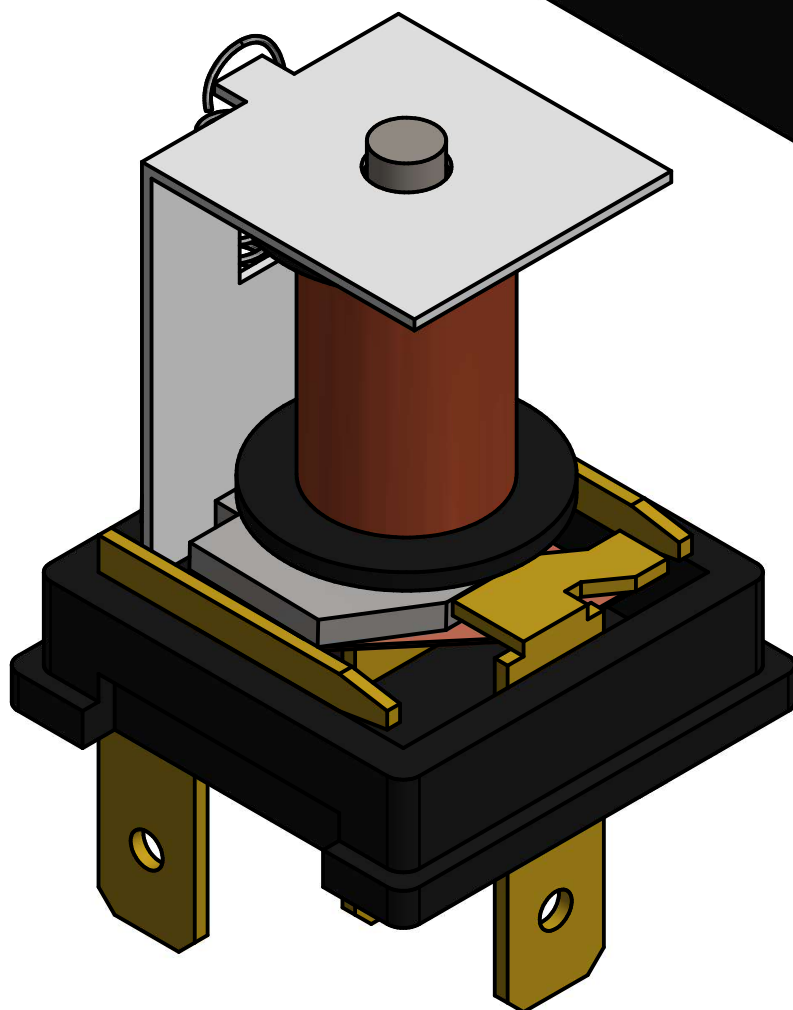


**Ilustración B. Esquema magnético**

Fuente: (propia, 2017)

APÉNDICE B

**PLANOS**



**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION**



**ESPOL**

**DIBUJADO:**

Rodríguez - Sinchiguano

**APROBADO:**

Ing. César Perugachi

**FECHA:**

04/09/22017

**MATERIAL:**

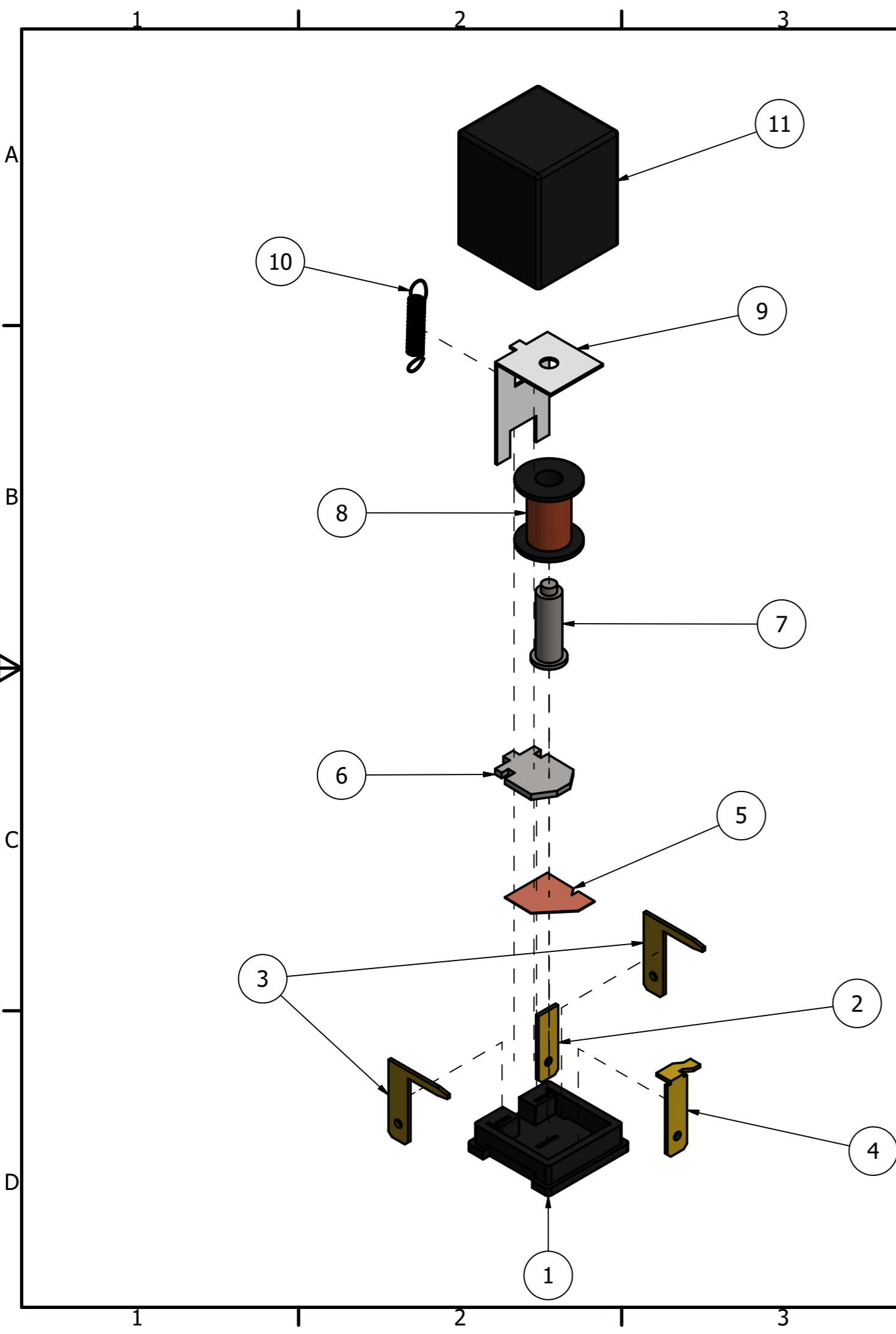
-



Vista isométrica

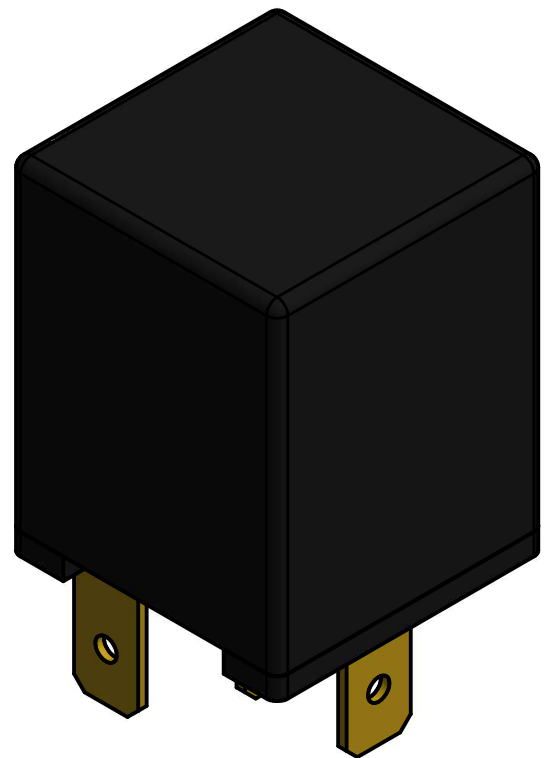
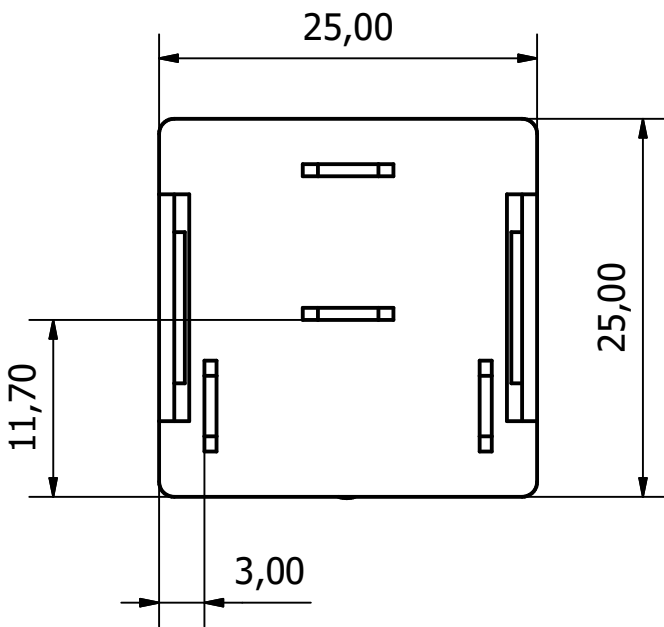
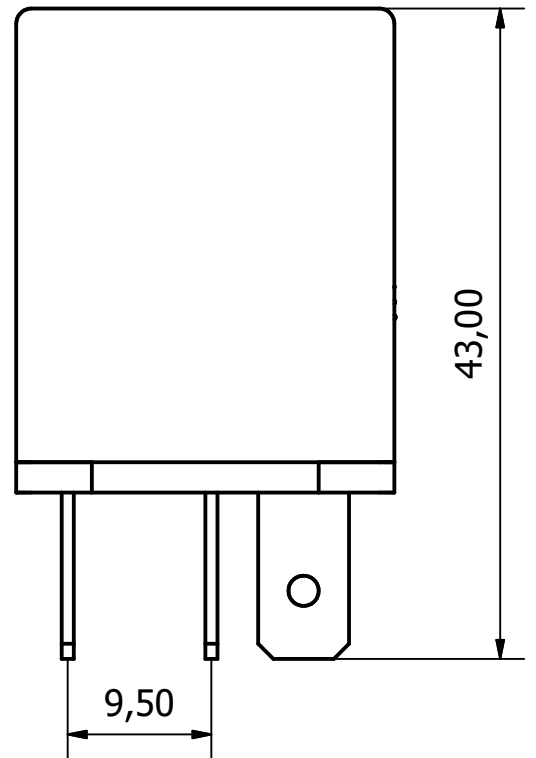
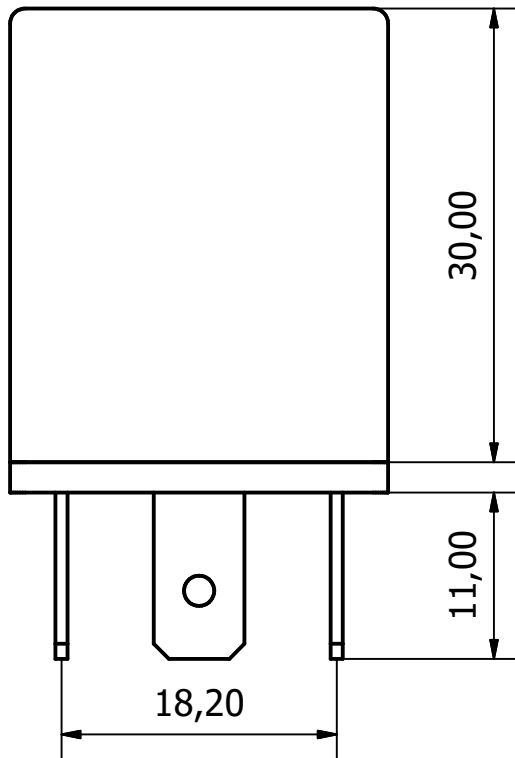
**ESCALA**  
3:1



**Nº PLANO**  
1/13

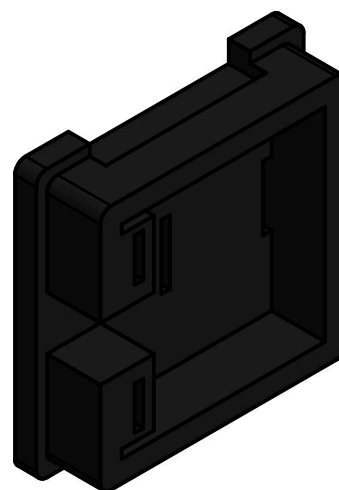
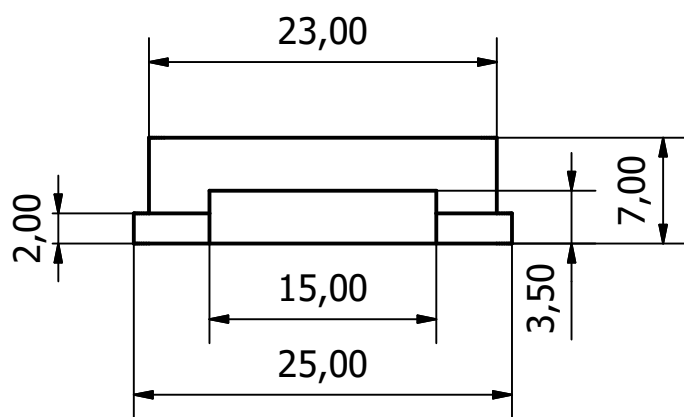
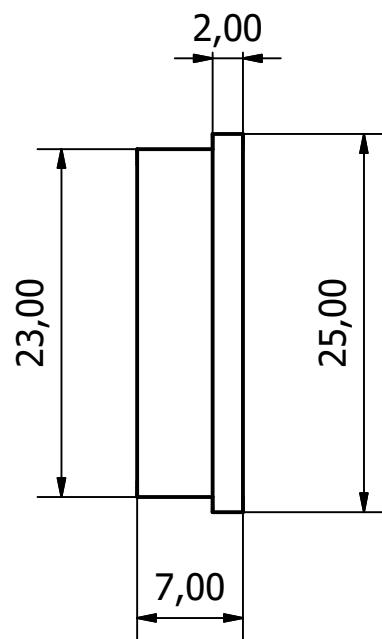
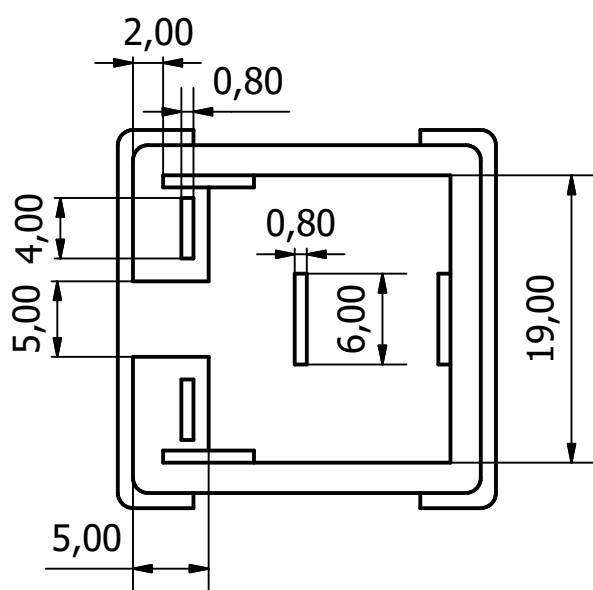


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CANTIDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Base
2	1	Pin A
3	2	Pin B
4	1	Pin C
5	1	Platina
6	1	Armadura movil
7	1	Nucleo
8	1	Bobina
9	1	Armadura fija
10	1	Resorte (k=225 / Ø3,4 mm / L=15 mm / 12 espiras)
11	1	Cubierta

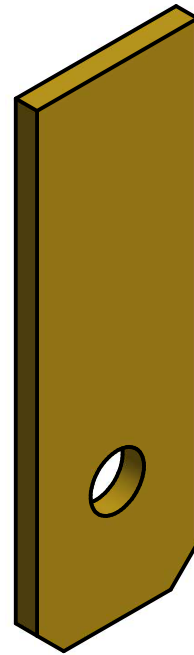
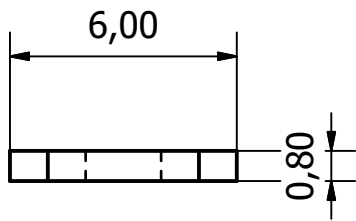
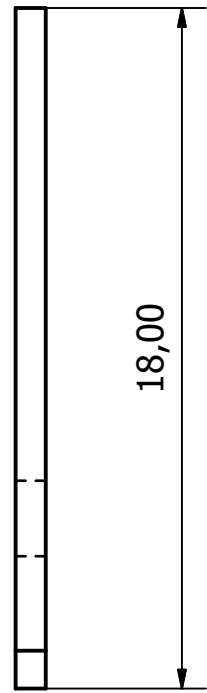
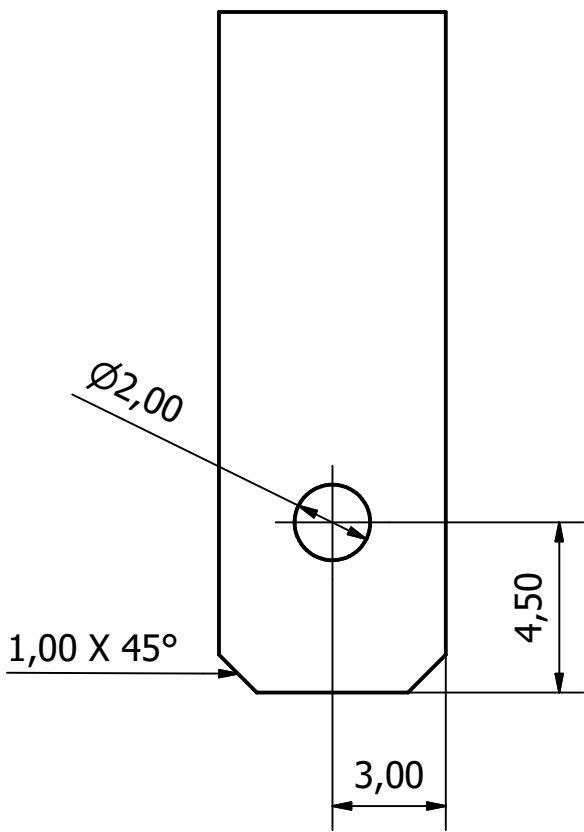
<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>	<b>DIBUJADO:</b> Rodríguez - Sinchiguano	<b>FECHA:</b> 04/09/2017	
	<b>APROBADO:</b> Ing. César Perugachi	<b>MATERIAL:</b> -	
	<b>ESPOL</b>	<b>Vista de explosión</b>	
		<b>ESCALA</b> 1:1	<b>Nº PLANO</b> 2/13





<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>	<b>DIBUJADO:</b> Rodríguez - Sinchiguano	<b>FECHA:</b> 04/09/22017		
	<b>APROBADO:</b> Ing. César Perugachi	<b>MATERIAL:</b> -		
	<b>ESPOL</b>	Dimensiones generales	<b>ESCALA</b> 2:1	<b>Nº PLANO</b> 3/13

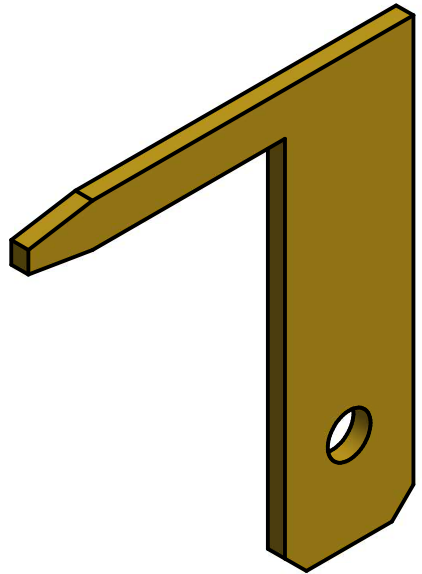
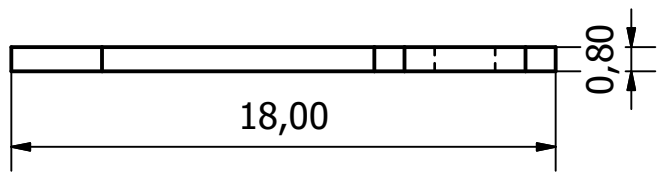
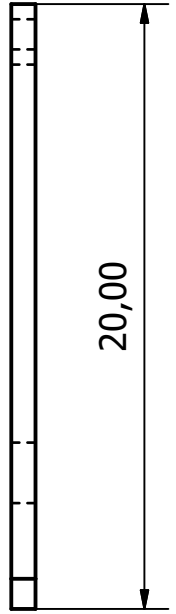
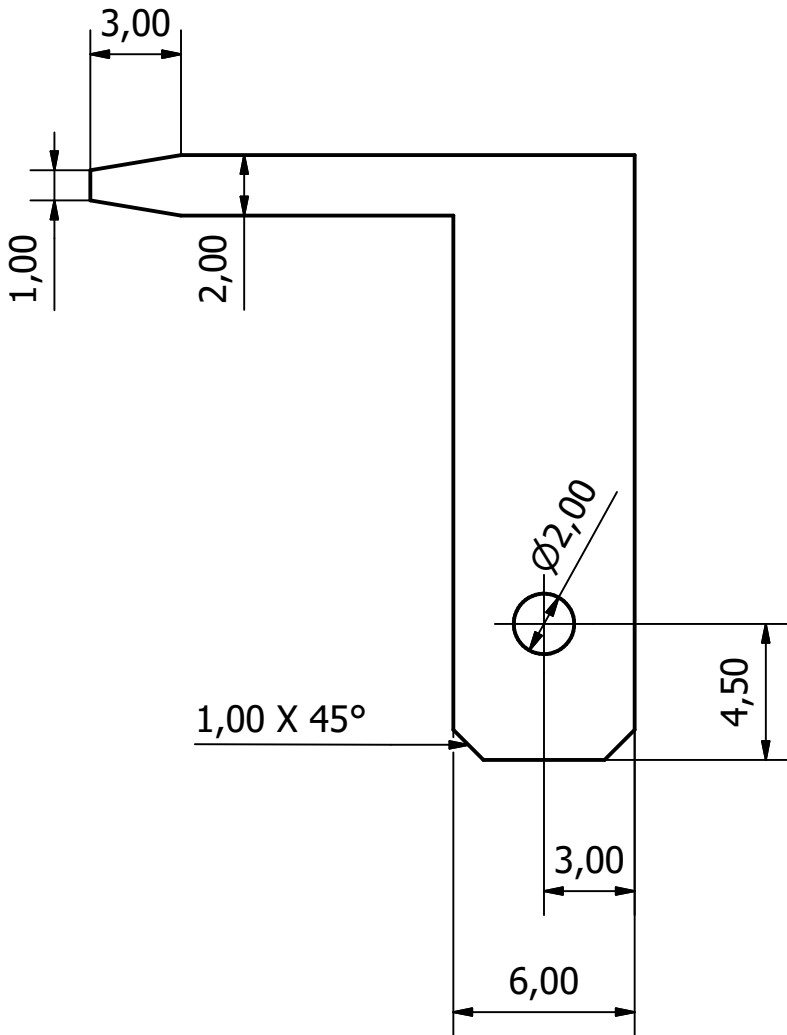


<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b>	<b>FECHA:</b>	
		Rodríguez - Sinchiguano	04/09/2017	
	<b>ESPOL</b>	<b>APROBADO:</b>	<b>MATERIAL:</b>	
		Ing. César Perugachi	PLA	
		Base		<b>ESCALA</b> 2:1

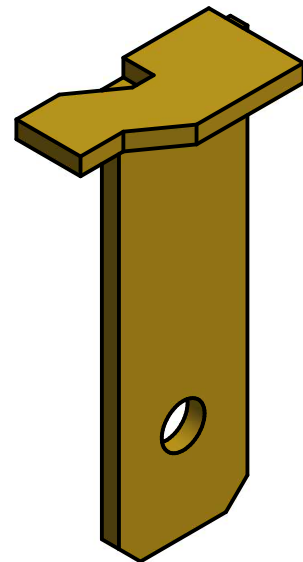
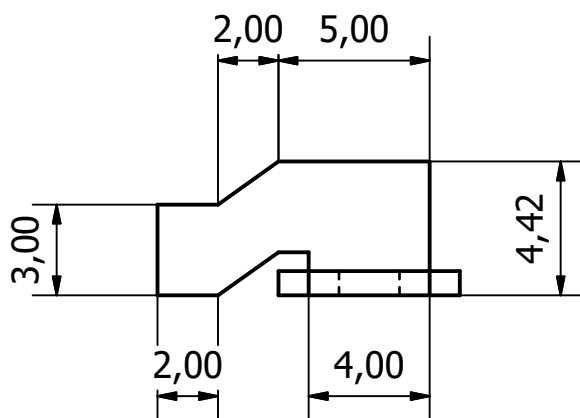
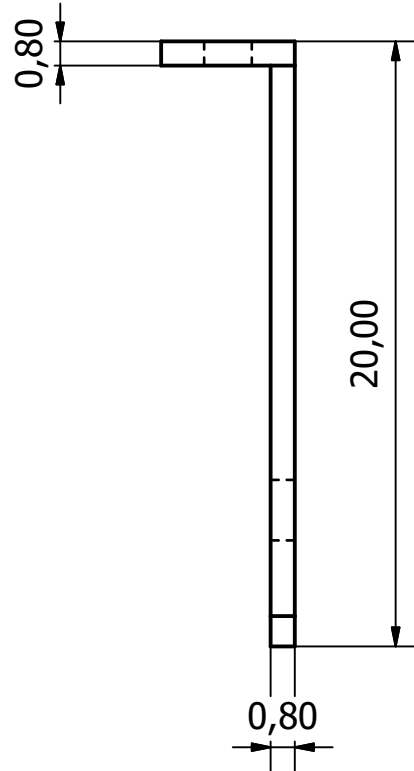
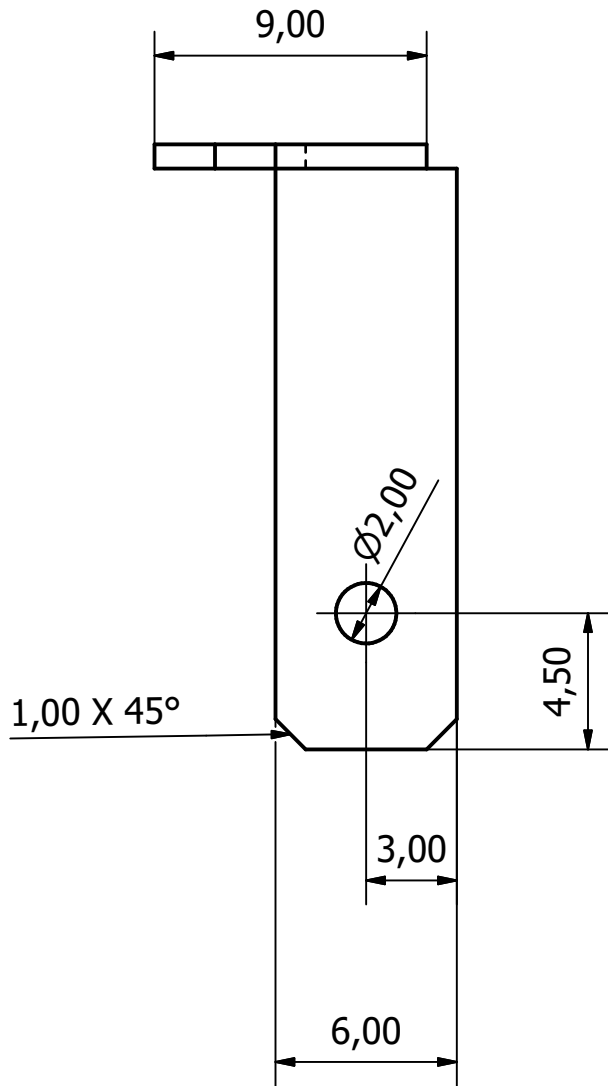


<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b>	<b>FECHA:</b>	
		Rodríguez - Sinchiguano	04/09/2017	
	<b>ESPOL</b>	<b>APROBADO:</b>	<b>MATERIAL:</b>	
		Ing. César Perugachi	Latón	
		Pin A		<b>ESCALA</b> 5:1

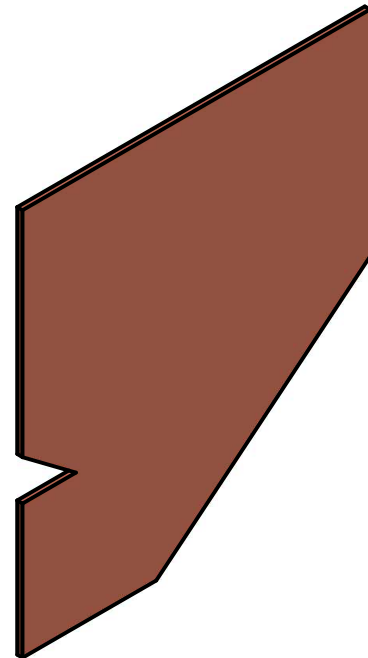
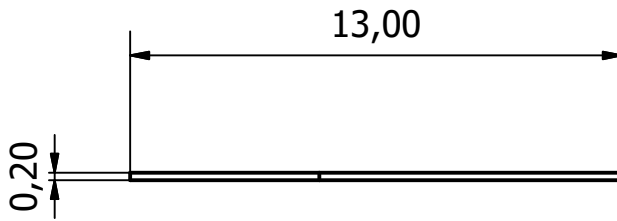
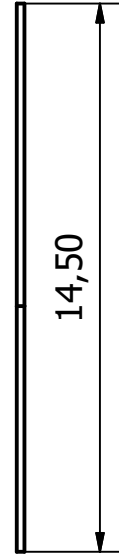
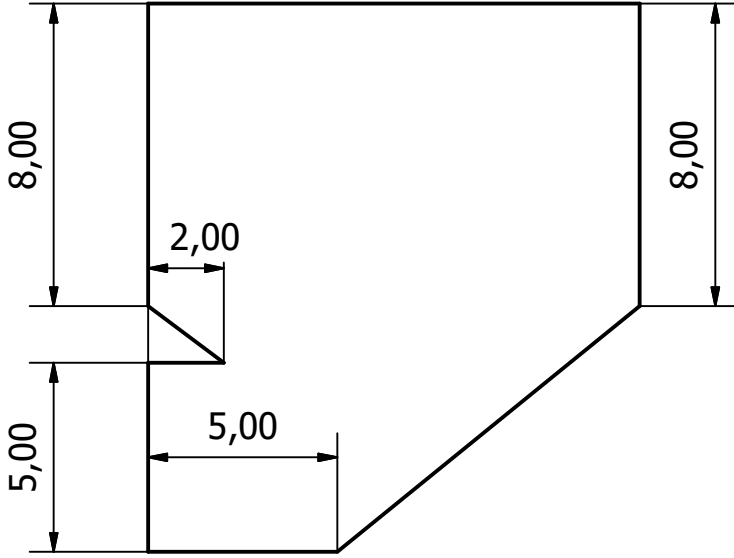




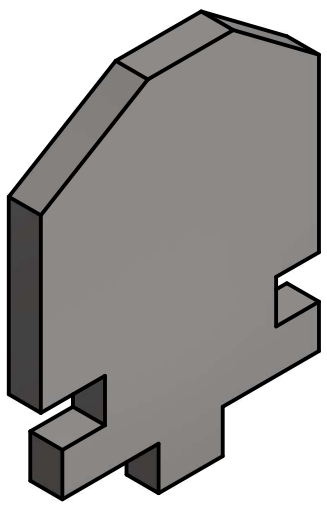
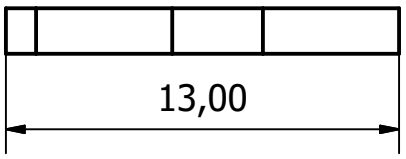
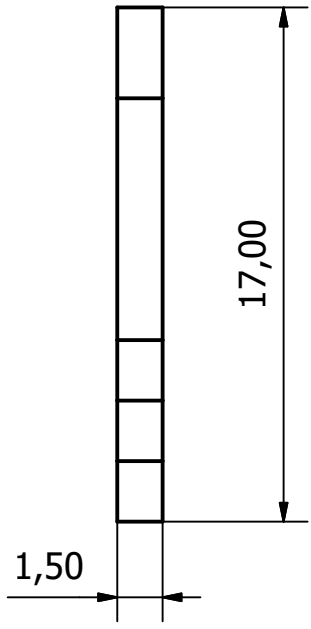
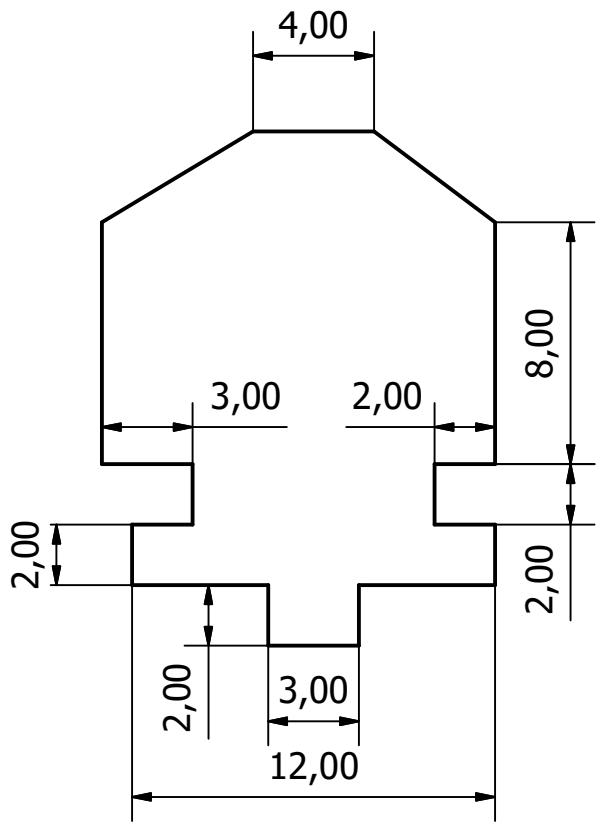
<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b> Rodríguez - Sinchiguano	<b>FECHA:</b> 04/09/2017	
		<b>APROBADO:</b> Ing. César Perugachi	<b>MATERIAL:</b> Laton	
	<b>ESPOL</b>	<b>Pin B</b>		<b>ESCALA</b> 4:1
				<b>Nº PLANO</b> 6/13



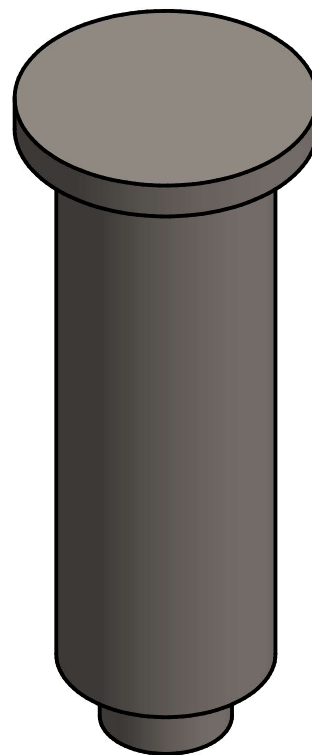
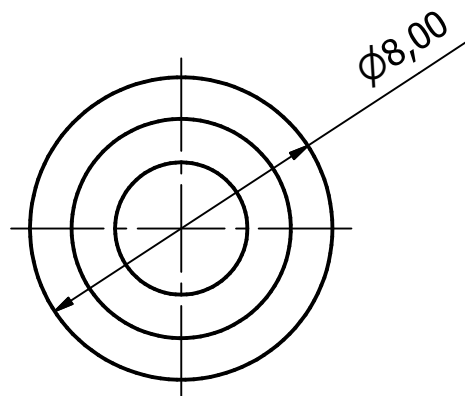
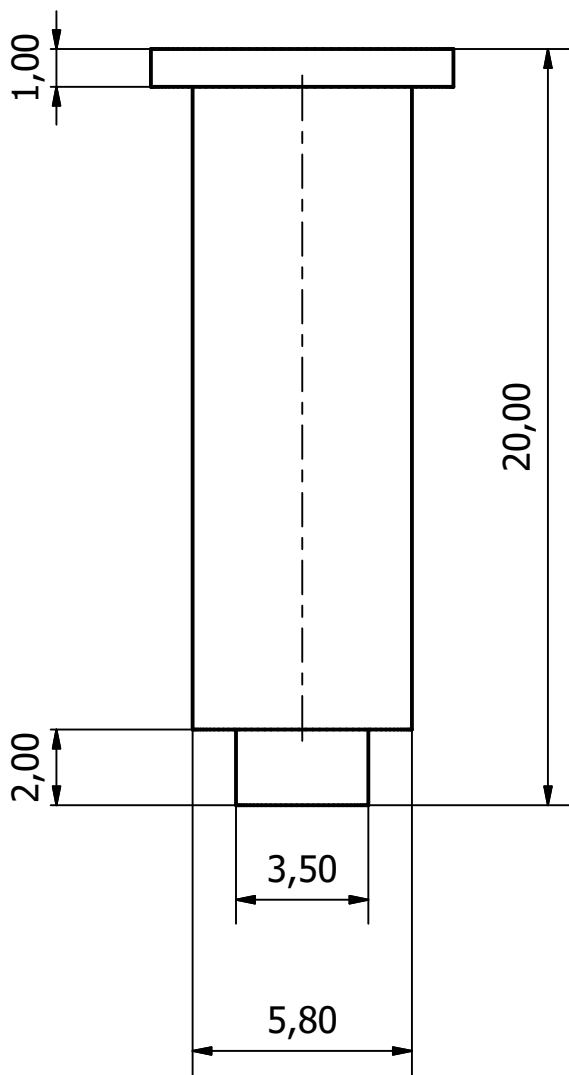
<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b>	<b>FECHA:</b>	
		Rodríguez - Sinchiguano	04/09/2017	
	<b>ESPOL</b>	<b>APROBADO:</b>	<b>MATERIAL:</b> Laton	
		Ing. César Perugachi		
		<b>Pin C</b>		<b>ESCALA</b> 4:1



<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b> Rodríguez - Sinchiguano	<b>FECHA:</b> 04/09/2017	
		<b>APROBADO:</b> Ing. César Perugachi	<b>MATERIAL:</b> Cobre	
	<b>ESPOL</b>	<b>Platina</b>		<b>ESCALA</b> 5:1
				<b>Nº PLANO</b> 8/13



<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b>	<b>FECHA:</b>	
		Rodríguez - Sinchiguano	04/09/2017	
	<b>ESPOL</b>	<b>APROBADO:</b>	<b>MATERIAL:</b>	
		Ing. César Perugachi	Acero laminado	
		Armadura movil		<b>ESCALA</b> 4:1



**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION**

**DIBUJADO:**

Rodríguez - Sinchiguano

**FECHA:**

04/09/2017



**ESPOL**

**APROBADO:**

Ing. César Perugachi

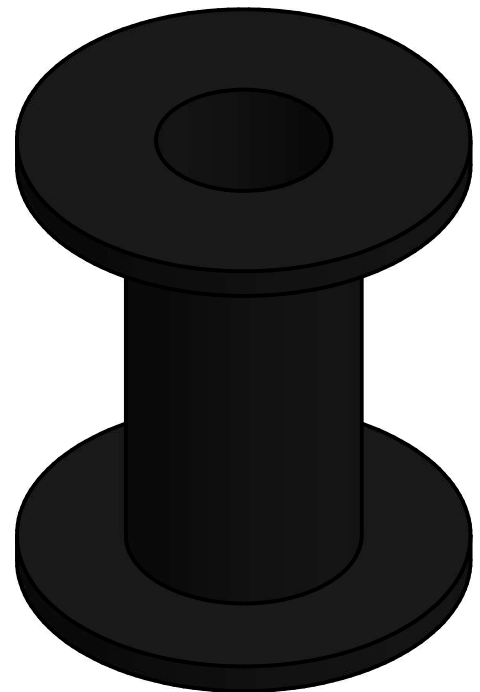
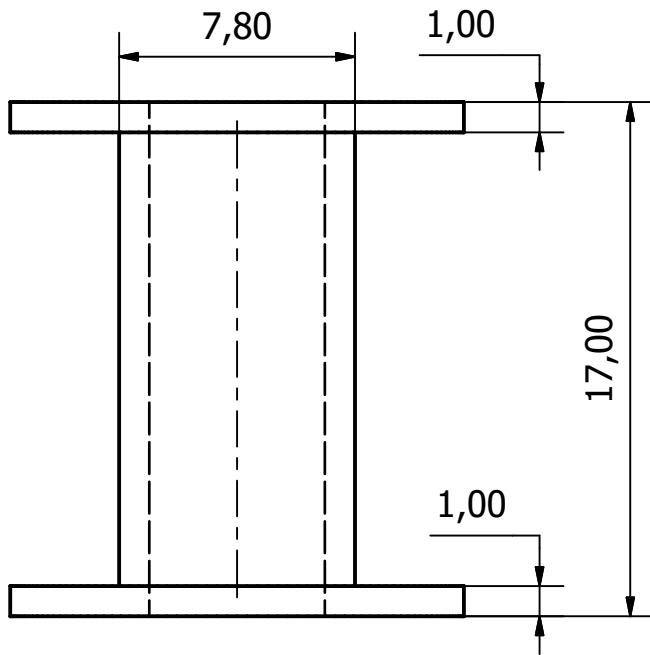
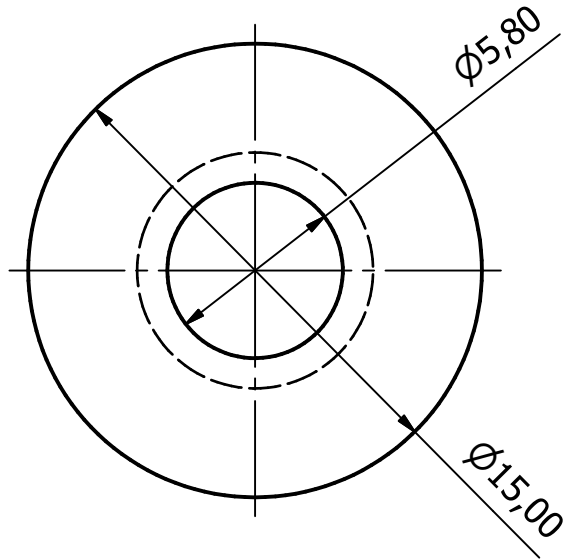
**MATERIAL:**

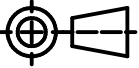

Acero fundido

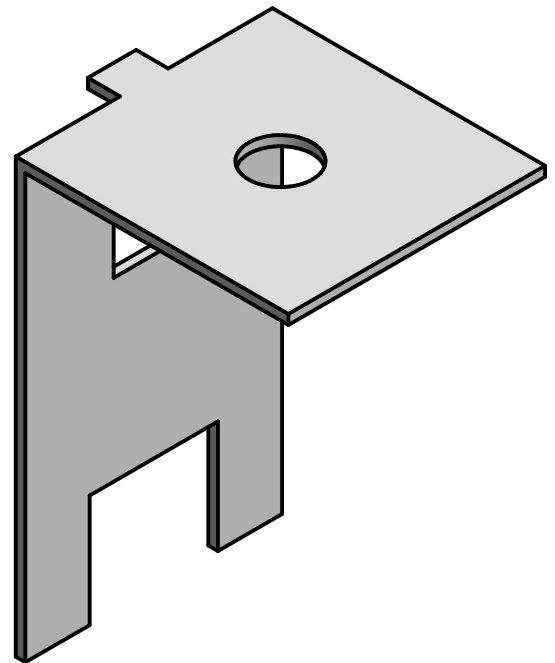
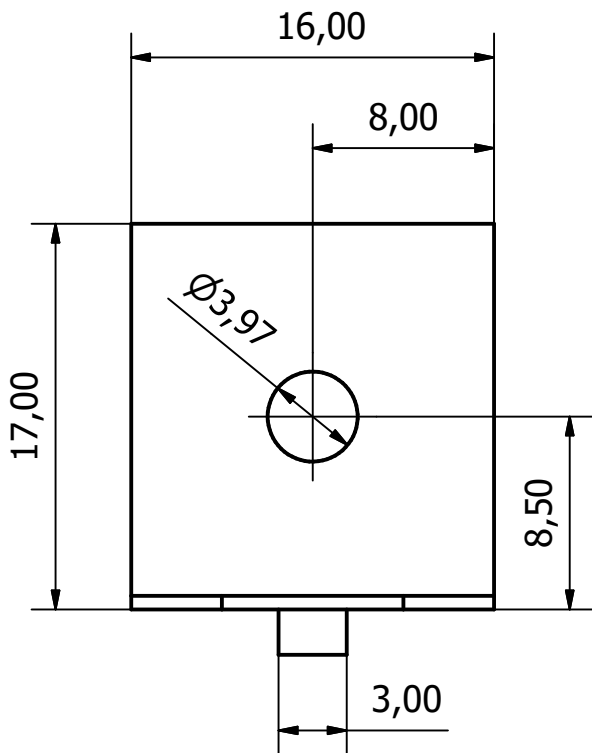
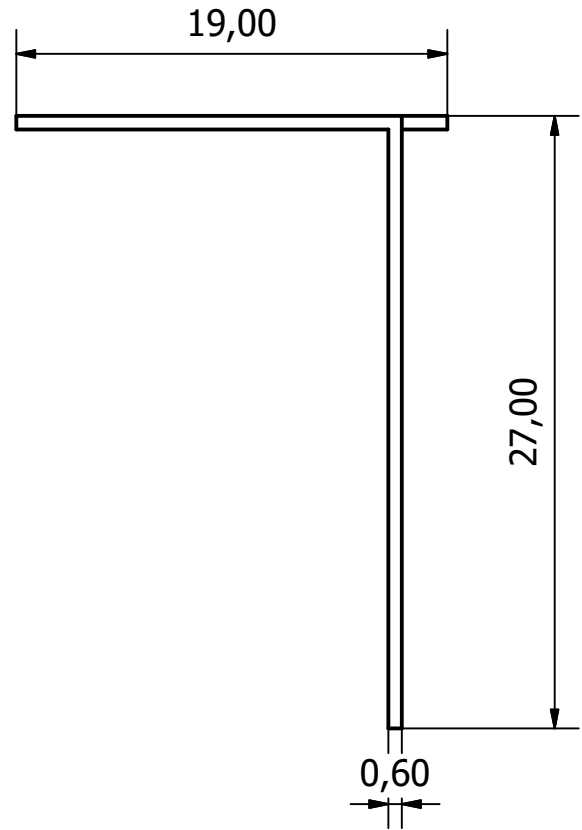
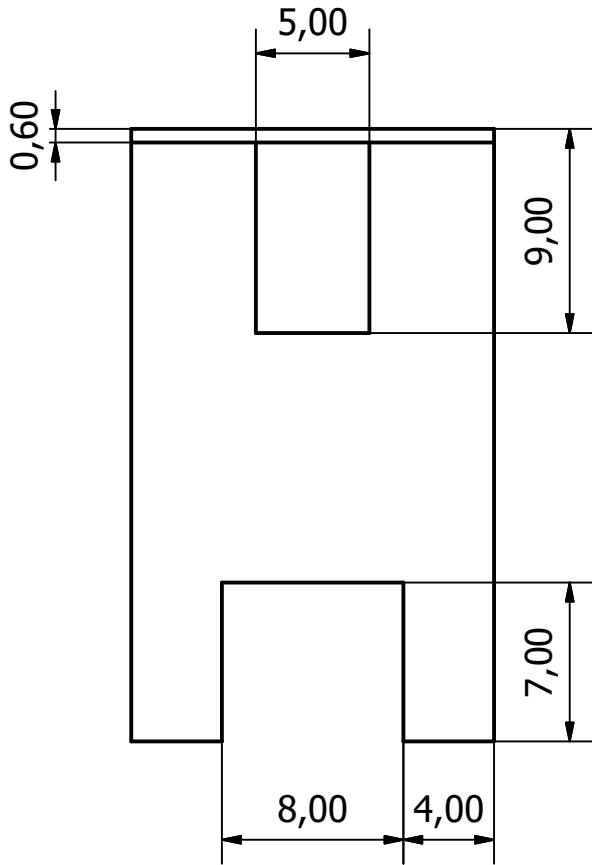
Nucleo

**ESCALA**  
5:1

**Nº PLANO**  
10/13



<b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>		<b>DIBUJADO:</b>	<b>FECHA:</b>	
		Rodríguez - Sinchiguano	04/09/2017	
	<b>ESPOL</b>	<b>APROBADO:</b>	<b>MATERIAL:</b>	
		Ing. César Perugachi	PLA	
		Carrete		<b>ESCALA</b> 4:1



**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION**

**DIBUJADO:**  
Rodríguez - Sinchiguano

**FECHA:**  
04/09/2017



**ESPOL**

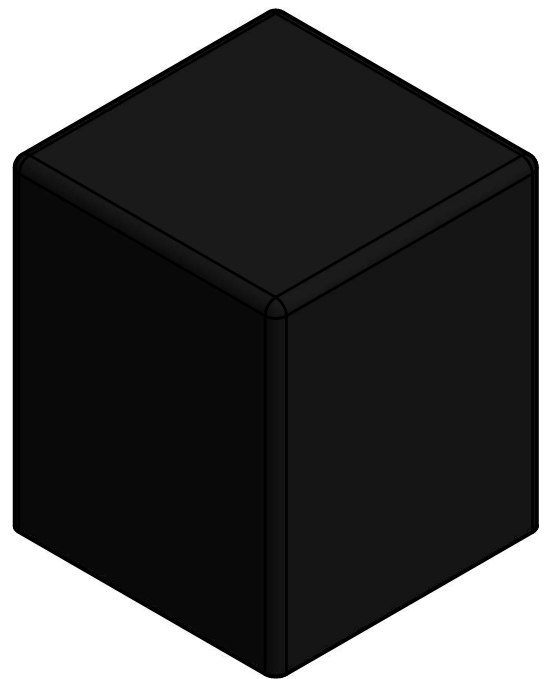
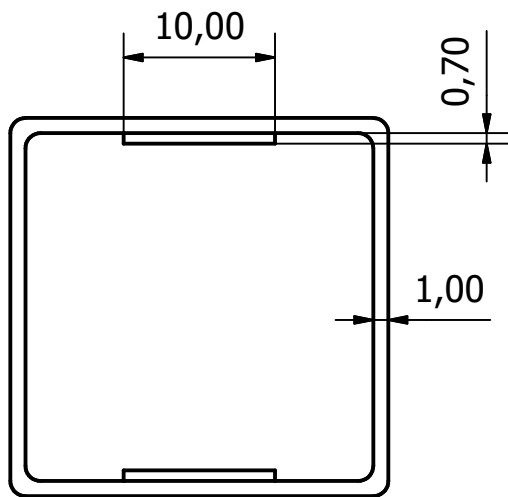
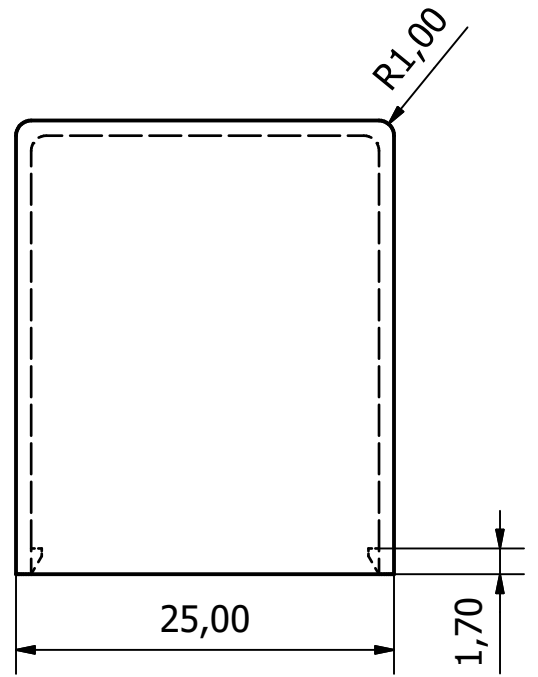
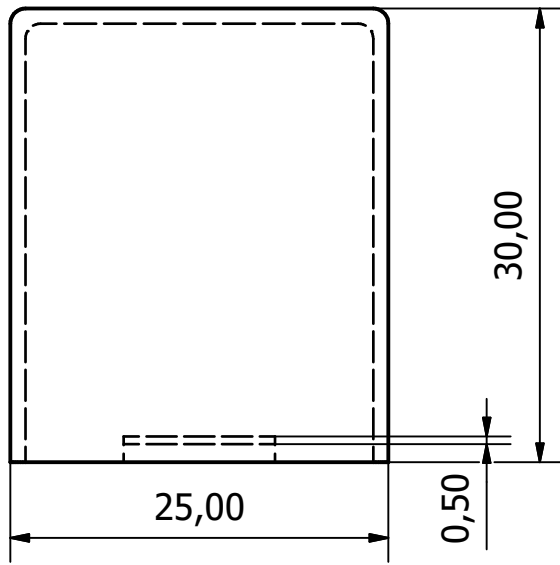
**APROBADO:**  
Ing. César Perugachi

**MATERIAL:**  
Acero galvanizado

Armadura fija

**ESCALA**  
3:1

**Nº PLANO**  
12/13



FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

DIBUJADO:

Rodríguez - Sinchiguano

FECHA:

04/09/2017



**ESPOL**

APROBADO:

Ing. César Perugachi

MATERIAL:

PLA

Carrete

ESCALA  
4:1

Nº PLANO  
13/13