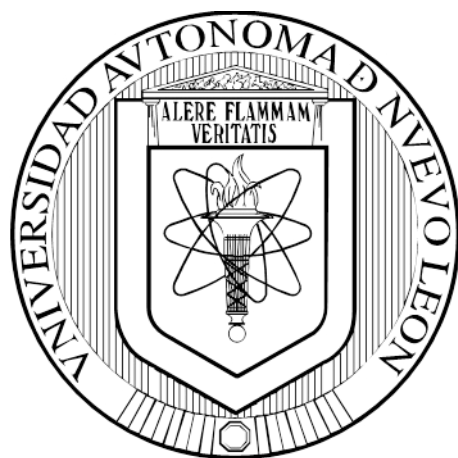


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ARQUITECTURA**



**TESIS**

**DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE DISPARO ELECTROMECAÁNICA A  
BASE DE UN BIMETAL DE ACCIÓN RÁPIDA**

**PRESENTA**

**ING. LUIS MIGUEL FRANCO CABALLERO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON  
ORIENTACIÓN EN GESTIÓN E INNOVACIÓN DEL DISEÑO**

**SEPTIEMBRE, 2017**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**TESIS**

**DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE DISPARO ELECTROMECAÁNICA A  
BASE DE UN BIMETAL DE ACCIÓN RÁPIDA**

**PRESENTA**

**ING. LUIS MIGUEL FRANCO CABALLERO**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON  
ORIENTACIÓN EN GESTIÓN E INNOVACIÓN DEL DISEÑO**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. JAVIER LEAL IGA**

**SEPTIEMBRE, 2017**

# Índice

## Capítulo 1 Visión General de la Investigación

1.1 Introducción.....	09
1.2 Reseña Histórica.....	10
1.3 Estado del Arte .....	11
1.4 Planteamiento del Problema.....	12
1.5 Objetivos.....	12
1.5.1 General	
1.5.2 Específicos	
1.6 Justificación.....	13
1.7 Preguntas de Investigación .....	13
1.8 Hipótesis.....	13

## Capítulo 2 Marco Teórico

### 2.1 Bimetales

2.1.1 Descripción.....	15
2.1.2 Funciones.....	16
2.1.3 Calentamiento de un Bimetal .....	17
2.1.4 Tipos.....	18
2.1.5 Bimetal “Snap” o Acción Rápida.....	19

### 2.2 Normas de Diseño y Restricciones

2.2.1 Norma UL489.....	21
2.2.2 Prueba de interrupción automática al 200%.....	21

2.2.3 Prueba de Calibración al 135%.....	22
2.2.4 Prueba de Calibración al 100%.....	22
2.2.5 Calibración Térmica en un Interruptor Termo Magnético.....	23
2.2.6 Tipos de Calibración.....	23
2.2.6.1 Calibración de Ingeniería al 200%	
2.2.6.2 Calibración en Frio o Manual	
2.2.7 Consumo Energético.....	27
<b>2.3 Micro-switch</b>	
2.3.1 Micro Switch Cherry D3.....	28
2.3.2 Especificaciones Técnicas del Micro Switch.....	28
<b>Capítulo 3 Metodología</b>	
3.1 Introducción.....	31
3.2 COMSOL Multyphysics.....	31
3.3 Elementos Finitos.....	32
3.4 Experimentos en COMSOL.....	33
3.4.1 Materiales en simulación	
3.4.2 Propiedades de los Materiales	
3.4.3 Simulación en COMSOL	
<b>Capítulo 4 Resultados</b>	
4.1 Obtención de Datos.....	38
4.2 Comprobación de los Datos.....	39
4.3 Estadística.....	40

## **Capítulo 5 Discusión de Resultados y Conclusiones**

5.1 Discusión de Resultados y Conclusiones.....	49
---	----

## **Capítulo 6 Propuesta Final**

6.1 Diseño Final.....	51
-----------------------	----

Bibliografía.....	52
-------------------	----

Apéndice A.....	54
-----------------	----

Apéndice B.....	55
-----------------	----

## Índice de Figuras:

Figura 1: Vista de un Disyuntor.....	9
Figura 2: Explicación Física de Expansión.....	16
Figura 3: Explicación Física de Deflexión.....	17
Figura 4: Representación grafica de calentamiento Directo.....	18
Figura 5: Representación grafica de calentamiento Indirecto.....	19
Figura 6: Tipos de Bimetales.....	20
Figura 7: Ilustración de la Patente de Valverde.....	21
Figura 8: Diseño preliminar del Bimetal de Acción Rápida.....	22
Figura 9: Explicación grafica de la distancia de calibración.....	25
Figura 10: Calibración en Frio.....	26
Figura 11: Calibración en Frio.....	26
Figura 12: Modulo de prueba Eléctrica.....	27
Figura 13: Etiqueta de consumo del modulo de prueba Eléctrica.....	28
Figura 14: Vista del Micro Switch D3 .....	28
Figura 15: Parámetros del Micro Switch.....	28
Figura 16: Fuerza de Operación.....	29
Figura 17: Principio de Elementos Finitos.....	32
Figura 18: Materiales del Bimetal de Acción Rápida Parte Pasiva / Activa.....	34
Figura 19: Simulación COMSOL.....	35
Figura 20: Simulación COMSOL puntos de medición.....	36
Figura 21: Simulación COMSOL medición de fuerza.....	36

Figura 22: Medición de Fuerza a base de un dinamómetro.....	39
Figura 23: Histograma B1-p1.....	41
Figura 24: Histograma B1-p1.....	42
Figura 25: Histograma B1-p1.....	43
Figura 26: Histograma B1-p1.....	44
Figura 27: Boxplot Bimetales.....	45
Figura 28: Dotplot Bimetales.....	46
Figura 29: Armado Prototipo.....	46
Figura 30: Movimiento del Bimetal.....	47
Figura 31: Propuesta de la Unidad de disparo electromecánico a base un bimetale de acción rápida.....	51

## Índice de Tablas:

Tabla 1 Estado del Arte .....	12
Tabla 2 Amperajes al 200%.....	23
Tabla 3 Amperajes contra Tiempo de Disparo .....	24
Tabla 4 Cuotas aplicables 2017.....	27
Tabla 5 Cuotas aplicables Base, Intermedio y Punta región Norte.....	27
Tabla 6 Variables de Bimetal de Acción Rápida.....	33
Tabla 7 de medida de longitud de la muesca.....	33
Tabla 8 Propiedades del Bimetal de Acción Rápida: Pasivo INVAR / Activo Alloy 22-3.....	35
Tabla 9 Variables de Bimetal de Acción Rápida.....	38
Tabla 10 Resultados de las diferentes variables.....	38
Tabla 11 Datos prueba física bimetales.....	40



## Capítulo 1

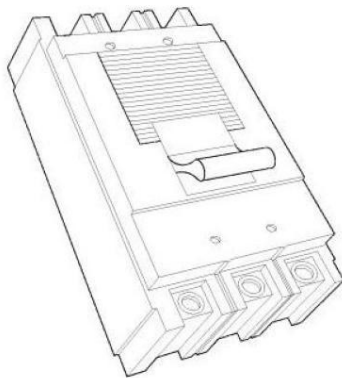
# Visión General de la Investigación

## 1.1 Introducción

Los disyuntores electromagnéticos (figura 1) son equipos de protección eléctrica, los cuales su función principal es proteger el cableado utilizado en instalaciones eléctricas en edificios, fábricas y residencias. Por lo que su correcto funcionamiento permite mantener la seguridad de los usuarios de estos productos de protección.

Estos equipos detectan un cambio en la corriente que circula a través de ellos, cuentan con dos mecanismos para activar su proceso de protección, uno es de forma automática, este actúa cuando la corriente cambia súbitamente produciendo un cambio en los campos magnéticos produciendo una fuerza electromotriz capaz de mover un interruptor. El otro sucede cuando el cambio de corriente es gradual, la circulación de la corriente eléctrica a través de los elementos metálicos generan calor debido a su resistencia eléctrica. La variación de la corriente genera una variación en la temperatura la cual produce que tengamos una modificación variable en un elemento bimetalico, el cual produce a través de un desplazamiento la fuerza requerida para activar el dispositivo de interrupción.

Figura 1 Vista de un Disyuntor



Fuente: Thermostatic Bimetal Handbook (2008)

De estos Dispositivos existen dos tipos de protección ya sea mecánica o electrónica

Mecánica: no tiene ningún componente electrónico comúnmente llamadas como TMTU por sus siglas en ingles Thermo Magnetic Trip Unit consta de dos tipos de protección mecánica que es Temperatura y Magnética.

Electrónica: este sistema de protección o de censado es puramente electrónico comúnmente conocido como ETU por sus siglas en inglés de Electrónica Trip Unit consta de puros componentes electrónicos que censan el paso de la corriente, temperatura, tiempo etc.

En este proyecto de tesis se obtendrá una unidad TMTU que sea una combinación de los dos tipos que sea innovadora, tanto mecánica como electrónica. No existiendo algún mecanismo parecido actualmente en el mercado.

## **1.2 Reseña Histórica**

El hecho de que un material metálico se expanda cuando se genera calor en el o se contraiga cuando se disminuye la temperatura se reconoce desde hace mucho tiempo en la historia; en las civilizaciones antiguas cuando se ensamblaban llantas de carreta primero las calentaban para que entraran y después las enfriaban para que estas estuvieran firmes.

También se conoce que cuando un material esta hecho de diferentes metales con diferentes propiedades, una vez combinados producen un nuevo material con nuevas propiedades.

El acero damasco un material que era forjado y soldado con muchas capas de acero en donde se repetía el proceso una y otra vez, era usado para crear armas y herramientas .Lo que se creó fue un material de acero que era extremadamente duro, elástico pero que no se rompía fácilmente. Esto fue en el siglo XIV.

En el siglo XVIII se empezó a explotar las posibilidades al crear materiales a partir de capas de diferentes tipos de expansión térmica. Uno de los principales usos fue en la navegación, en donde se pretendía mejorar el comportamiento de los cronómetros que era utilizado para la localización exacta en alta mar.

Para los años 1920-1930 se empezaron a utilizar los bimetales para crear los disyuntores. Los Disyuntores o interruptores termo magnéticos “son aparatos que se utilizan para proteger contra sobrecargas y corto circuitos a los cables o conductores eléctricos”.(SIEMENS AG 2010)

En el año 1945 fue un periodo de aplicación de patentes para mejorar las técnicas de manufacturabilidad, aplicaciones y materiales.1970 la investigación en la creación de bimetales fue muy rara, debido a que las propiedades ya habían sido todas aclaradas.

Actualmente el diseño, materiales y manufacturabilidad se concentran en reducir las tolerancias de las propiedades así como expandir el rango de los productos, en donde tenga una aplicación más específica. El uso de bimetales es una fuente de inspiración para inventores e ingenieros que buscan nuevas ideas y aplicaciones.

De 1945 a la fecha, inspirados en la innovación debido a los avances en tecnología y nuevos materiales factibles de utilizar en estos mecanismos, en el Handbook Thermostatik Bimetal del 2013 menciona que muchos investigadores han publicado avances en esta área de los disyuntores. La presente tesis, hace un estudio de la evolución que se ha dado hasta la fecha y presenta una propuesta de un diseño innovador, validando su funcionalidad mediante experimentación elaborando un prototipo en el proceso de investigación.

### 1.3 Estado del Arte

En la tabla se muestra un estado del arte en donde se presentan los avances mas significativos que se han presentado con el tiempo en el desarrollo de interruptores termo magnéticos. Se muestran las innovaciones que provocaron una disrupción en los conceptos de diseño para este tipo de unidades.

Tabla 1 Estado del Arte

Autores	Nombre	Descripción	Año
Keith W Klein David B Powell	Electric circuit breaker with improved trip means	Primer Unidad de disparo calibrada. Ajuste de los valores de la media de los bimetales.La unidad de disparo como una conjunto fuera del interruptor termo magnético	1964
James O. Alexander, William A. King, William E. May, Von G. Pardue	Microprocessor controlled circuit breaker trip unit	Utilización de un microprocesador para verificar los cambios en la temperatura. Contiene una memoria que graba datos históricos de temperatura.	1984
John K. Livesey, James N. Altenhof, Jr.	Adjustable circuit breaker thermal trip unit	Perillas de ajuste para cambiar los valores térmicos y magnéticos a valores menores que el 100% para ajustar la calibración	1989
Stephen A. Mrenna, David M. Wood, Raymond W. MacKenzie	Circuit breaker using bimetal of thermal magnetic trip to sense current	El Bimetal censa el paso de corriente. Este manda una señal cuando existe una falla de arco. Utiliza una PCB	1994
Bernard Dimarco, James E. Ferree, Robert E. Black	Variable thermal and magnetic structure for a circuit breaker trip unit	Calentadores de Bimetal con forma de "U", provocando un ajuste de calibración independiente	1997
Jean-Luc Payet-Burin, Gilbert Garnier	Magneto-thermal trip unit	Yugo magnéticos en forma de "E" que a la vez calienta el bimetal, simplificando considerablemente el diseño	1997
Carrillo Soto Adrian, Franco Caballero, Luis Miguel	Thermal trip device, switching device, thermal magnetic circuit breaker and method for protecting an electrical circuit from damage	Incrementador de Fuerza de un Bimetal. A través de un resorte plano que transmite una fuerza de acción rápida a la unidad de liberación.	2015

Fuente: Elaboración Propia

## **1.4 Planteamiento del Problema**

Las unidades de disparo térmicas con un bimetálico en cantiléver requieren la generación excesiva de calor para poderse flexionar, aparte de esto se necesita un ajuste que consiste en la calibración de la distancia entre el bimetálico y la barra de disparo para que funcione correctamente a las temperaturas deseadas.

-Máquina para Calibrar.

-Una Persona que hace un pre ajuste.

-Prueba Eléctrica

El diseño innovador de la unidad electromecánica que se desarrolla en la presente tesis, pretende ser una solución a los problemas mencionados, sean como eliminar la calibración térmica, la persona que realiza el pre ajuste así como contemplar un posible ahorro al eliminar la prueba eléctrica.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General:**

Analizar el desarrollo innovador de un mecanismo de disparo electromecánico en base a la combinación de un bimetálico de acción rápida con un micro-switch que resuelva los problemas de las unidades con el diseño de bimetálico en cantiléver .

### **1.5.2 Específicos:**

- Ensayos para determinar el Bimetálico de Acción Rápida a utilizar.
- Simulación en COMSOL para descartar diseños.
- Determinar las especificaciones técnicas del micro-switch.
- Desarrollo de un prototipo físico.
- Pruebas de laboratorio satisfactorias.
- Desarrollar una unidad prototipo electromecánica.

## **1.6 Justificación**

La presente investigación de el desarrollo de una unidad de disparo electromecánica, es una innovación tecnológica que permitirá:

- Evitar calibraciones térmicas
- Evitar el uso excesivo de cobre, actualmente requerido para generar calor
- Simplificar significativamente el uso de componentes, tales como: aisladores, Rivet-Pop, Heater, Tornillo de Calibración, Resortes.
- Generar un ahorro energético considerable al eliminar la prueba de calibración.

## **1.7 Preguntas de Investigación**

¿Qué tipo de variante de Bimetal es capaz de vencer la fuerza del microswitch?

¿Qué forma debe tener el Bimetal para Ejercer fuerza sobre el microswitch?

Se minimiza alguna operación, ¿existe algún tipo de ahorro?

## **1.8 Hipótesis**

“Comprobar que el diseño basado en la Patente de Valverde pueda ser aplicado en un interruptor termo magnético, que cumpla con las normas de diseño y que elimine el proceso de calibración”

## Capítulo 2

# Marco Teórico

## 2.1 Bimetal

### 2.1.1 Descripción

Cada metal cuenta con propiedades propias, para los bimetales la expansión térmica es una propiedad importante. Se sabe que cada metal se expande a diferentes longitudes cuando se aplica calor; cuando la temperatura se reduce se pierde la expansión. (Handbook Thermostatik Bimetal, 2013)

Expansión: Ampliación del espacio que ocupa algo, en la figura 2 están dos materiales con las mismas dimensiones a la misma temperatura pero diferente material. Cuando estos son calentados su dimensión cambiara entre una y otra. (Handbook Thermostatik Bimetal, 2013)

Figura 2 Explicación Física de Expansión



Fuente: Elaboración Propia

Cuando dos tiras de diferentes metales, con diferentes coeficientes de expansión térmica, son unidas la tira con menor expansión se contrapone a la expansión de la otra tira, con mayor expansión. Se desarrolla una fuerza entre la resistencia entre las tiras, previniendo la expansión, ocasionando que estas se doblen lo cual se conoce como deflexión.



Deflexión: Una parte del cuerpo que no está flexionado, en la figura 3 se arquea un material y esto hace que el otro material también lo haga en la misma longitud y en su eje transversal. (Handbook Thermostatik Bimetal, 2013)

Figura3 Explicación Física de Deflexión



Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.2 Funciones de los Bimetales

En el manual Metales Termostáticos, Manufactura y Aplicaciones en el capítulo 8 ((Handbook Thermostatik Bimetal, 2013) se menciona que los efectos de los bimetales con respecto a su cambio de curvatura cuando cambia la temperatura son utilizados para tener diferentes objetivos o funciones.

Estas funciones son medición, limitación, control, compensación, generación de pulsos, retardos. Todas estas funciones tienen diferentes categorías, que se mencionan a continuación:

Medición: Las temperaturas y ciertas variables eléctricas pueden ser reguladas con un sistema de calibración, por ejemplo Termómetros de Espiral.

Limitación: cuando existen límites alto y bajo en orden de encendido o apagar una operación, por ejemplo un Disyuntor.

Control: Con cierto rango, cuando ahí funciones de encendido o apagar, o cuando se pausan para tener un cierto límite. Por ejemplo Controles en Planchas.

Compensación: cuando existe una desviación de la condición inicial para compensar, por ejemplo aparatos con fluctuación de temperatura; como por ejemplo: relevadores de flash.

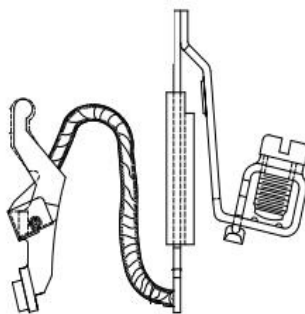
Retardos: cuando una señal de entrada dispara en una operación antes de un tiempo de retardo, como por ejemplo: Relay Térmico

### 2.1.3 Calentamiento en un Bimetal

El proceso de calentamiento de un bimetálico envuelve más de un método de transferencia de calor y son muy difíciles de calcular, en un caso práctico los métodos que se mencionan en el Manual Metales Termostáticos, Manufactura y Aplicaciones en el capítulo 8 parte 5, menciona los siguientes métodos:

Calentamiento Directo: es cuando la fuente de calor está directamente a la corriente, por ejemplo el paso de corriente está conectado directamente al bimetálico al sobrepasar su corriente este se calienta por lo cual se expande y se abre el circuito (figura4).

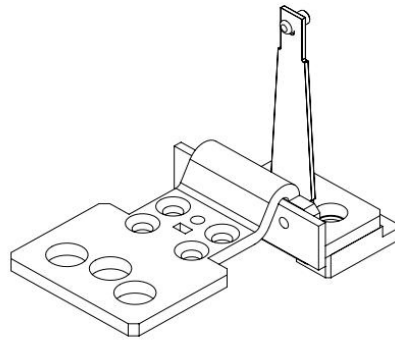
Figura 4 Representación Grafica de Calentamiento Directa



Fuente: Elaboración Propia

Calentamiento Indirecto: es cuando no está en contacto directo con la corriente si no utiliza otro cuerpo solido que se calienta y este emite la radiación de calor al bimetetal (figura 5).

Figura 5 Representación Grafica de Calentamiento Directo



Fuente: Elaboración propia

El bimetetal de acción rápida será calentado de manera indirecta por lo que necesita un heater para poder recibir calor.

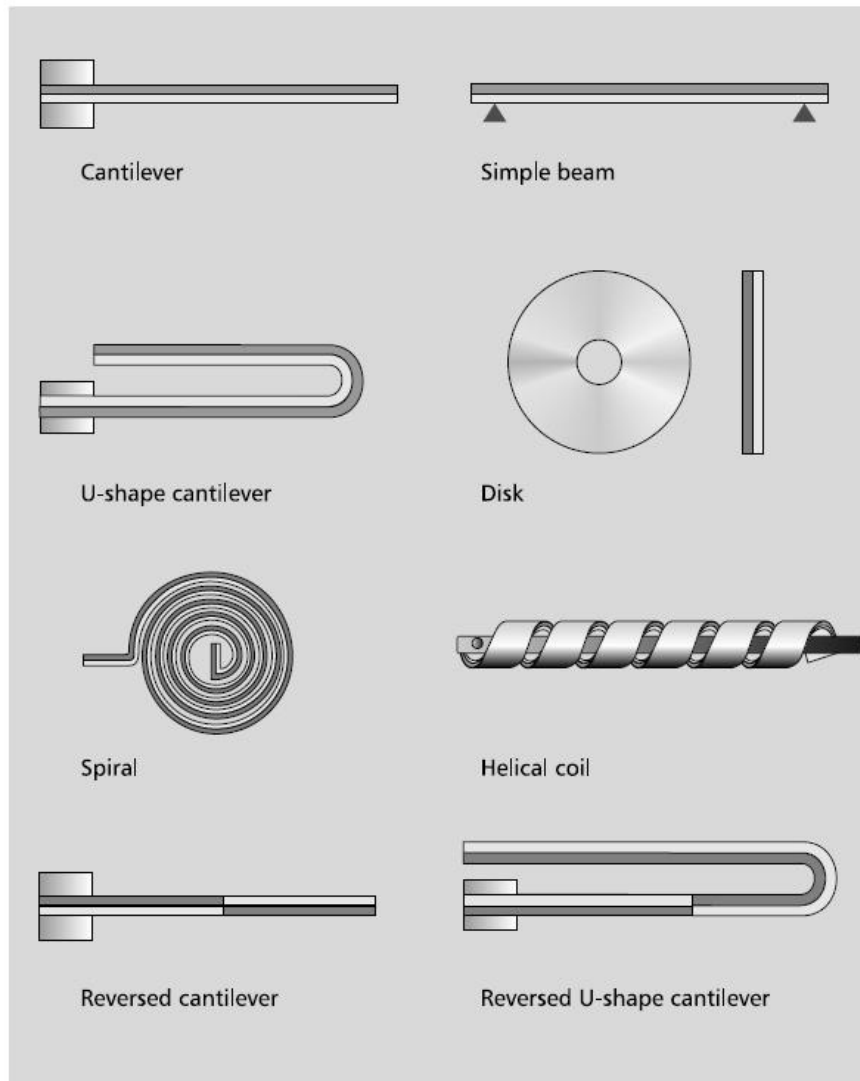
#### 2.1.4 Tipos

En el manual Metales Termostáticos, Manufactura y Aplicaciones en el capítulo 8 (Handbook, 2013) menciona que los tipos de Bimetales depende de las aplicaciones y el espacio disponible. Y se pueden dividir en cuatro grupos principales, que son:

- Planos posicionados en dos puntos
- Bobinas, enrollados o espiral
- Discos
- Elementos Formados

Los planos posicionados en dos puntos generar un movimiento lineal. Los de bobina o enrollados son para rotar. Los discos son los que generan un “Snap” , chasquido o golpe. Los elementos formados son de formas regulares o irregulares y esto depende mucho del espacio en donde serán utilizados (figura 6).

Figura 6 Tipos de Bimetales



Fuente: Manual Metales Termostáticos, Manufactura y Aplicaciones

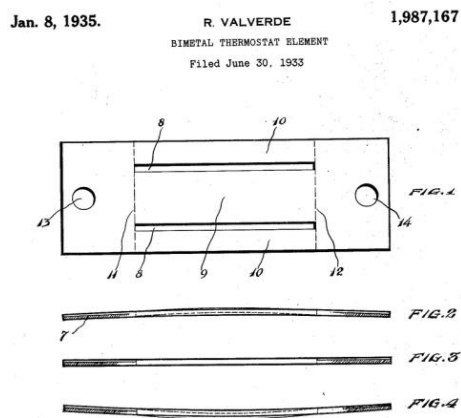
### 2.1.5 Bimetal “Snap” o Acción Rápida

Los bimetales de acción rápida o snap son económicos, simples, rápidos en respuesta así como una amplia variedad de diseños como rangos de temperatura y son más precisos que los componentes electrónicos.

Este tipo de bimetálico puede generar fuerzas en gramos o libras dependiendo de la temperatura y la selección de materiales. El diseño de este bimetálico está basado en la geometría de la patente de

Valverde, R (1935) en la cual se menciona que consta de una pieza cortada de bimetel formada por una línea central y dos líneas laterales separadas por un corte. La línea corre por toda la pieza mientras que las líneas laterales forman una curva. La línea central es de diferente medida que las laterales, ya que las líneas centrales están curvadas. Con el cambio de temperatura, la línea central opone el movimiento de las líneas laterales por lo que se genera “Snap” o chasquido que a su vez este genera un golpe que es transformado en fuerza.

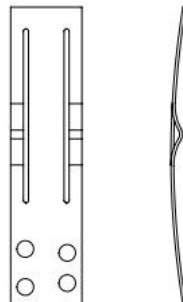
Figura 7 Ilustración de la Patente de Valverde



Fuente: Patente US1987167A

Debido a su pequeño tamaño y baja masa, el tiempo de respuesta es más rápido comparado con otros tipos de bimetales. En la siguiente figura 8 se presenta un diseño preliminar del bimetel que se utilizara para realizar la experimentación y ver su comportamiento. Este diseño está pensado de acuerdo al espacio que se tiene entre las carcadas y los demás componentes sin afectar a los mismos

Figura 8 Diseño preliminar del Bimetel de Acción Rápida



Fuente: Patente US 20140232510 A1

## 2.2 Normas y Restricciones de Diseño

### 2.2.1 UL Underwriters Laboratories

Underwriters Laboratories es una compañía de certificación y pruebas de terceros, independiente, no lucrativa, con oficinas en Northbrook, Illinois, USA. Funciona para desarrollar estándares y para asegurar que el equipo cumple con los estándares publicados relevantes. Para el diseño, prueba y funcionamiento de un Interruptor Termo magnéticos se utiliza la norma UL 489 que tiene un rango de 6000 amperes o menos La secuencia de prueba definida por UL es la de “X”, generalmente conocida como la prueba de Temperatura, esta combina la serie de diferentes temperaturas ya sea regular o nominal de un Disyuntor y es simulado en diferentes escenarios para simular una situación real , mencionando:

- 200% Calibración
- 135% Calibración
- 100% Calibración

### 2.2.2 Prueba de interrupción automática al 200%

El disyuntor deberá someterse al 200% de la corriente nominal considerando los rangos de amperaje, Quiere decir que el valor de corriente nominal será multiplicado por 2. Mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2 Amperajes al 200%

Amperaje	200%
10	20
30	60
50	100
75	150
100	200
600	1200
800	1600
1000	2000

Fuente: Elaboración Propia

Al someterse al 200% la corriente deberá interrumpir el flujo de corriente en conformidad a los tiempos correspondientes. Esta se puede ver en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3 Amperajes contra Tiempo de Disparo (NMX-J-266-ANCE-2010. CSA C22.2 NO. 5-09. UL489. Tabla 7.1.2.2.1)

Automatic tripping rating (In) in Amperes	Maximum tripping time in minutes
0-30*	2
31-50	4
51-100	6
101-150	8
151-225	10
226-400	12
401-600	14
601-800	18
801-1000	20
1001-1200	24
1201-1600	26
1601-2000	28
over 2000	30

\*for circuit breaker frames rated more than 250 V, the maximum tripping time may be 3 min.

Fuente: UL (2017)

### 2.2.3 Prueba de Calibración al 135%

Un disyuntor que transmita 135% de su corriente nominal deberá interrumpir dentro de 1 hora para dispositivos clasificados en 50 Amperes o menos, y dentro de 2 horas para dispositivos clasificados en más 50 Amperes. Nuestro proyecto está basado en un amperaje de 800 Amperes por lo que el tiempo máximo es de 2 horas.

### 2.2.4 Prueba de Calibración al 100%

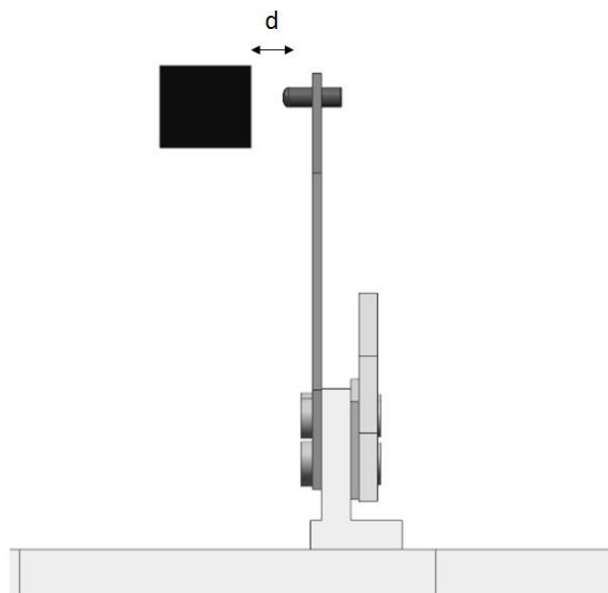
Un disyuntor deberá ser capaz de transmitir el 100 % de su corriente nominal sin interrumpir hasta que las temperaturas se mantengan constantes. Esta prueba puede ser llevada a cabo concurrentemente en la temperatura de la prueba.

## 2.2.5 Calibración Térmica en un Interruptor Termo Magnético

La calibración térmica en un interruptor termo magnético consiste en dar una distancia entre el bimetetal y la barra de liberación de mecanismo para que cumpla con las normas de diseño implementadas por UL.

La calibración térmica consiste en mover un tornillo a través del bimetetal, para obtener una distancia como se muestra en la figura 9, existen dos tipos de calibración térmica.

Figura 9 Explicación grafica de la distancia de calibración



Fuente: Elaboración Propia

## 2.2.6 Tipos de Calibración Térmica

### 2.2.6.1 Calibración de Ingeniería al 200%.

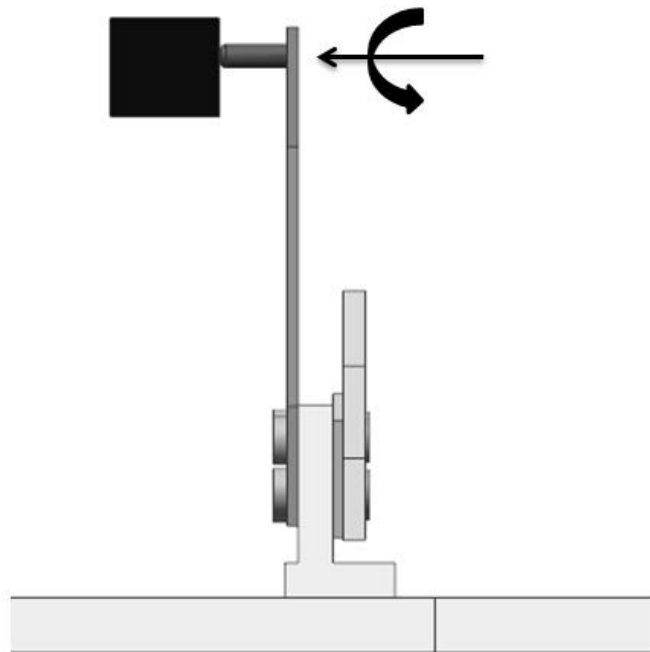
Esta calibración consiste en alimentar el interruptor termo magnético con una corriente al 200 % como se explica en el capítulo 2.2.2. Este tipo de calibración es manual por lo que la distancia se aproxima a los tiempos establecidos por la norma UL.



### 2.2.6.2 Calibración en Frio o Manual

Este tipo de calibración se hace con un dispositivo especial se muestra en la figura 10 que lleva el tornillo a cero o continuidad eléctrica. Al tener continuidad o alcanzar el cero deja de girar a favor de las manecillas del reloj.

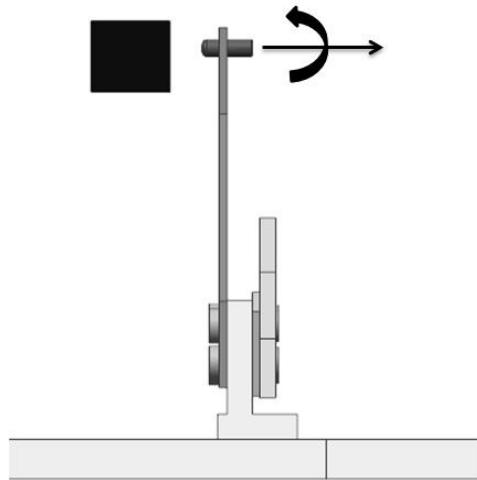
Figura 10 Calibración en Frio



Fuente: Elaboración Propia

Comienza el paso dos de la prueba en la que consiste en retroceder el tornillo un número de vueltas determinado hacia atrás para poder establecer la distancia de calibración.

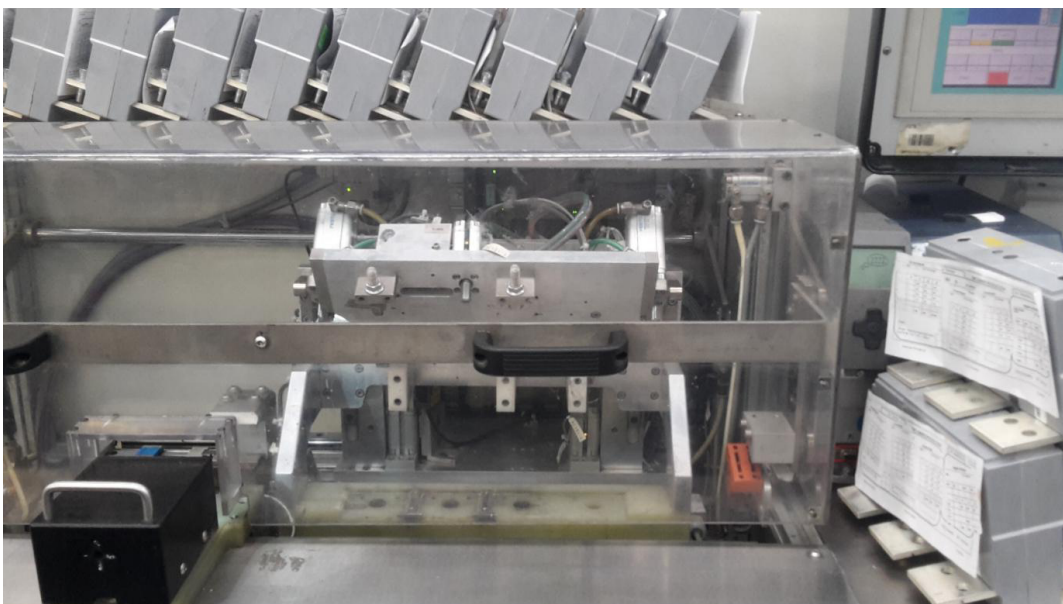
Figura 11 Calibración en Frio



Fuente: Elaboración Propia

Para verificar la calibración en Frio el Interruptor termo magnético se somete a una prueba eléctrica (figura 12). Esta prueba es desarrollada dentro de una máquina que alimenta al interruptor electromagnético a una corriente de 300% de su valor nominal. A este tipo de corriente al 300 % de su valor nominal se le conoce como Acelerado. Acelerado debido a los tiempos de producción ya que estos deben de ser muy cortos. Existe una relación de tiempos dentro el 200% y el 300% de su valor nominal.

Figura 12 Modulo de prueba eléctrica



Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.7 Consumo Energético

El consumo energético de este dispositivo solo cuando esta prendido genera un uso de 69,120 kWh por año. Cuando realiza una prueba eléctrica este consumo se eleva debido a los picos de amperaje que este genera para poder crear la corriente de prueba.

Para poder obtener el valor de Potencia en Watts utilizamos la siguiente fórmula (Grainger and Stevenson, 1996):

$$P=V*I$$

Donde:

P: Potencia, Watts

V: Voltaje, Volts

I: Corriente, Amperes

Lo que nos da un valor de Potencia de 11,000 Watts o 11kWatts, si este es multiplicado por el número de horas que se trabajan en un mes y en un año nos arroja el siguiente valor:

$$11,000 \times 20 \times 30 \times 12 = 79,200,000 \text{ Watts / Hora. O } 79,200 \text{ k Watts / Hora}$$

Figura 13 Etiqueta de consumo del modulo de prueba eléctrica

INCOMING FEEDER			
440	VOLTS	60	HERTZ
25	AMPERES	1	PHASE
SHORT CIRCUIT CURRENT RATING	2000	AMPERES	
	480	MAX VOLTS	
MAIN MOTOR(S) FULL LOAD	172	AMPERES	
WIRING DIAGRAM NUMBERS(S)	0500A-49-SG-001 THRU 015		
PANEL NUMBER	001		
SERIAL NUMBER	0500A-1-0002-001		
SHIP DATE	6/16/2007		

Fuente: Elaboración Propia.

El consumo energético que se calcula en base a la Comisión Federal de Electricidad que publica en su página web de H-M para los servicios suministrados en media tensión, con demanda de 100kWatts o más. (Tabla 4)

Tabla 4 Cuotas aplicables 2017

REGIÓN	CARGO POR KILOWATT DE DEMANDA FACTURABLE	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE PUNTA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA INTERMEDIA	CARGO POR KILOWATT - HORA DE ENERGÍA DE BASE
Baja California	\$ 318.00	\$ 2.4353	\$ 1.0667	\$ 0.8379
Baja California Sur	\$ 305.64	\$ 1.9539	\$ 1.4799	\$ 1.0477
Central	\$ 220.34	\$ 2.3341	\$ 1.1812	\$ 0.9874
Noreste	\$ 202.56	\$ 2.1561	\$ 1.0968	\$ 0.8987
Noroeste	\$ 206.88	\$ 2.1688	\$ 1.0884	\$ 0.9112
Norte	\$ 203.52	\$ 2.1715	\$ 1.1073	\$ 0.9001
Peninsular	\$ 227.71	\$ 2.2830	\$ 1.1099	\$ 0.9138
Sur	\$ 220.34	\$ 2.2858	\$ 1.1285	\$ 0.9390

Fuente: CFE 2017

Por lo que un consumo en un año es de 79,200 kwatts/hora , tomamos en cuenta la región Norte de la Tabla 4 publicada por la Comisión Federal de Electricidad utilizaremos un valor de \$1.1073 pesos. El valor es de cargo por kilowatt-hora de energía intermedia que se da por el horario en la región noreste, contando solo de lunes a viernes. (Tabla 5).

Tabla 5 Cuotas aplicables Base, Intermedio y Punta región Norte

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Fuente: CFE 2017

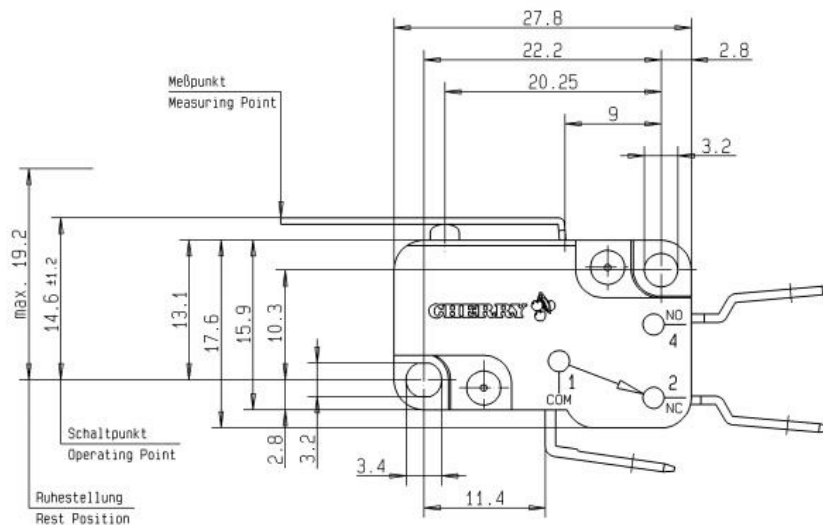
Por lo que se genera aproximadamente un gasto de:  $79,200 \text{ Kw} \times \$1.1073 = \$ 87,698.16$ .

## 2.3 MicroSwitch

### 2.3.1 Microswitch Cherry D3

El microswitch a utilizar es de la marca Cherry miniatura modelo D3 (figura 14), el cual, su principal función es el de enviar una señal analógica y convertirle en señal digital para que sea procesada para poder disparar la unidad.

Figura 14 Vista del Micro Switch D3



Fuente: Cherry Microswitch (2017)

### 2.3.2 Especificaciones Técnicas del Microswitch

Las especificaciones que se requieren para el Microswitch son la fuerza necesaria para poder vencerlo, el actuador así como el voltaje de operación.

Figura 15 Parámetros del Microswitch

Switching parameters						
Model	Max. Operating force (cN)	Max. pretravel (mm)	Min. overtravel (mm)	Differential travel max. (mm)	Max. rest position (mm)	Operating point (mm)
Without auxiliary actuator > 3 mm	500	1,9	0,7	1,2	16,0	14,4 ± 0,5
Without auxiliary actuator < 3 mm	400	1,5	1,2	0,3	16,0	14,7 ± 0,5

Fuente: Cherry Microswitch (2017)

La fuerza que se necesita para vencer el mecanismo de acción es de 400 cN por lo cual se necesita encontrar un Bimetal de Acción Rápida que pueda vencer la Fuerza de Operación del Microswitch (figura 16).

Figura 16 Vista del Micro Switch D3 Fuerza de Operación



Fuente: Cherry Microswitch (2017)

## Capítulo 3

# Metodología

## **3 Metodología**

### **3.1 Introducción**

Para realizar los experimentos y la obtención de datos para saber qué tipo de Bimetal se puede utilizar así como poner las propiedades químicas, mecánicas y físicas del material se utilizara un software. El software a utilizar en este estudio es COMSOL Multyphysics.

### **3.2 COMSOL Multyphysics**

El software utilizado para la simulación de este proyecto fue COMSOL Multiphysics®(2017, COMSOL). Este software permite realizar estudios en los cuales se pueden analizar problemas utilizando distintas físicas involucradas. Otra ventaja del software es que permite la importación de archivos CAD para poder hacer los estudios, se pueden utilizar software como NX® o Inventor® y exportar los modelos a COMSOL; aunque propiamente COMSOL no es un programa de dibujo, se pueden realizar figuras simples.

El software utiliza el método de elementos finitos para el análisis. Para el análisis de este proyecto se utilizaron dos físicas principalmente:

- Mecánica de Sólidos
- Efecto Joule (Joule Heating)

La mecánica de sólidos será utilizada para analizar el efecto del movimiento del Bimetal, el desplazamiento y la fuerza que ejercerá será tomada en cuenta desde la mecánica de sólidos. Para esta física será importante tener en cuenta varias propiedades de los materiales, principalmente el coeficiente de expansión térmica, densidad, módulo de Young y módulo de Poisson. El software cuenta con una librería de materiales muy extensa, pero en varios casos es necesario ingresar los valores ya que no siempre se cuentan con todas las propiedades que se utilizarán.

La mecánica de sólidos fue utilizada principalmente para crear una precarga en el Bimetal. Esta precarga fue establecida para crear un desplazamiento y crear la fuerza que el Bimetal almacena teniendo el diseño nuevo. El software COMSOL (2017) utiliza las siguientes ecuaciones para la fuerza ejercida y el esfuerzo:



$$\sigma \cdot n = F_A$$

Donde:

$\sigma \cdot n$ : Tensión

$F_A$ : Fuerza Aplicada

$$F_A = \frac{F}{A}$$

Donde:

F: Fuerza

A: Área

### 3.3 Elementos Finitos

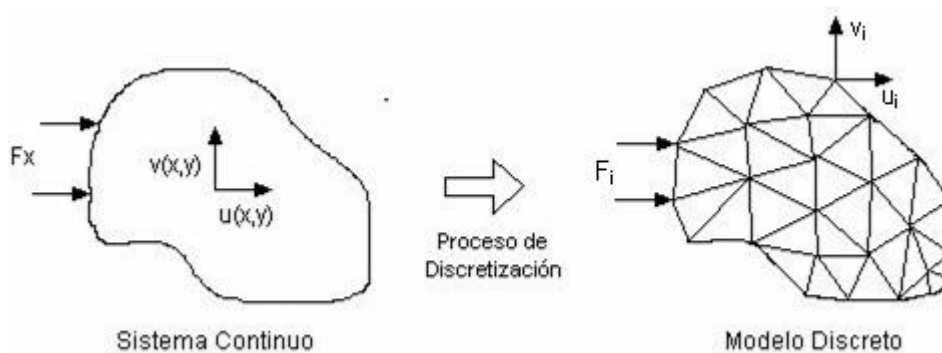
El método de elementos finitos es un método computacional que permite discretizar cualquier problema ingenieril en elementos de tamaño finito que predicen la manera en que se va a comportar este, muy cercano a la realidad, es decir, con un error muy cercano a cero.

Este método hace el uso de la discretización o subdivisión de una región sobre la cual están definidas las ecuaciones en formas geométricas simples, llamadas elementos finitos (figura 17).

Una de las ventajas de este método es su facilidad de implementación en un programa computacional, que a su vez es una condición básica para su utilización ya que para el tratamiento de un problema en particular debe efectuarse un número muy elevado de operaciones para resolver sistemas algebraicos del orden de cientos o miles de ecuaciones. No obstante, esta cantidad no es una limitación con las computadoras estándar de hoy.

La geometría a estudiar es definida por el análisis o creada a partir de un CAD o DAC por sus siglas en español que significan Diseño Asistido por Computadora. Al conocer la forma lo que sigue es conocer el modelo matemático que se va a resolver, este es el paso más fundamental en donde se determinan las ecuaciones, las fronteras, propiedades de los materiales.

Figura 17 Principio de Elementos Finitos



Fuente: (1994). El Método de los Elementos Finitos

### 3.4 Experimentos en COMSOL

El nuevo bimetálico cuenta con 2 factores variables independientes los cuales se hacen variar entre las pruebas para encontrar la configuración óptima de diseño; el espesor del bimetálico y la posición de la muesca. Estos dos factores varían en 7 calibres de bimetálico y 3 posiciones de muesca. En la siguiente tabla 6 se muestra el inventario del material donde se especifica el tipo de bimetálico, calibre y el ancho de la tira.

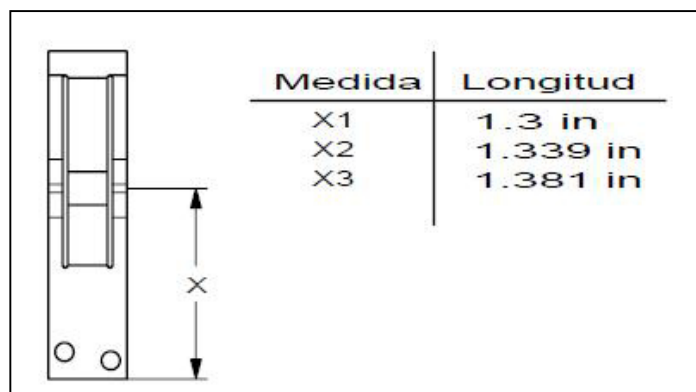
Tabla 6 Variables de Bimetálico de Acción Rápida

Rollo	Tipo	Ancho (In.)	Espesor (In.)	Peso de Rollo (Ib.)
B1	36-22	0.55	0.020	21.80
B2	36-32	0.55	0.022	19.60
B3	36-32	0.55	0.024	23.90
B4	36-32	0.55	0.026	21.94
B5	36-32	0.55	0.028	20.74
B6	36-32	0.55	0.030	22.70
B7	36-32	0.55	0.031	20.54

Fuente: Elaboración Propia

Las 3 posiciones de la muesca están mostradas en la siguiente tabla 7:

Tabla 7 de medida de longitud de la muesca



Medida	Longitud
X1	1.3 in
X2	1.339 in
X3	1.381 in

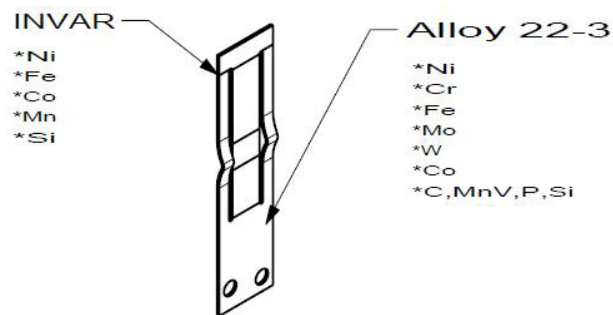
Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.1 Materiales en simulación

Los materiales para utilizar en la simulación del bimetalo de acción rápida y sus componentes son:

El bimetalo consta de dos materiales unidos que son INVAR y Alloy 22-3, de los cuales la parte pasiva del bimetalo está compuesta por INVAR y la parte activa por Alloy 22-3

Figura 18 Materiales del Bimetalo de Acción Rápida Parte Pasiva / Activa



Fuente: Elaboración Propia

La transmisión de calor será a través del Heater o Calentador por lo cual está hecho completamente de Cobre.

### 3.4.2 Propiedad físicas de los materiales requeridas por COMSOL

Para poder realizar la simulación en COMSOL se necesita conocer algunas propiedades físicas de los materiales tales como Conductividad, coeficiente térmico de expansión, densidad, módulo de Young por mencionar algunos. En la tabla 5 se muestran las propiedades de dichos materiales. Algunos valores de las propiedades físicas del material se encuentran en la base de datos de COMSOL y algunas otras se encontraron en MatWeb que es una fuente de datos en internet MatWeb (2016)

Tabla 8 Propiedades del Bimetal de Acción Rápida: Pasivo INVAR / Activo Alloy 22-3

Property	Name	Value	Unit
✓ Electrical conductivity	sigma	5.998e7[...]	S/m
✓ Coefficient of thermal expansion	alpha	17e-6[1/K]	1/K
✓ Heat capacity at constant pres...	Cp	385[J/(kg...)]	J/(kg-K)
✓ Relative permittivity	epsilon	1	1
✓ Density	rho	8700[kg/...]	kg/m <sup>3</sup>
✓ Thermal conductivity	k	400[W/(...)]	W/(m-K)
✓ Young's modulus	E	110e9[Pa]	Pa
✓ Poisson's ratio	nu	0.35	1

Property	Name	Value	Unit
✓ Thermal conductivity	k	10[W/c...]	W/(m-K)
✓ Coefficient of thermal expansion	alpha	0.5e-6	1/K
✓ Heat capacity at constant pres...	Cp	505	J/(kg-K)
✓ Electrical conductivity	sigma	1.33e6	S/m
✓ Density	rho	8100	kg/m <sup>3</sup>
✓ Relative permittivity	epsilon	0.5	1
✓ Young's modulus	E	137e9	Pa
✓ Poisson's ratio	nu	0.28	1

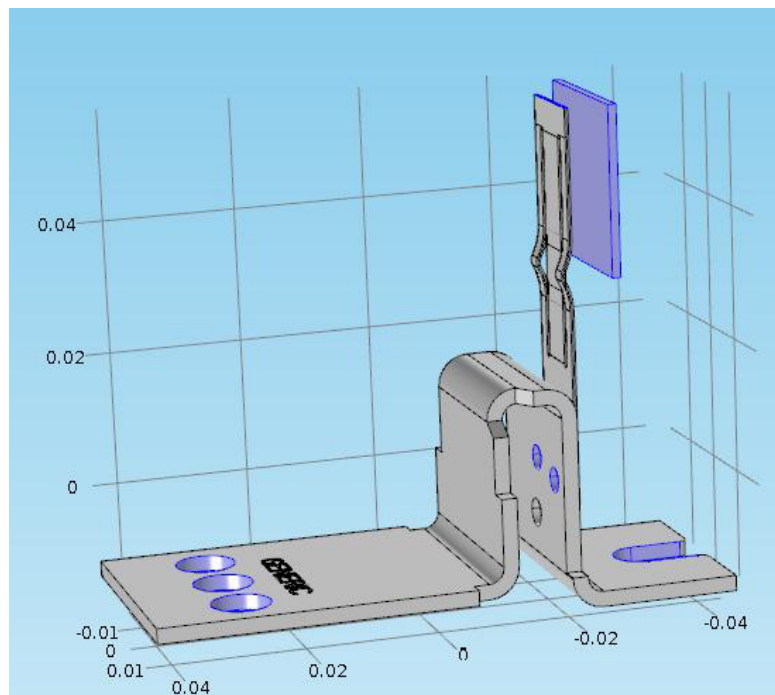
Fuente: COMSOL 2017

### 3.4.3 Simulación en COMSOL

Se tomaron 7 diferentes espesores de bimetetal previamente mencionados en la tabla 3 con geometría similar y se energizan en el ensamble con el 200% de la corriente nominal, el bimetetal se deforma debido a la temperatura hasta vencer la resistencia mecánica del formado y hacer “snap”. Durante este tiempo se toman los valores de la temperatura y tiempo que tarda en cumplir su función el bimetetal

Se asigna la precarga al Bimetetal como carga almacenada.. Se tiene que fijar el modelo, se fija en el área donde van los tornillos y en donde va montado en el disyuntor eléctrico figura 19.

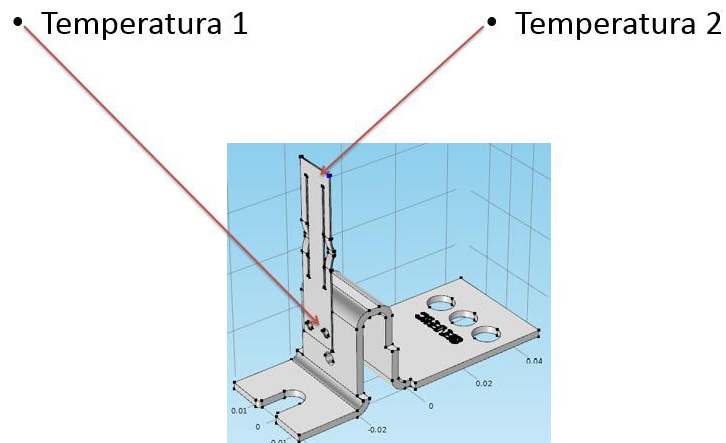
Figura 19: Simulación COMSOL



Elaboración: Imagen tomada de simulación de COMSOL

Para esta simulación se tomaron en cuenta dos puntos para la medición de temperatura, la base del Bimetal y la punta del Bimetal. Se pusieron dos termopares y se obtuvieron graficas de temperatura. En la siguiente figura 20 se ilustra lo mencionado.

Figura 20: Simulación COMSOL puntos de medición

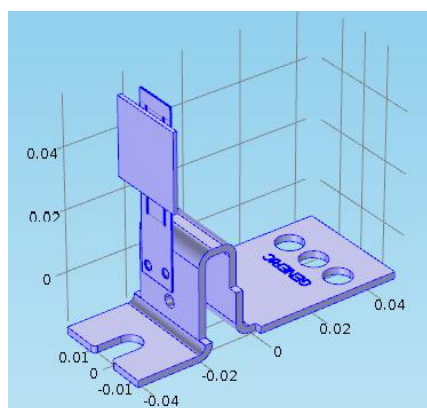


Elaboración: Imagen tomada de simulación de COMSOL

Los puntos de temperatura son para saber que tanto calor pasa a través del diseño del bimetal en la figura 20.. El punto uno de la temperatura 1 es la base del bimetal y el punto dos de la temperatura 2 es lo más alto del bimetal. Estos puntos de temperatura sirven de referencia para saber que tanto calor fluye atreves del bimetal.

Para la medición de la fuerza se realiza un contacto entre una placa y el Bimetal. Este contacto nos dará la fuerza que ejerce el Bimetal con las diferentes tipos de corriente. (Figura 21)

Figura 21: Simulación COMSOL medición de fuerza



Elaboración: Imagen tomada de simulación de COMSOL

## Capítulo 4

# Resultados

## 4 Resultados

### 4.1 Obtención de Datos

Las configuraciones con los 4 mayores espesores, no lograron vencer la resistencia mecánica por lo que no hubo “snap”. Este suceso se debe a que requieren de una mayor temperatura para deformarse con lo cual no cumple con los rangos de temperatura (Tabla 4).

Tabla 9 Variables de Bimetal de Acción Rápida

Rollo	Tipo	Ancho (In.)	Espesor (In.)	Peso de Rollo (Ib.)
B1	36-22	0.55	0.020	21.80
B2	36-32	0.55	0.022	19.60
B3	36-32	0.55	0.024	23.90

Fuente: Elaboración Propia

Se obtuvieron tomas de temperatura para cada una de las configuraciones del bimetal 1, 2 y 3. También debido a la simplicidad del modelo. Las simulaciones en COMSOL del diferente tipo de Bimetal y la Posición de su muesca nos arroja la siguiente data mostrada en la Tabla 10:

Tabla 10 Resultados de las diferentes variables.

Bimetal	Tiempo (min)	Base Bimetal (°C)	Punta Bimetal (°C)	fuerza(N)	snap
B1-p1	8.8	211	69	0.26	si
B1-p2	14.0	231	73	1.26	si
B1-p3	12.8	225	65	0.47	si
B2-p1	6.6	221	56	0.43	si
B2-p2	9.8	231	60	1.23	si
B2-p3	8.3	218	63	0.76	si
B3-p1	6.3	195	59	0.15	si
B3-p2	7.3	198	58	1.64	si
B3-p3	6.8	200	53	0.80	si

Fuente Elaboración Propia

Al realizar un análisis de los resultados se puede observar que el comportamiento de todas las configuraciones es muy similar, sin embargo existen diferencias notorias al cambiar el calibre del bimetal y mover la posición de la muesca.

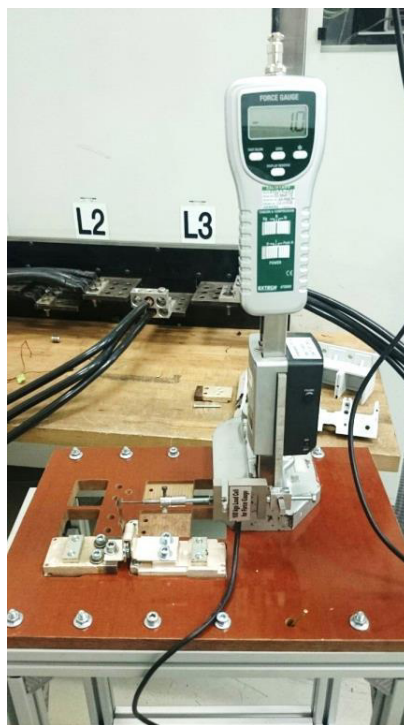
El Bimetal 1 (B1) es el que mayor tiempo de operación tiene.

Las posiciones de las muescas hacen que allá una variación en la fuerza, entre más alejada o más cerca nos arroja una fuerza mínima. Si la muesca se encuentra casi en la mitad la fuerza es muy alta.

#### 4.2 Comprobación de datos.

Para la comprobación física de los datos obtenidos por la simulación, se realizaron pruebas físicas de un prototipo tomando en cuenta los diseños del bimetal 1, bimetal 2 y bimetal 3. Estas pruebas se realizaron al 200% del valor nominal de la corriente. Para obtener los datos de fuerza se utilizó un dinamómetro, el cual nos arroja un resultado de fuerza (Figura 22).

Figura 22 Medición de Fuerza a base de un dinamómetro.



Fuente: Elaboración Propia

La fuerza mínima requerida para poder vencer al Micro Interruptor era de 400cN , lo cual se nota que el bimetal 2 y 3 son las que generan menos fuerza y cumplen con las normas de diseño así como las especificaciones que se necesitan para que este opere. Para poder seleccionar el mejor diseño se realizara la selección basada en six sigma.



### 4.3 Estadística

Para obtener un mejor diseño se realizó un experimento de six sigma para poder obtener el de mejor resultado o repetitividad. *Six Sigma* es una metodología basada en análisis estadísticos mejor que los métodos de prueba y error que son utilizados para mejorar procesos con problemas inciertos.

#### Recolección de Datos

La recaudación de datos consiste en probar físicamente los bimetales seleccionados previamente que arrojaron valores en la simulación. También son seleccionados según la fuerza a vencer que es de 400cN o 0.4N.

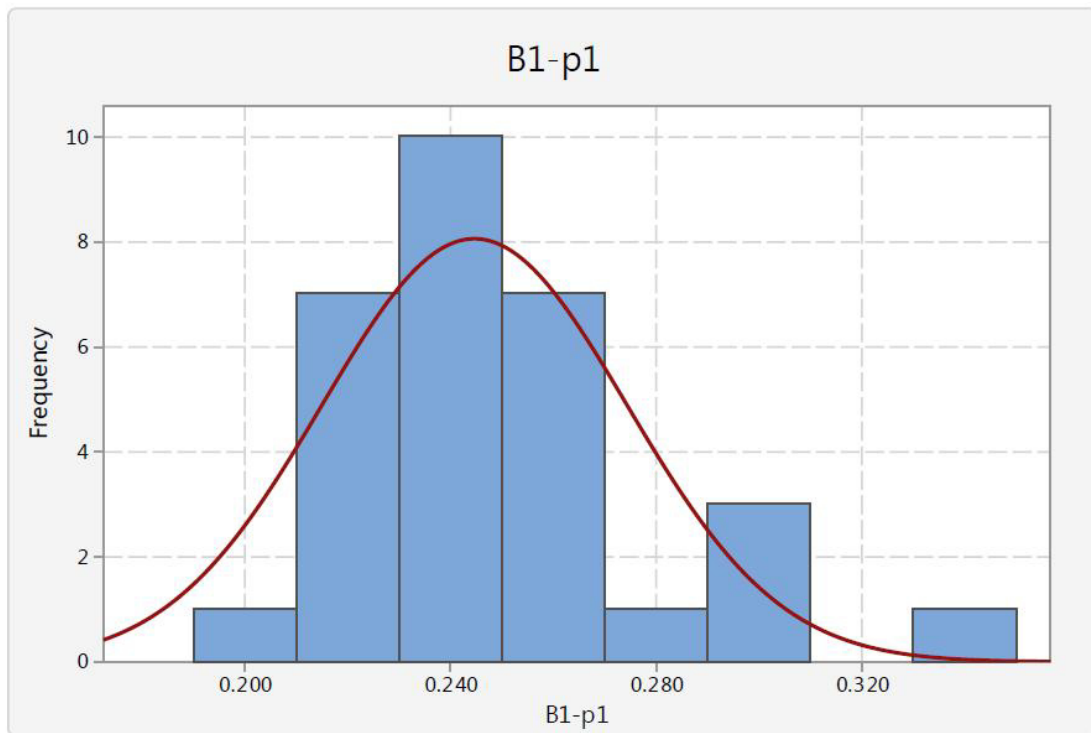
Tabla 11 Resultados de las diferentes variables.

Prueba	B1-p1	B1-p3	B2-p1	B3-p1
1	0.21	0.47	0.43	0.15
2	0.26	0.46	0.44	0.16
3	0.24	0.44	0.44	0.15
4	0.33	0.44	0.45	0.18
5	0.23	0.5	0.43	0.2
6	0.24	0.49	0.48	0.17
7	0.22	0.48	0.46	0.15
8	0.21	0.48	0.45	0.15
9	0.25	0.44	0.47	0.12
10	0.29	0.42	0.49	0.17
11	0.24	0.44	0.39	0.14
12	0.26	0.43	0.4	0.12
13	0.24	0.4	0.41	0.12
14	0.25	0.4	0.44	0.13
15	0.23	0.41	0.42	0.17
16	0.2	0.42	0.41	0.18
17	0.26	0.44	0.43	0.15
18	0.27	0.48	0.42	0.15
19	0.25	0.47	0.4	0.18
20	0.24	0.44	0.41	0.19
21	0.24	0.42	0.48	0.2
22	0.26	0.42	0.46	0.2
23	0.3	0.41	0.47	0.12
24	0.29	0.41	0.43	0.17
25	0.21	0.4	0.44	0.15
26	0.24	0.39	0.44	0.13
27	0.23	0.48	0.46	0.15
28	0.22	0.37	0.47	0.15
29	0.22	0.48	0.42	0.12
30	0.21	0.44	0.43	0.13

Fuente Elaboración Propia

Se utiliza Minitab para poder generar el método estadístico, se realiza los histogramas de los cuatro tipos de Bimetales seleccionados B1-p1, B1-p3, B2-p1 y B3-p1, cuyos resultados están capturados en la Tabla 8 y mostrados en las Figuras 23, 24, 25 y 26.

Figura 23 Histograma B1-p1.



Fuente: Minitab 2017

Número de Muestras: 30

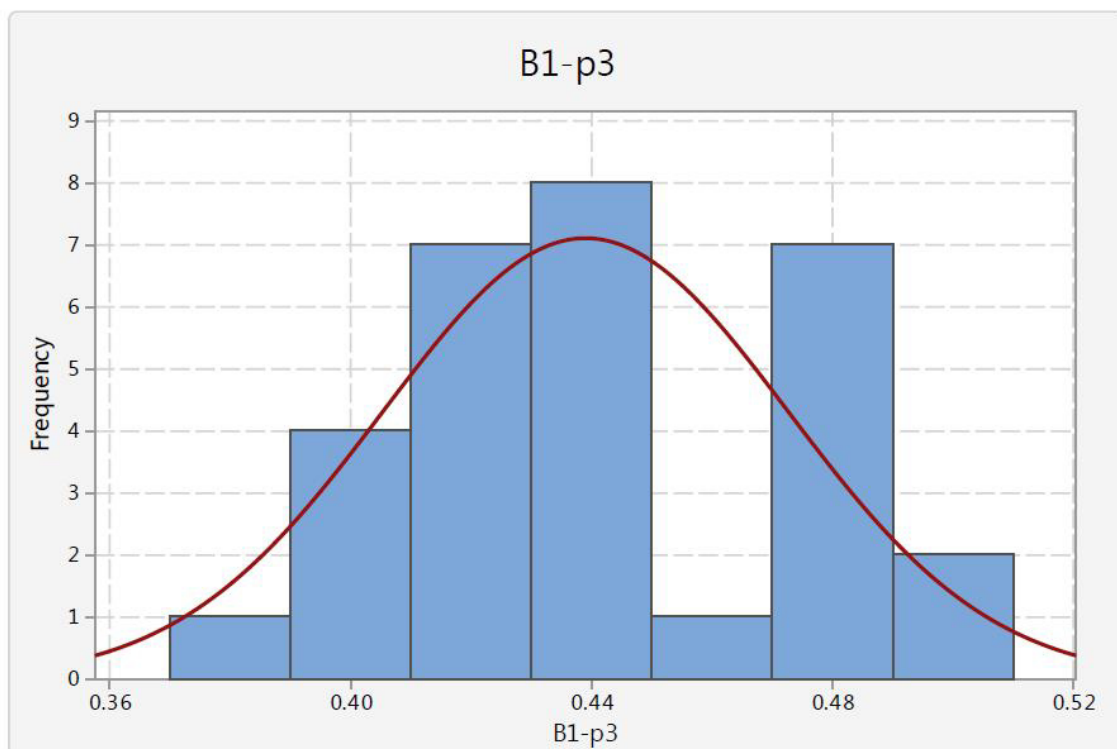
Media: 0.244667

Desviación Estándar: 0.029680

Mínimo: 0.20 / Máximo: 0.33

En la figura 23 se muestran el histograma del Bimetale B1-p1 que grafica las fuerzas que realiza el bimetale teniendo una media de 0.244 cN. En esta prueba se registró una fuerza mínima de 0.20cN y una máxima de 0.33cN, las cuales no son capaces de vencer la fuerza de Operación del Microswitch.

Figura 24 Histograma B1-p3.



Fuente: Minitab.2017

Número de Muestras: 30

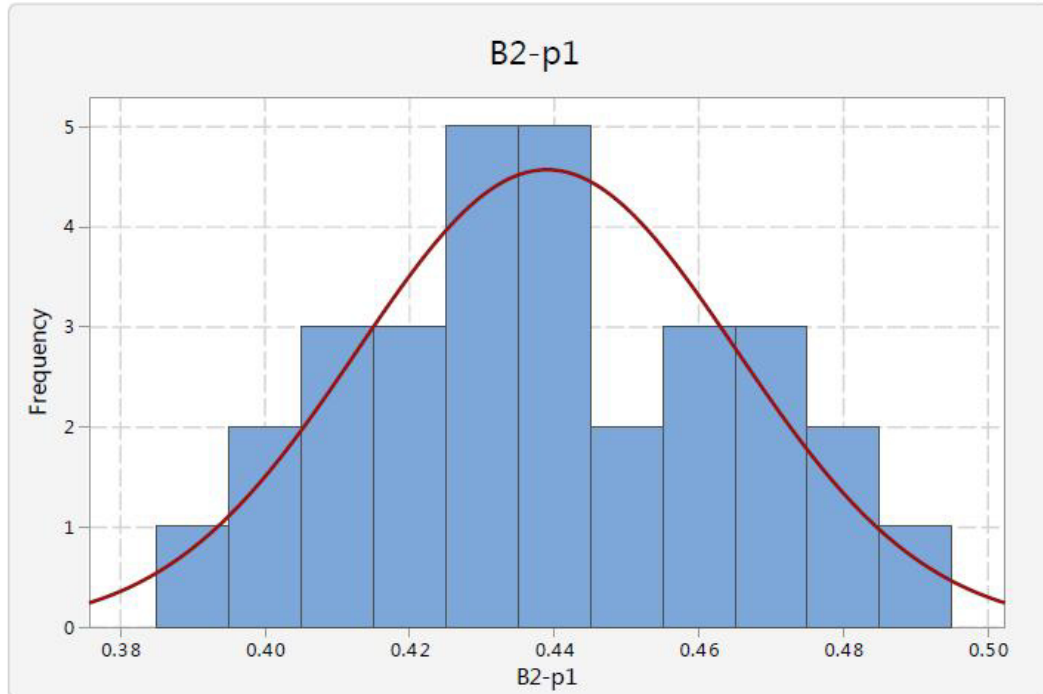
Media: 0.439000

Desviación Estándar: 0.033667

Mínimo: 0.37 / Máximo: 0.50

En la figura 24 se muestran el histograma del Bimetal B1-p3 que grafica las fuerzas que realiza el bimetal teniendo una media de 0.439 cN. En esta prueba se registro una fuerza mínima de 0.37cN y una máxima de 0.50 cN, las cuales son capaces de vencer la fuerza de Operación del Microswitch.

Figura 25 Histograma B2-p1



Fuente: Minitab 2017

Número de Muestras: 30

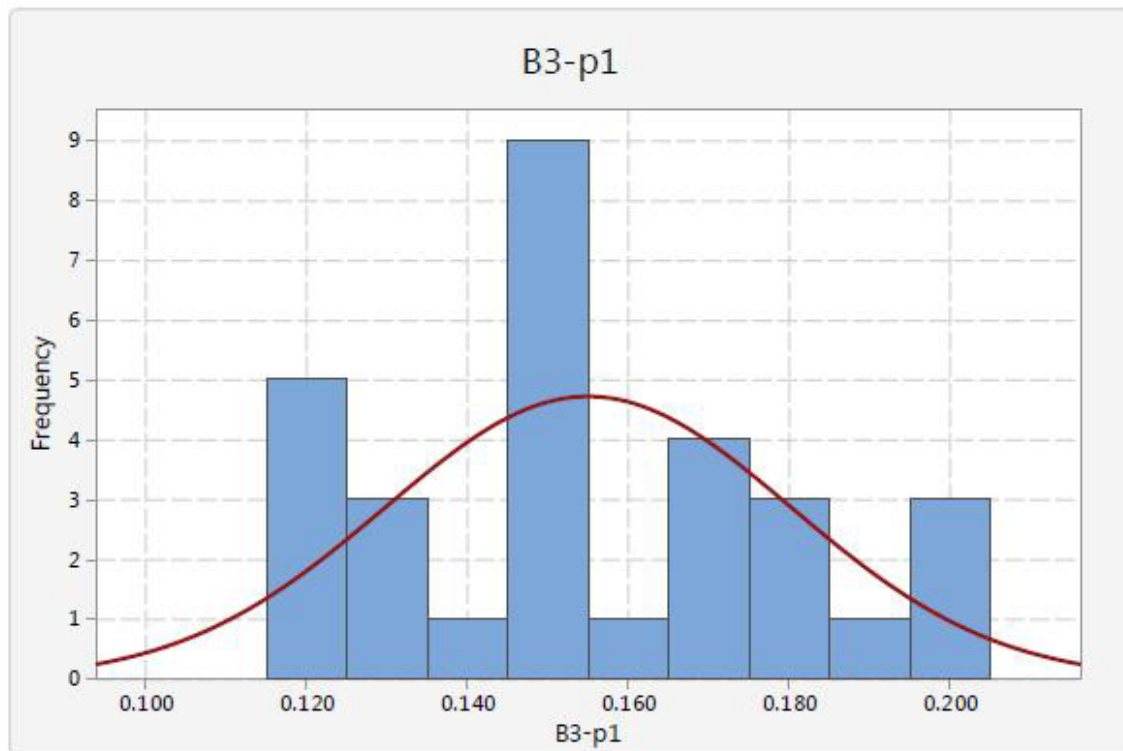
Media: 0.439000

Desviación Estándar: 0.026176

Mínimo: 0.39 / Máximo: 0.49

En la figura 25 se muestran el histograma del Bimetal B1-p3 que grafica las fuerzas que realiza el bimetal teniendo una media de 0.439 cN. En esta prueba se registro una fuerza mínima de 0.39cN y una máxima de 0.49 cN, las cuales son capaces de vencer la fuerza de Operación del Microswitch.

Figura 26 Histograma B2-p1



Fuente: Minitab 2017

Número de Muestras: 30

Media: 0.155000

Desviación Estándar: 0.025291

Mínimo: 0.12 / Máximo: 0.20

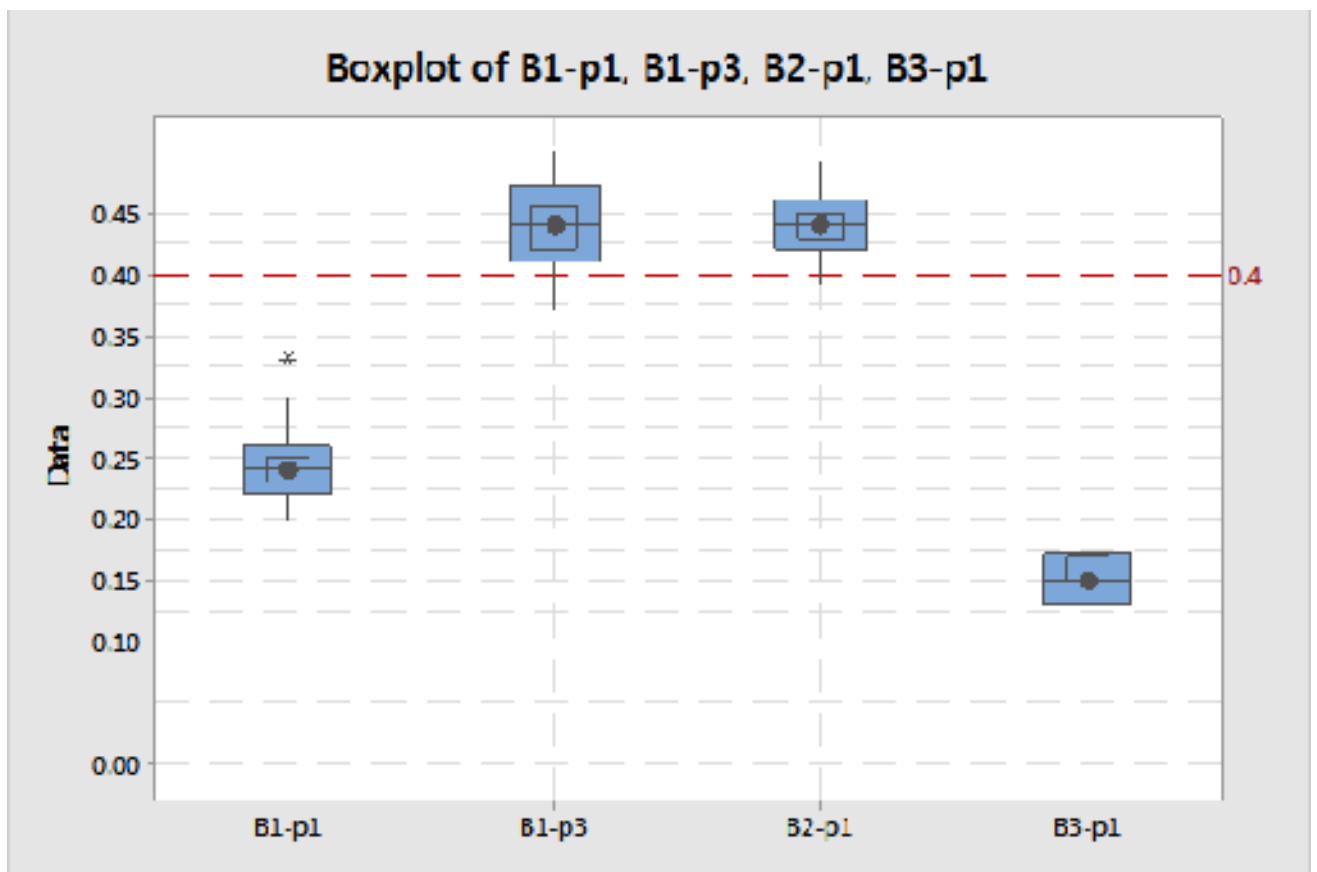
En la figura 26 se muestran el histograma del Bimetal B3-p1 que grafica las fuerzas que realiza el bimetálico teniendo una media de 0.155 cN. En esta prueba se registró una fuerza mínima de 0.12 cN y una máxima de 0.20 cN, las cuales no son capaces de vencer la fuerza de Operación del Microswitch.

De las muestras obtenidas con los Histogramas, el Bimetal B3-p1 fue el que menor fuerza generó, este generó una fuerza de 0.12 cN, que está muy por debajo de lo necesario para vencer la fuerza de operación del microswitch.

Para poder elegir el bimetel correcto requerimos hacer un Boxplot o diagrama de caja que nos proporciona una visión general de la simetría de la distribución de los datos, ponen en una sola dimensión los datos de un histograma , facilitando el análisis, y con la línea de control podemos verificar cual de las medias está más cerca del valor de todas las pruebas para ver cuales se asemejan a la fuerza necesaria para poder elegir el Bimetel.

Se realiza el análisis de Boxplot en Minitab y se obtiene que el que mejor comportamiento y su media se asemeja a la fuerza necesaria para vencer al micro switch son los B1-p3 y B2-p1(figura 75).

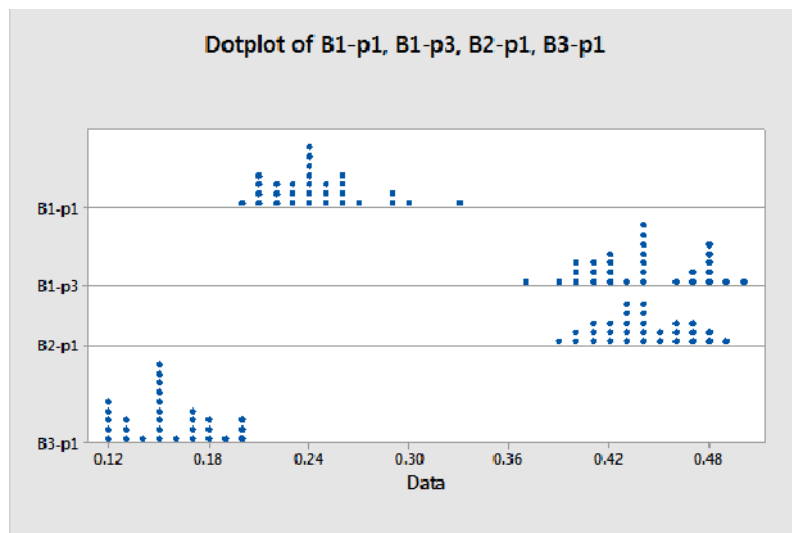
Figura 27 Boxplot Bimetales



Fuente: Minitab 2017

Realizando un análisis de puntos de la mediana de cada bimetálico nos muestra también que el comportamiento de los bimetálicos B1-p3 y B2-p1 son más confiables con la fuerza que se requiere para poder vencer al mecanismo del microswitch. Los resultados son mostrados en la figura 28.

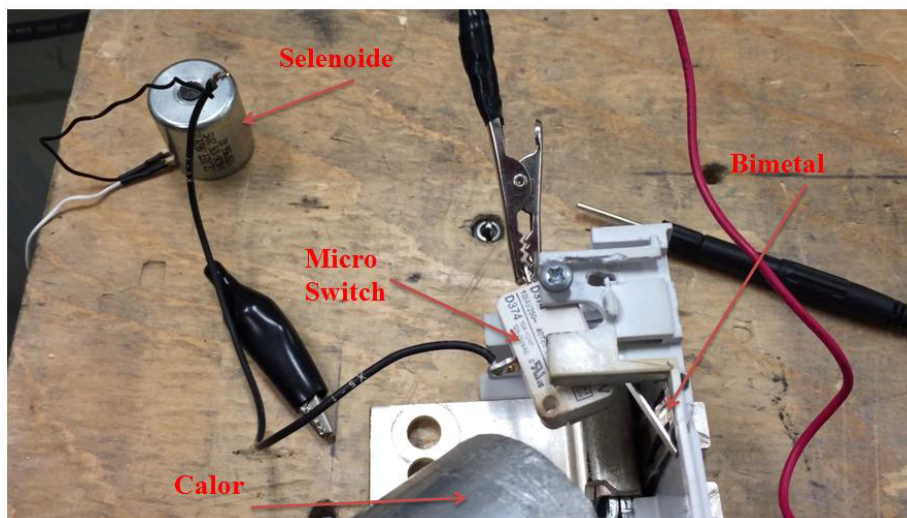
Figura 28 Dotplot Bimetálicos



Fuente: Minitab 2017

Para esto se requiere generar una prueba piloto. Se realiza como se muestra en la figura 29. En donde se conecta un Solenoide para liberar el mecanismo, el microswitch elegido así como el prototipo del bimetálico B2-p1. Se genera calor para poder accionar el bimetálico.

Figura 29 Armado Prototipo



Fuente: Elaboración propia

Al recibir calor el Bimetal hace la función de “Snap”, la cual vence con facilidad la fuerza que opone al movimiento la leva del “Microswitch”. En la siguiente imagen se muestra la diferencia en posición del Bimetal.

Figura 30 Movimiento del Bimetal



Fuente: Elaboración propia

En el primer recuadro 1) de la figura 30, el bimetálico se encuentra en estado pasivo, aun no se genera el calentamiento necesario para que este se active, en el segundo recuadro (2) se muestra el bimetálico activo. El micro switch está cerrado.

Con el Diseño del Bimetálico B2-p1 en forma de “snap” como el que menciona Valverde en su patente es un diseño que si cumple con las restricciones, así como las temperaturas de operación y la fuerza que ejerce.



## Capítulo 5

# Discusión y Conclusiones

## 5.1 Discusión de Resultados y Conclusiones

Se pudo observar que el diseño de la pieza es un parámetro muy importante, debido a que afecta sensiblemente el comportamiento del bimetal, a pesar de que el comportamiento general de los diferentes calibres era similar, la diferencia milimétrica en la muesca y el espesor del bimetal produjo que los resultados tuvieran una variación de tiempo y temperatura de manera considerable entre calibres. Además de que la posición de la muesca es una variable para la obtención de la fuerza.

Por otra parte la fuerza mínima requerida para poder vencer al Micro Interruptor era de 400cN o 0.4 N, lo cual hace notar que el bimetal 2 y 3 son las que generan menos fuerza y cumplen con las normas de diseño así como las especificaciones que se necesitan para que este opere. Por lo tanto se concluye que se acepta la hipótesis planteada en el capítulo 1.8.

Así con el Bimetal de Snap o de acción rápida se elimina completamente la calibración térmica, es decir que no se necesitaría algún modulo o personal o método para poder compensar la deflexión del bimetal con un tornillo para llegar a ciertos tiempos.

Esto quiere decir que el módulo de prueba eléctrica ya no será funcional. Teniendo un ahorro estimado de \$ 87,698.16.de pesos en consumo al año, calculo obtenido en el capítulo 2. Correspondientes al consumo de energía por la calibración. De tal manera que ya no se consumirían los recursos no renovables que era necesarios para su generación, además de la consecuente disminución de emisión de contaminantes.

Al revisar el estado del arte de la investigación se encontró que las innovaciones desarrolladas en la presente investigación causan una modificación que mejoran la unidad de disparo, ya sea utilizando el bimetal como conductor, o integrado en la parte magnética, o simplemente haciendo más fuerza en comparación a los desarrollos actuales en el mercado.

Este tipo de desarrollo puede utilizarse en los Interruptores Termo magnéticos Industriales, ya sea que contenga una unidad de disparo Electrónica, Mecánica o Electromecánica según lo que se requiera.

## Capítulo 6

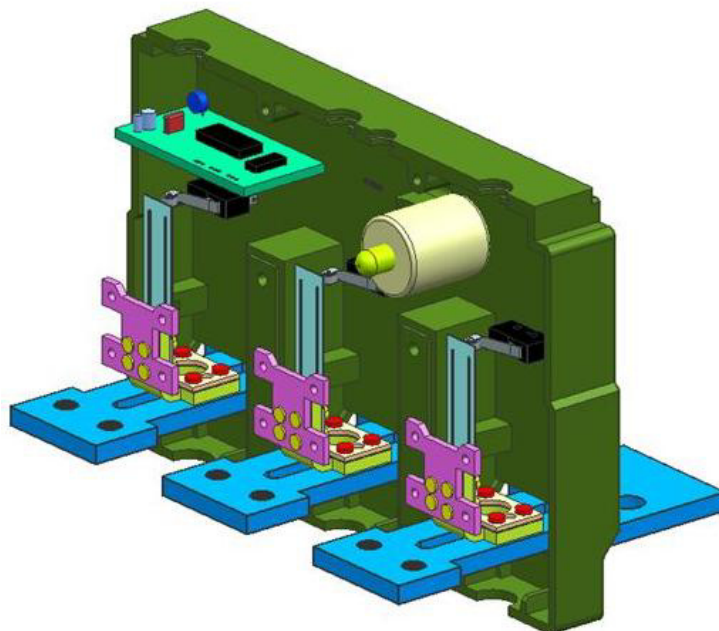
# Propuesta Final

## 6.1 Propuesta Final

Considerando los resultados de fuerza que liberaba el bimetetal al momento del snap se pueden realizar diversas actividades en el futuro como el rediseño del mecanismo de desconexión con el objetivo de disminuir la fuerza necesaria para activar este mecanismo o caso contrario optimizar el nuevo diseño del bimetetal para liberar más fuerza en el snap.

Combinando el Bimetetal de Snap o Acción rápida con algo electrónico como un microswitch, de esta manera tendremos un nuevo diseño de unidad de disparo la cual sería electromecánica. Este tipo de unidad es nueva catalogándola como innovación como fue mencionado al inicio en el Estado del arte en donde se citan las invenciones o innovaciones más significativas que han pasado por el tiempo en el desarrollo y diseño de los disyuntores.

Figura 31 Propuesta de la Unidad de disparo electromecánico a base un bimetetal de acción rápida



Fuente: Elaboración Propia

Actualmente este diseño está en proceso de evaluación para poder generar una patente y poder realizarse en un futuro.

## Bibliografía

- 2013 Handbook, Thermostatic Bimetal Handbook (2008).1st ed.[eBook] Hallstahammar: Kanthl, Available: <http://www.kanthal.com/Global/Downloads/Materials> [Accessed 1 Mar. 2015].
- Alcántara, R. and Salas, A. (2014). Thermo magnetic trip unit for a circuit breaker. 20140232510.
- Alexander, J., King, W., May, W. and Pardue, V. (1986). Microprocessor controlled circuit breaker trip unit. 4631625.
- App.cfe.gob.mx. (2017). Tarifas - CFE. [online] Available at: [http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp?Tarifa=HM](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM) [Accessed 2 jun. 2017].
- Carrillo, A. and Franco, L. (2017). Thermal trip device, switching device, thermal magnetic circuit breaker and method for protecting an electrical circuit from damage. 20150228433.
- Catalogo BETA Interruptores Termo magnéticos 2(2007). Primera Revisión, Siemens AG.
- Cherry Switches. (2016). D3 miniature switch. 2016, de Cherry switches Sitio web: <http://cherryswitches.com/product/snap-action-microswitch-miniature-d3/>.
- COMSOL Multiphysics. (2017). Estados Unidos: COMSOL.
- Dimarco, B., Ferree, J. and Black, R. (1999). *Variable thermal and magnetic structure for a circuit breaker trip unit*. 5872495.
- Dipl.-Ing. Wolfgang Uhlig Dipl.-Phys. Joachim Schuster Dipl.-Ing. Matthias Gläser Uwe Brückner. (1996). THERMOSTATIC METAL Manufacture and Application. Aue/Sachsen: Auer hammer Metallwerk GmbH.
- John J. Grainger, William D Stevenson. (1996). Análisis de Sistemas de Potencia. Mexico: McGraw-Hill.
- Klein, K. and Powell, D. (1964). Electric circuit breaker with improved trip means. 3162739.

- Livesey, J. and Altenhof, J. (1990). Adjustable circuit breaker thermal trip unit. 4922220.
- MatWeb. (2016). Source for Materials Information. 2016, de MatWeb Sitio web: <http://www.matweb.com/index.aspx>.
- Minitab. (2017). Estados Unidos: Minitab.
- Mrenna, S., Wood, D. and MacKenzie, R. (1994). Circuit breaker using bimetal of thermal-magnetic trip to sense current. 5519561.
- O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. (1994). El Método de los Elementos Finitos. Barcelona: Mc Graw Hill.
- Robert, P. (1953). Thermal element for switch mechanisms. 2657292.
- SIEMENS AG. (2010). BETA Low-Voltage Circuit Protection. Siemens Catalog, 1, 620
- UL. (2016). Molded-Case Circuit Breakers, Molded-Case Switches, and Circuit-Breaker Enclosures. 2016, de UL Sitio web: [http://ulstandards.ul.com/standard/?id=489\\_12](http://ulstandards.ul.com/standard/?id=489_12).
- Valverde, R. (1952). Thermostat with frictional snap action. 2602129.

## **Apéndice A Abreviaciones y Acrónimos**

A: Amperes, Intensidad de Corriente Eléctrica, comúnmente simplificado por “A “.

cN: Centi Newton  $10^{-2}N$  o una centesima de Newton

Ni: Níquel

Fe: Hierro

Co: Cobalto

Mn: Manganeseo

Si: Silicio

Cr: Cromo

Mo: Molibdeno

W: Wolframio

V: Vanadio

P: Fosforo

UL: Underwriters Laboratories

k: Kilo

kW: kilowatts

UL 489: Norma Norteamericana.

## **Apéndice B Anglicismos**

Snap: Chasquido, Golpe rápido.

MicroSwitch: Micro Interruptor.

Rivet-pop: Remache