

# Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



## **Diseño de ajuste para el proceso de establecer la distancia del cateto de la terminal y bimetálico del interruptor termomagnético clásico**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

**Ivette Guadalupe Carrera Rodriguez**

Director:

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda  
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México  
08 de junio de 2020

# **Diseño de ajuste para el proceso de establecer la distancia del cateto de la terminal de interruptor termomagnético clásico**

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

**Ivette Guadalupe Carrera Rodriguez**

y aprobada por el siguiente Comité

---

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda  
Director de tesis

---

**Dr. Ricardo Martinez Soto**  
Coordinador del Posgrado MII

Resumen de la tesis que presenta **Ivette Guadalupe Carrera Rodriguez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

## **Diseño de ajuste para el proceso de establecer la distancia del cateto de la terminal de interruptor termomagnético clásico**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda

### **Resumen**

*En este trabajo de investigación es analizada la relación entre la falla de desconexión para el interruptor termomagnético clásico de tipo QOT y la variación del ajuste mecánico de distancia entre bimetálico y terminal con el fin de reducir el porcentaje de falla de desconexión en la prueba de verificación. Son presentados los análisis estadísticos donde fue comparado el efecto de la mano de obra en la prueba de falla de desconexión en dos grupos de datos con dos tratamientos distintos, el primer grupo de dos muestras de 60 piezas cada una para polo 1 y polo 2, sin manipular el proceso de ajuste mecánico en el momento del análisis y el segundo de dos muestras de 60 piezas cada una para polo 1 y polo 2 con un ajuste mecánico diseñado, establecido y controlado. El primer grupo de datos con  $C_{pk}$  por debajo de 1, presentó un porcentaje mayor en falla de desconexión durante la prueba de verificación, mientras que el segundo grupo de datos con un  $C_{pk}$  de arriba de 1 presentó un porcentaje menor en la falla de desconexión en comparación con el primer grupo. Los resultados indican una diferencia estadística significativa entre ambos grupos de datos, fue descartada la hipótesis nula donde era asumida la inexistente reducción de la falla de desconexión en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico modelo QOT.*

**Palabras clave:** Interruptor-termomagnético, Ajuste mecánico, parámetros.

Abstract of the thesis presented by **Ivette Guadalupe Carrera Rodriguez** as a partial requirement to obtain the Master or degree in Engineering and Innovation

## **Diseño de ajuste para el proceso de establecer la distancia del cateto de la terminal de interruptor termomagnético clásico**

Abstract approved by:

---

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda

### **Abstract**

*In this investigation is analyzed the relation between the disconnection failure to classic thermomagnetic breaker QOT, and the variation of the mechanic adjustment of the distance between bimetal and terminal, in order to reduce the rate of disconnection failure in verification test. This investigation contains the statistics analysis in where was done a comparation of the effect of hand labor over the disconnection failure test in two groups of data with two different treatments, the first group had two samples of 60 pieces for each pole, without manipulation in the process of mechanic adjustment at analysis moment and the second group of data compound of 60 pieces for pole 1 and 60 pieces for pole 2 with a mechanic adjustment designed, stablished and controlled. The first group of data with a  $C_{pk}$  bellow of 1 presented a major rate of disconnection failure during verification test, while the second group of data with a  $C_{pk}$  over 1 presented a minor rate of disconnection failure in comparision with the first group. The results indicate the existence of a statistically significant difference between both groups of data, was rejected the null hypothesis in where was assume the inexistence reduction of disconnection failure in the verification test of tripping of the classic QOT thermomagnetic breaker.*

**Keywords:** Thermomagnetic-breaker, mechanic adjustment, parameters.

## **Dedicatoria**

*Dedico esta tesis a mis padres, Lilian y Héctor, quienes siempre han sido mi pilar, mi motivación, quienes me apoyaron todo el tiempo, por su amor, por su paciencia y el esfuerzo por mi educación en toda mi vida.*

*A Alberto quien me ha apoyado y acompañado desde el primer momento y en todas las maneras posibles en gran parte de mi carrera hasta hoy.*

*Gracias, los amo.*

## **Agradecimientos**

*Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, quien me ha bendecido en cada paso de mi carrera, a mis padres por inspirarme al estudio y ser mejor cada día, y a mis amigos y compañeros de trabajo quienes han estado para apoyarme y alentarme a seguir, a Alberto por acompañarme en este camino.*

*Mi profundo agradecimiento a CETYS Universidad, al doctor Alejandro Guzman Ocegueda, a Schneider Electric “La Pacífico”, CONACYT pues sin su apoyo no hubiera sido posible este logro.*

## Tabla de Contenido

|   |      |
|---|------|
| Resumen .....   | ii   |
| Abstract .....  | iii  |
| Dedicatoria.....  | iv   |
| Agradecimientos .....   | v    |
| Tabla de Contenido .....  | vi   |
| Lista de figuras .....  | viii |
| Lista de tablas.....  | x    |
| <b>1. Introducción</b> .....  | 1    |
| <b>2. Antecedentes</b> .....  | 2    |
| 2.1 Schneider Electric.....   | 2    |
| 2.2 Funcionamiento del Interruptor.....   | 3    |
| 2.2.1 Mecanismo de un Interruptor .....   | 3    |
| 2.2.2 Componentes del Interruptor .....   | 5    |
| 2.2.3 Ajuste del Interruptor.....   | 9    |
| 2.3 Analogía del proceso actual.....  | 11   |
| 2.4 Estado del Arte .....   | 15   |
| <b>3. Definición del problema de investigación</b> .....                                  | 18   |
| 3.1 Justificación .....   | 18   |
| 3.2 Planteamiento del problema .....  | 22   |
| 3.2.1 Pregunta de Investigación .....   | 22   |
| 3.2.2 Hipótesis .....   | 22   |
| 3.2.3 Objetivos.....  | 22   |
| <b>4. Metodología</b> .....   | 24   |
| <b>5. Resultados</b> .....  | 30   |
| 5.1.2 Análisis de situación actual.....   | 34   |
| 5.1.3 Cálculo de parámetros propuestos.....   | 38   |
| 5.1.4 Ajuste mecánico controlado con parámetros establecidos a partir<br>de la media..... | 39   |
| <b>6. Discusión de Resultados</b> .....   | 48   |

**7. Conclusiones ..... 53**  
**8. Lista de referencias bibliográficas ..... 54**

## Lista de figuras

| Figura  | Página |
|---|--------|
| 1 Configuración de un interruptor.....  | 4      |
| 2 Componentes de un interruptor termomagnético clásico tipo QOT.....  | 5      |
| 3 Representación bimetalica.....  | 6      |
| 4 Representación bimetalica en expansión.....   | 6      |
| 5 Representación bimetalica compresión y expansión.....   | 6      |
| 6 Representación bimetalica en desviación.....  | 7      |
| 7 Representación bimetalica paso de corriente.....  | 7      |
| 8 Representación bimetalica paso de corriente y calentamiento.....  | 8      |
| 9 Representación del disparo.....   | 8      |
| 10 Izquierda Polo 1, derecha Polo 2.....  | 11     |
| 11 Plano con parámetros de separación bimetel-terminal.....   | 12     |
| 12 Desarmador neumático con Fixtura para el ajuste mecánico.....  | 13     |
| 13 Análoga de QOT.....  | 14     |
| 14 Tabla de Heat Up.....  | 16     |
| 15 Representación gráfica para tamaño de muestra utilizando la prueba t con herramienta de potencia.....                              | 25     |
| 16 Dispositivo de medición adaptado para QOT.....   | 30     |
| 17 Referencias de medición de componentes ensamblados en interruptores QOT.....   | 31     |
| 18 Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 1, línea base.....  | 34     |
| 19 Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 2, línea base.....  | 34     |
| 20 Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 1.....   | 35     |
| 21 Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 2.....   | 36     |
| 22 Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico del proceso actual con los tiempos de disparo en sorteo para el polo 1..... | 37     |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 23 | <i>Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico del proceso actual con los tiempos de disparo en sorteo para el polo 2.....</i>      | 38 |
| 24 | <i>Ajuste mecánico con dispositivo de medición.....</i>  | 39 |
| 25 | <i>Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 1, parámetros propuestos.....</i>  | 41 |
| 26 | <i>Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 2, parámetros propuestos.....</i>  | 41 |
| 27 | <i>Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 1 con medidas definidas.....</i>  | 42 |
| 28 | <i>Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 2 con medidas definidas.....</i>  | 43 |
| 29 | <i>Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico con parámetros establecidos con tiempos de disparo en sorteo para el polo 1.....</i> | 45 |
| 30 | <i>Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico con parámetros establecidos con tiempos de disparo en sorteo para el polo 2.....</i> | 46 |
| 31 | <i>Distribución de datos ajuste anterior contra ajuste propuesto en polo 1</i>   | 47 |
| 32 | <i>Distribución de datos ajuste anterior contra ajuste propuesto en polo 2</i>   | 47 |
| 33 | <i>Avance de integración de equipo para ajuste mecánico automático.....</i>  | 50 |

## Lista de tablas

| <b>Tabla</b>  | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1 <i>Aceptaciones y pronóstico por modelos.....</i>   | 18            |
| 2 <i>Resultado de análisis de factores por aceptación de primer paso.....</i>   | 19            |
| 3 <i>Valores labor calculados para 2020.....</i>  | 19            |
| 4 <i>Relación de componentes perdidos por rechazo y mal retrabajo, con costo en dólares americanos por interruptor.....</i>   | 21            |
| 5 <i>Cálculo de costo por componentes perdidos en retrabajo y rechazo en tercera prueba de verificación en ajuste.....</i>  | 21            |
| 6 <i>Resultados de medición del proceso actual con identificación por pieza....</i>   | 32            |
| 7 <i>Relación de interruptor por ajuste mecánico sin establecer y tiempo de disparo en sorteo para polo 1 y polo 2.....</i>   | 33            |
| 8 <i>Resultados de medición del proceso con ajuste propuesto, incluyendo identificación por pieza.....</i>  | 40            |
| 9 <i>Relación de interruptor por ajuste mecánico establecido y tiempo de disparo en sorteo para polo 1 y polo 2.....</i>  | 44            |
| 10 <i>Resultados estadísticos antes y después de la implementación de nuevos parámetros diseñados para ajuste mecánico.....</i>   | 48            |
| 11 <i>Resumen Prueba de Intervalo de Confianza para 2 muestras y desviación estándar.....</i>   | 49            |
| 12 <i>Cálculo de costo por componentes perdidos en retrabajo y rechazo en tercera prueba de verificación en ajuste, antes y después de la mejora e implementación de parámetros de ajuste mecánico.....</i> | 50            |

## 1. Introducción

El diseño de los parámetros de ajuste mecánico para la distancia entre bimetálico y terminal, previo al ajuste mecánico automático de un interruptor termomagnético clásico de tipo QOT, permitió la reducción de la falla de desconexión en un porcentaje de un 22% al 10% con ahorros anuales de aproximadamente \$20,000 dólares americanos para la familia QOT en la planta de Schneider Electric.

La investigación permitió el análisis del efecto de la consistencia de la mano de obra y la falla de desconexión en la prueba de sorteo para interruptores termomagnéticos centrando la investigación en los de tipo QOT.

La investigación consideró la comparación de dos grupos de datos, donde el primero grupo de datos estuvo compuesto de 2 muestras de 60 piezas cada una (polo 1 y polo 2) del proceso de ajuste mecánico sin controlar y con un  $C_{pk}$  de 0.37 para el polo 1 y 0.52 para el polo 2, el segundo grupo de datos estuvo compuesto de 2 muestras de 60 piezas cada una (polo 1 y polo 2) del proceso de ajuste mecánico controlado y parámetros establecidos con un  $C_{pk}$  de 1.34 y 1.19 respectivamente para cada polo. Al someterse a la prueba de falla de desconexión el primer grupo de datos sin un ajuste mecánico controlado y  $C_{pk}$  menor en comparación con el segundo grupo, presentó un mayor porcentaje de falla de desconexión, mientras el segundo grupo de datos con el diseño de ajuste mecánico establecido resultó en un porcentaje menor de fallas.

Lo anterior fue llevado a cabo mediante una serie de análisis estadísticos de datos tomados de las pruebas de campo para la familia de interruptores termomagnéticos clásicos de tipo QOT, dentro de la empresa Schneider Electric.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Schneider Electric

La compañía Schneider Electric (SE) perteneciente al ramo eléctrico, es de origen francés y fue fundada en 1836, considerada actualmente como especialista global en soluciones para gestión de energía y automatización, con más 142,000 empleados, tiene presencia en más de 100 países distribuidos en Norte América, Sudamérica, Europa, África, Medio Oriente, Asia y otras regiones. El ingreso anual asciende a 29 billones de Euros además de un crecimiento de un 5% año con año. (Schneider Electric, 2020).

La compañía adquirió a la empresa Square D en 1991, una compañía innovadora dentro de los mercados de administración de la electricidad y la automatización, contando en ese momento con más de 80 años de experiencia en el mercado y presencia en 23 países, entre ellos la planta de Tijuana en México. (Schneider Electric, 2020)

La planta de Schneider Electric sede Tijuana, produce cortacircuitos en masa o interruptores eléctricos (breakers), teniendo como clientes importantes a: *Home Depot, Crawford Electric, Graybar, Consolidated Electric, etc.*

La producción anual es de 128 millones de unidades al año, equivalente a ventas totales de \$456 millones de dólares. La planta ha tenido un crecimiento constante año contra año mayor al 5% y está posicionada como la planta de producción más importante en Norteamérica para el corporativo, por su impacto en la unidad de negocios de “Retail – Power” y su contribución en el portafolio de productos estándar (*Make to Order y Make to Stock*). (Schneider Electric, 2018).

La planta industrial produce diferentes tipos de cortacircuitos a un gran volumen, clasificados en dos tipos: termomagnéticos y electrónicos. (Schneider Electric, 2018)

El presente proyecto está enfocado en la familia QOT tándem, un tipo de interruptor clásico originado en el año 1967, diseñado para usarse en la serie actual de centros de carga QO, clasificados para aceptar interruptores en tándem.

## 2.2 Funcionamiento del Interruptor

El interruptor corta circuitos es un dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito por medios no automáticos, así como para abrir el circuito automáticamente en una sobrecarga predeterminada sin dañarse o dañar el cableado, cuando es aplicado adecuadamente dentro de su clasificación.

Los medios de apertura automática pueden ser integrales, de acción directa con el interruptor automático, o remotos del interruptor automático. (Artículo 100 del NEC, “National Electrical Code”, 2020).

### 2.2.1 Mecanismo de un Interruptor

Las siguientes definiciones hacen referencia al cableado para entender su papel en el funcionamiento de un interruptor:

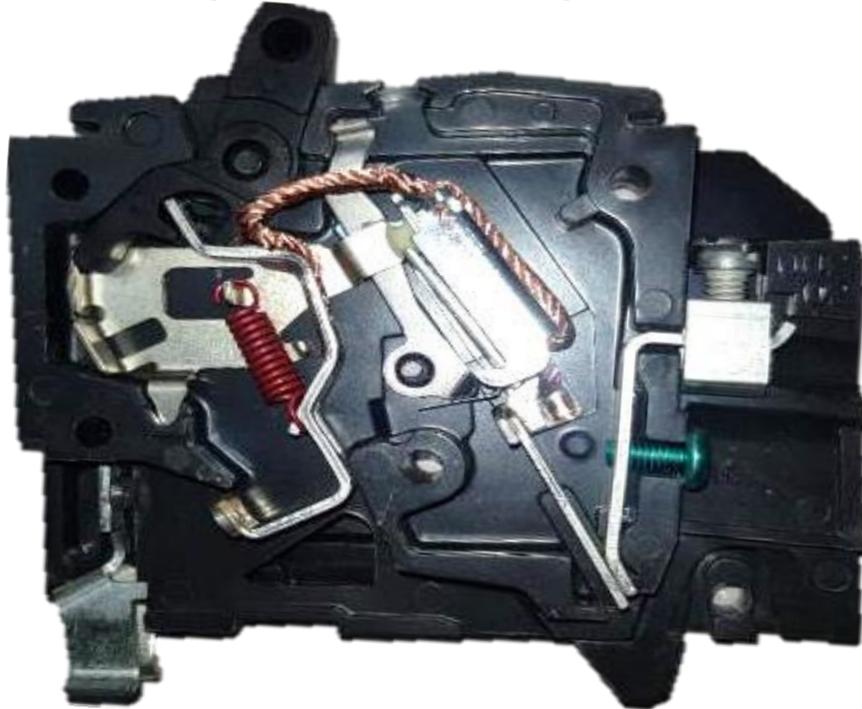
- Los conductores aislados son aquellos contruidos con hebras flexibles (cobre, aluminio o aleaciones) con una cubierta aislante; y cables son los conductores aislados con otra cubierta adicional aislante del material necesario para cumplir condiciones específicas de instalación. (Levy, 2012).

El mecanismo y función de sus componentes al aplicarse la corriente en el interruptor, puede comprenderse con los siguientes conceptos básicos:

- Sobrecarga: Operación excesiva de equipo, capacidad de carga completa, o de un conductor en exceso de la capacidad nominal, si persiste durante un período de tiempo suficiente, podría causar daños o sobrecalentamiento peligroso.
- Corto circuito: Flujo de corriente inintencionado máximo permitido, fase a fase, fase a tierra o fase a neutro. Flujo de corriente resultante de una falla en el aislamiento.
- Disparo “Tripping” el interruptor controla los niveles actuales a lo largo del tiempo e interrumpe el circuito con dos métodos básicos:
  - Botado o disparo termal: Disparo del bimetálico.
  - Disparo instantáneo: Disparo magnético.

(Square D Company, 1995).

## Interruptor clásico tipo QOT



**Figura 1** - Configuración de un interruptor. Fuente: adaptación (Schneider Electric, 2010).

La figura 1 muestra como luce un interruptor termomagnético de tipo QOT antes de ser cerrado en el proceso de ensamble.

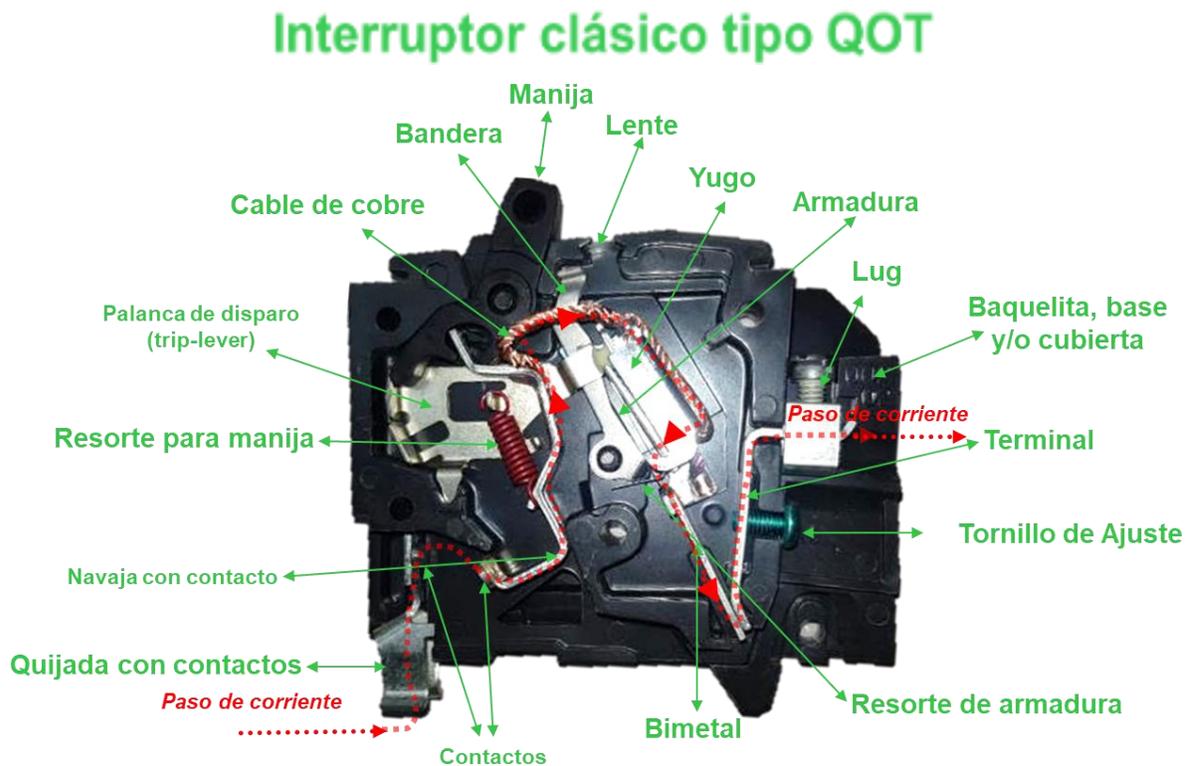
Los requisitos básicos en mecanismos de los interruptores de circuito son:

1. Abrir y cerrar los contactos y mantener la posición.
2. Disparar los contactos abiertos y mantener la posición.
3. La manija debe indicar el disparo.
4. Debe activar los contactos abiertos incluso si la manija está bloqueada.
5. Debe sobrevivir a los requisitos de vida o resistencia del interruptor.
6. La mayoría de los mecanismos incluirán un golpeador en la cuchilla para romper las soldaduras de tachuela menores.
7. Algunos mecanismos incluyen una acción de limpieza o acción de corte en los contactos.

(Square D Company, 1995).

## 2.2.2 Componentes del Interruptor

El interruptor termomagnético, está compuesto en su mayoría de un paso de corriente con cable de cobre, terminal, bimetálico, navaja y contactos, manija, palanca de disparo, yugo, armadura, resortes, y tornillos. La composición completa de un interruptor puede apreciarse en la figura 2, donde son mostrados los componentes integradores de un interruptor termomagnético clásico tipo QOT. Para la comprensión del mecanismo, en la presente investigación, el enfoque está concentrado en el paso de corriente, bimetálico, terminal, navaja y contactos, donde ocurre el movimiento.



**Figura 2** - Componentes de un interruptor termomagnético clásico tipo QOT. Fuente: elaboración propia.

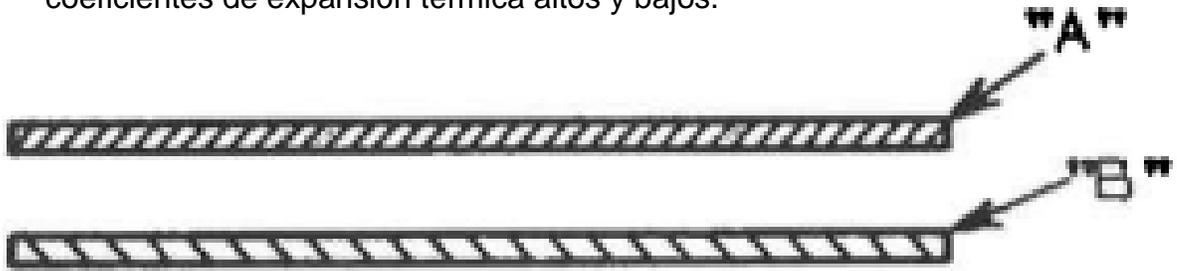
La presión de contacto mantiene unidos los contactos móviles y estacionarios a manera de fuerza. La cantidad de fuerza requerida es directamente proporcional a la cantidad de corriente (amperios). Los interruptores más pequeños, como 15 amperios, requerirán fuerzas de contacto de alrededor de 8 onzas, mientras en un interruptor de 1000 amperios puede requerir fuerzas de contacto de 30 libras o más. (Square D Company, 1995).

Todos los interruptores automáticos deben tener algún contacto sobre el recorrido diseñado en el mecanismo. Los contactos erosionarán a través de la prueba UL, como

sobrecargas y resistencia. Cuando los contactos erosionan, el contacto móvil debe recorrer más para mantenerse en contacto y aplicar presión al contacto estacionario para permitir al interruptor llevar corriente. (Square D Company, 1995).

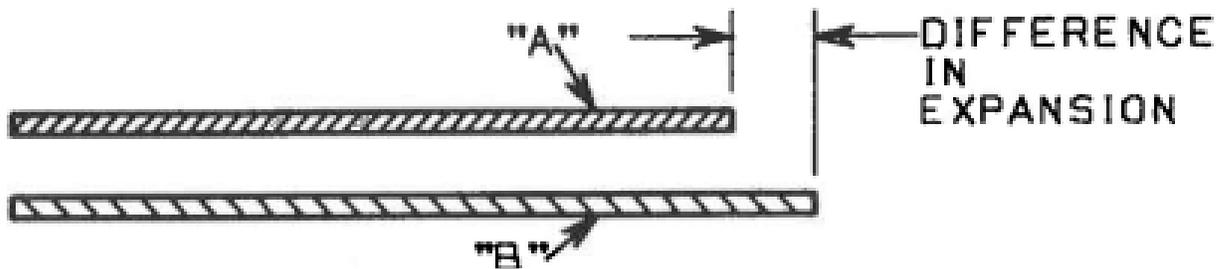
La figura 3 muestra de manera gráfica a los bimetales en los interruptores,

1. Dos tiras de metal de la misma longitud (a una temperatura dada) tienen coeficientes de expansión térmica altos y bajos.



**Figura 3** -Representación bimetálica. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 10).

2. Cuando la temperatura eleva, sus longitudes relativas cambiarán como referencia la figura 4 muestra la diferencia en tamaño entre ambas placas.



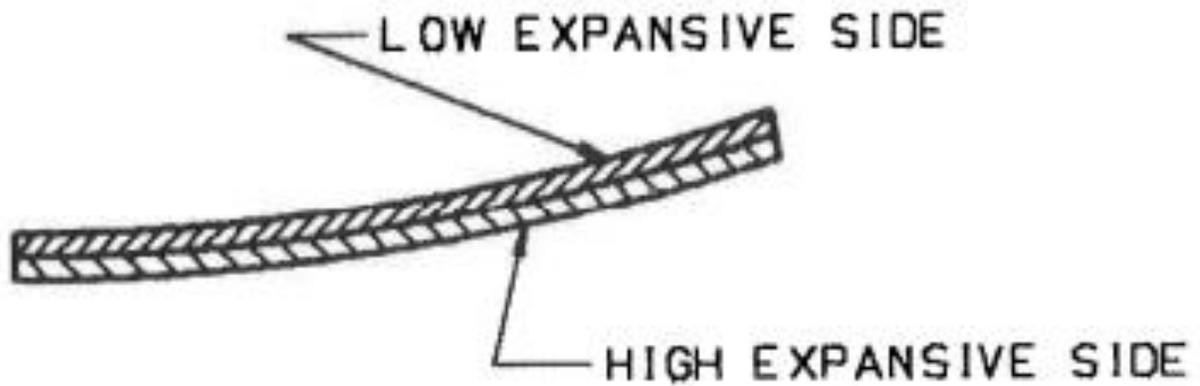
**Figura 4** - Representación bimetálica en expansión. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 10).

3. Cuando las tiras del metal están unidas entre sí, y la temperatura eleva, la tira alta "B" estará bajo compresión y la tira de baja expansión "A" bajo tensión representado en la figura 5.



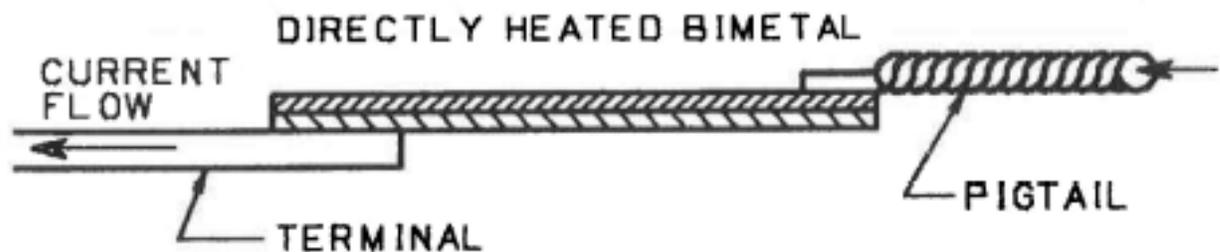
**Figura 5** - Representación bimetálica compresión y expansión. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 10).

4. Estas fuerzas producen un momento causando el doblado del elemento en un arco uniforme como puede apreciarse en la figura 6. Cuando un extremo está fijo, soldado a un terminal, el otro extremo puede desviarse libremente. Esta desviación es la energía disponible para disparar térmicamente un interruptor automático.



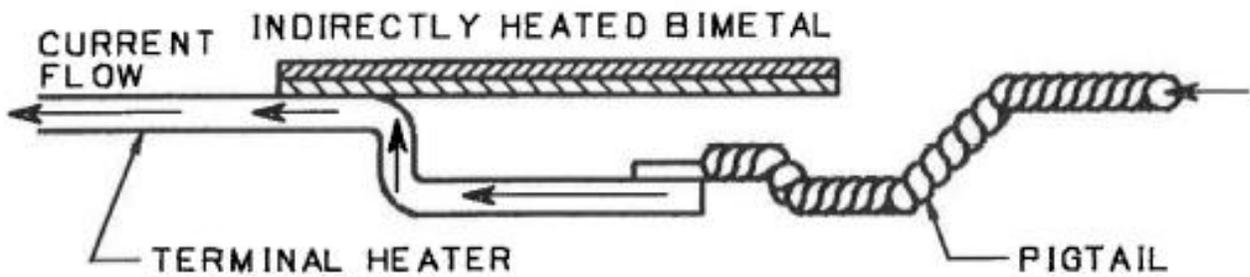
**Figura 6** - Representación bimetálica en desviación. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 10).

5. Los bimetales son calentados directamente donde está el paso de corriente (current path), y la temperatura bimetálica es modificada en relación del cambio de paso de corriente como puede verse en la figura 7. Cuanto más resistivo sea el bimetálico y, al aumentar la corriente, también aumentará la temperatura bimetálica (deflexión).



**Figura 7** - Representación bimetálica paso de corriente. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 11).

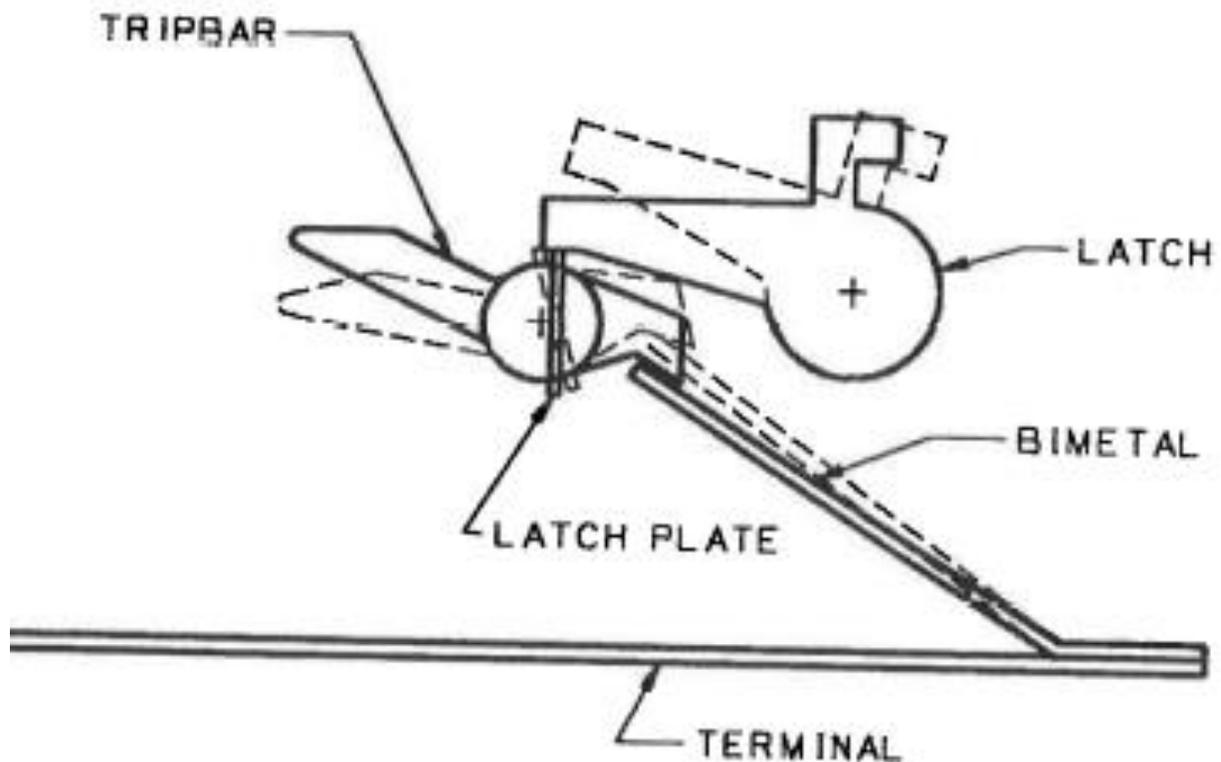
6. El bimetálico calentado indirectamente usa típicamente un calentador terminal donde el calor es conducido al bimetálico figura 8. Cuanto más resistente sea el calentador y, aumentando la corriente, también aumentará la deflexión de la temperatura del bimetálico.



**Figura 8** - Representación bimetalica paso de corriente y calentamiento. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 11).

El desplazamiento del bimetálico es directamente proporcional a la temperatura. Al desdibujarse el mecanismo, los contactos abrirán. El girar la barra de disparo requerirá una cierta cantidad de fuerza o trabajo, en la figura 9 puede observarse una representación gráfica sobre el disparo del mecanismo en el interruptor. (Square D Company, 1995).

Desafortunadamente, el trabajo requerido para disparar un interruptor puede variar de un recorrido a otro, polo a polo, interruptor a interruptor. Esta variable impide ajustar polos 100% buenos y aceptables en la primera corrida. (Square D Company, 1995).



**Figura 9** -Representación del disparo. Fuente: (Square D Company, 1995. pp. 12).

La manufactura de un bimetálico también puede variar, la longitud total, el ancho y el grosor cambiarán la tasa de deflexión o temperatura. La calidad de la unión y ubicación de la soldadura tendrá un efecto en la producción de bimetálicos. (Square D Company, 1995).

### **2.2.3 Ajuste del Interruptor**

El ajuste es un arreglo para compensar la variación de las piezas fabricadas, de materia prima y del proceso. Cuando manufactura ajusta un interruptor, a menudo es al 300%, superior a los límites de diseño del 135% y 200%. Debe haber correlación entre este nivel superior y el nivel diseñado, lo anterior es confirmado con una prueba de verificación (checktest) al 135% basada en un muestreo estadístico. (Square D Company, 1995).

Una serie de procesos como T-Gap, medición y ajuste mecánico están destinados a reducir la cantidad de tiempo requerida para completar este proceso. (Square D Company, 1995).

Los conceptos de ajuste son los siguientes:

1. T-Gap, este proceso ajusta mecánicamente el bimetálico a una distancia predeterminada de un punto de disparo y está destinado a correlacionarse con un poste ajustado térmicamente.
2. La medición es el proceso de colocar mecánicamente un bimetálico en una posición donde sea permitido el ajuste mecánico.
3. El ajuste del 200%, 250% y 300% es el porcentaje del valor de la manija, en cada polo individual.
4. El ajuste del 135% es un porcentaje del valor de corriente en la manija y a través de una longitud determinada de cable nominal. Si bien el cable está destinado a transportar corriente, también hace la función de ajuste térmico cuando este extrae calor del interruptor. La temperatura ambiente, el movimiento del aire y la temperatura de los cables también afectarán el ajuste.

(Square D Company, 1995).

5. Punto de ajuste mecánico (“Set up point”) o pre- ajuste, es la posición del yugo antes del ajuste del interruptor. El punto de ajuste es establecido girando el tornillo de ajuste para colocar el yugo en un rango predeterminado. El rango es seleccionado para asegurar un ajuste seguro en la base y para optimizar el proceso de ajuste automático. (Schneider Electric, 2017)

Los interruptores fabricados por Schneider Electric están diseñados según los estándares UL 489 y son ajustados sistemáticamente para dispararse con una cantidad de corriente dada durante un período de tiempo determinado. UL tiene niveles predeterminados de corriente y tiempo, como 200% de fase individual y 135% de todas las fases, para la mayoría de los interruptores ensamblados en Schneider Electric, es al 135%. Además, un interruptor debe ser capaz de transportar el 100% de su corriente nominal sin dispararse hasta obtener temperaturas constantes. (Square D Company, 1995).

La norma UL 489 contiene requisitos y parámetros de prueba para interruptores de cubierta moldeada. (UL, 2013)

La prueba denominada “Checktest” es al 135% del valor de la manija para activar el disparo del interruptor de acuerdo con normativa. Las ventanas de parámetros de los interruptores determinan el tiempo de activación del mecanismo. Si el mecanismo es activado antes es denominado ligero, si esto sucede después del tiempo establecido, es llamado pesado. El interruptor ligero ocasiona molestia al cliente, pues su activación temprana ocasiona restablecimientos constantes del mecanismo comúnmente llamados “apagones”. El interruptor pesado puede causar un incendio en una casa por la falta de activación del mecanismo en el tiempo establecido. (Schneider Electric, 2014).

### 2.3 Analogía del proceso actual

El interruptor QOT consta de dos polos, cada polo con el mismo número de componentes ensamblados como muestra la figura 10, excepto la quijada, esta pieza comparte los contactos para ambos polos y es donde pasa la corriente en la conexión con el tablero.

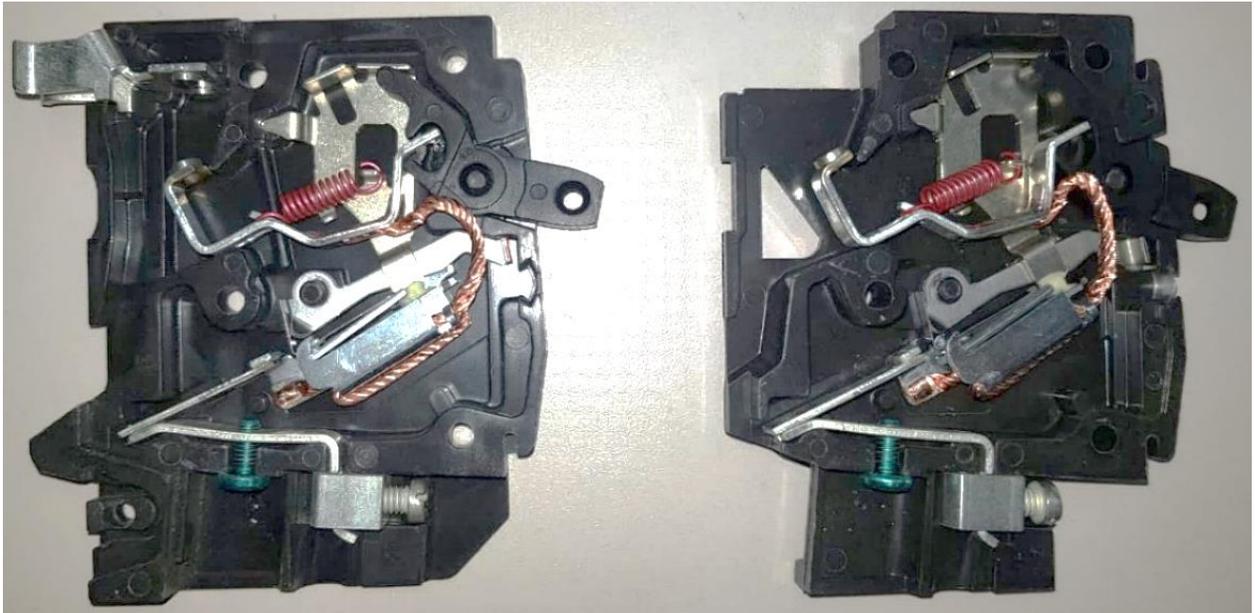


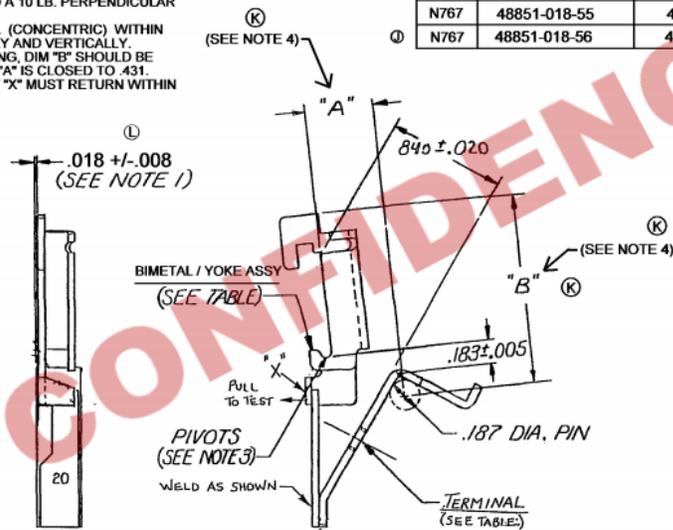
Figura 10 - Izquierda Polo 1, derecha Polo 2. Fuente: elaboración propia.

El proceso de ensamble de los interruptores inicia en el soldado del componente denominado paso de corriente (current path), en este paso es establecida una determinada separación entre el bimetálico y la terminal (T-Gap) con la especificación inicial de  $0.840 \pm 0.020$  pulgadas (punto D), esta separación pasa por control de calidad para asegurar el cumplimiento dentro de los límites de proceso.

El ensamble en soldadura cuenta con la siguiente referencia de plano, figura 11, en la imagen está representado el subensamble del bimetálico, terminal, yugo con los contactos.

## NOTES:

1. THIS DIM. APPLIES OVER ENTIRE YOKE SURFACE.
2. WELD MUST WITHSTAND A 10 LB. PERPENDICULAR PULL ON BIMETAL.
3. PIVOTS TO BE PARALLEL (CONCENTRIC) WITHIN .005 BOTH HORIZONTALLY AND VERTICALLY.
4. FOR INSPECTION GAUGING, DIM "B" SHOULD BE 1.189 +/- .005 WHEN DIA. "A" IS CLOSED TO .431.
5. ANNEALING TEST: POINT "X" MUST RETURN WITHIN .015 AFTER 5 LB. PULL.



| ECN  | PART NUMBER  | BIMETAL/YOKE ASSY | AMPS | TERMINAL     |
|------|--------------|-------------------|------|--------------|
| N767 | 48851-018-53 | 48851-030-50      | 15   | 48851-011-03 |
| N767 | 48851-018-54 | 48851-030-51      | 20   | 48851-011-03 |
| N767 | 48851-018-55 | 48851-030-52      | 30   | 48851-011-04 |
| N767 | 48851-018-56 | 48851-030-54      | 25   | 48851-011-03 |

Figura 11- Plano con parámetros de separación bimetal-terminal. Fuente: (Square D, 1997).

El manejo de este subensamble debe ser tomado en cuenta, pues es colocado en contenedores con capacidad de 200 piezas. El tipo de material, tamaño y diseño, tiempos de ciclo, entre otras cosas, dificultan el manejo de una pieza a la vez. Al llegar a la línea de ensamble, el material sufrió ciertas tensiones y movimientos con posibilidad modificar el "T-Gap".

Los componentes llegan a la línea, algunos definidos como subensambles fabricados en otras áreas de la planta (SE Tijuana) y otros surtidos de almacén adquiridos con proveedores externos. El primer componente en ser ensamblado es el paso de corriente, este es ensamblado de manera manual en la base de cada polo, para después colocar un "lug" en la terminal y el tornillo de ajuste, en este ensamble ocurre el ajuste mecánico denominado pre-ajuste.

El pre-ajuste es apoyado de un desatornillador neumático montado sobre un "fixtura" (De máquinas y herramientas, 2017), diseñada y fabricada internamente para facilitar la operación de ajuste por los operadores, puede apreciarse en la figura 12, donde la imagen representa la herramienta adaptada para el ajuste.



**Figura 12** - Desarmador neumático con Fixtura para el ajuste mecánico. Fuente: elaboración propia.

La activación del desatornillador sucede cuando el operador ejerce presión contra la punta, esto a su vez gira el tornillo de ajuste. Este ajuste no tiene un parámetro de referencia o control físico de medición, por consecuencia, el ajuste es realizado con el criterio o experiencia del operador ensamblando en ese momento.

“Un destornillador es una herramienta manual que sirve para apretar o aflojar tornillos que no requieran de una excesiva fuerza de giro. Está compuesto por varias partes: el mango, que proporciona la zona de agarra; el vástago, que es la parte que une la punta con el mango; la punta, que es el extremo que se introduce en el tornillo. Generalmente, los atornilladores/destornilladores neumáticos tienen husillos hembra en un tamaño hexagonal de 1/4 o 5/16 pulgadas para recibir puntas disponibles comercialmente. Se adaptan a tornillos en tamaños de hasta 1/2 pulgada y la potencia de salida varía de 95 a 750 W, con velocidades de salida de 250 a 5000 rpm. El accionamiento puede ser directo o tener varios tipos de embragues. La repetibilidad del torque determina el tipo de embrague a usar. Cuanto más sofisticado es el embrague, menos es la habilidad requerida por parte del operador para obtener el torque deseado. Estos embragues se dividen en tres categorías: positivo, amortiguador y de cierre, donde el primero es el más simple y menos costoso”. (De máquinas y herramientas, 2017)

“La fixtura utilizada para soporta el diseño de ambos polos fue un diseño interno realizado por el departamento de maquinado en colaboración con ingeniería, buscando la manera más versátil de deslizar el interruptor para su ensamble y ajuste. La fixtura es un dispositivo de sujeción o soporte de trabajo utilizado en la industria manufacturera. Se

utilizan para ubicar de forma segura (posición en una ubicación u orientación específica) y apoyar el trabajo, asegurando que todas las piezas producidas, usando el accesorio, mantendrán la conformidad. El uso mejora la economía de producción al permitir un funcionamiento suave y una transición rápida de una parte a otra, reduciendo el requisito de mano de obra calificada al simplificar la forma en que se montan las piezas de trabajo y aumentando la conformidad en una ejecución de producción”. (Colvin Haas, 1938).

El siguiente paso, después del uso del desarmador neumático, es el ensamble manual de todos los componentes en cada uno de los polos del interruptor termomagnético clásico tipo QOT.

El polo uno y polo dos son unidos después de ensamblar por completo los componentes, (figura 10) la diferencia entre ambos polos es la base también llamada baquelita, posteriormente el interruptor ensamblado es tapado y remachado como último paso en el proceso de ensamble manual. Es importante indicar la existencia de factores en el proceso diferentes al ajuste mecánico, estos factores influyen en la aceptación y funcionamiento; materia prima, maquinaria e incluso medio ambiente tienen un porcentaje de atribución en el resultado de aceptación de interruptores en el proceso de ajuste automático.

El proceso siguiente es el ajuste automático en análoga, la máquina realiza un sorteo después de ajuste para probar por cada polo del interruptor si está dentro de los tiempos de disparo o no.



**Figura 13-** Análoga de QOT. Fuente: elaboración propia.

La máquina denominada análoga, (figura 13) es la máquina integrada por Square D para ajuste y prueba automática de interruptores, la máquina está compuesta por dos procesos, el primero hace la función de ajuste. El interruptor es colocado en una banda transportadora hacia la zona de ajuste automático donde es conectado a un electrodo aplicando corriente a cada uno de los polos, esto calienta el bimetálico con alto amperaje, el interruptor ingresa encendido y posteriormente entra la punta de un desatornillador para realizar el ajuste en el tornillo de ajuste. Debido a la temperatura generada por el paso de corriente, el interruptor puede ser ajustado en un corto periodo de tiempo. (Schneider Electric, 2017).

La segunda estación en la análoga es sorteo, la estación verifica el disparo dentro de los límites de cada interruptor, si el interruptor no lo hace es rechazado, lleva el nombre de sorteo pues acepta o rechaza material. En la estación es aplicada corriente a un 300% del amperaje de la manija para la prueba de verificación. (Schneider Electric, 2017).

La estación de sorteo es donde el estudio pretende comprobar la relación entre la variación del punto de ajuste mecánico, con la posición final del yugo para su desconexión en el tiempo determinado.

## **2.4 Estado del Arte**

El estudio realizado en Schneider Electric, (Lugo Castillo, 2020), para línea de interruptores clásicos denominada HOMB desarrolló un modelo matemático parametrizado de desconexión del interruptor termomagnético. En donde, con una serie de muestras experimentales, el estudio buscó la relación existente entre el punto de ajuste mecánico y las fallas de desconexión durante la aplicación de corriente para la activación del disparo.

La referencia es descrita a continuación:

- Los parámetros de distancia utilizados durante las pruebas fueron: 0.185 pulgadas - 0.220 pulgadas, en donde como resultado hubo detección de rechazos por interruptores pesados debido a la activación temprana del producto. Entre más baja la distancia del interruptor, este tiende a caer “pesado”.

- La variable de magnitud de corriente aplicada fue fijada a 225% equivalente a 78.75 amperes. Esta corriente evaluada a 200% en ambos casos, arroja la siguiente información: al disminuir la corriente, las ventanas de los parámetros incrementan. Este parámetro es establecido antes de meter el interruptor a análoga, donde sucede el proceso de ajuste.
- La tercera variable analizada fue el tiempo de corriente del precalentado, con un tiempo actual de 3.3 - 3.7 segundos. En este experimento fueron evaluados seis tiempos de corriente del precalentado con 200 interruptores. El objetivo fue obtener una gráfica de comportamiento en los interruptores, bajo las variables mencionadas anteriormente, similar a la Figura 14.

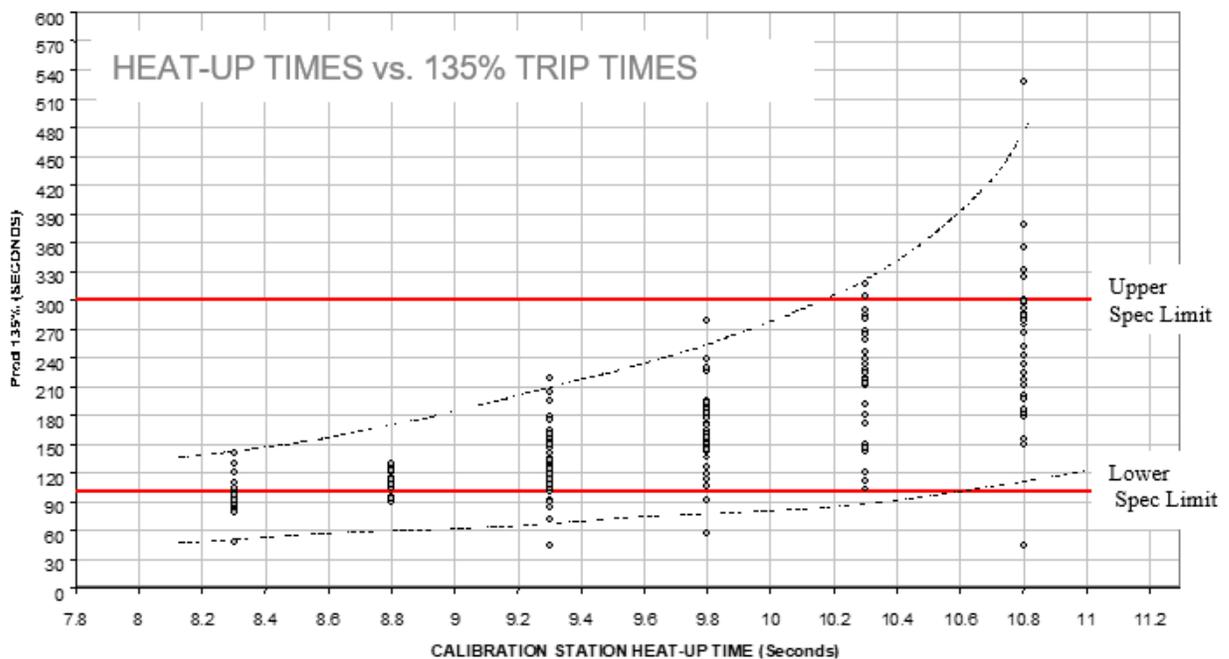


Figura 14 - Tabla de Heat Up. Fuente: (SQUARE D, 2004).

El estudio concluye lo siguiente: “se puede comprobar que el uso de una ecuación de regresión lineal múltiple si tiene un impacto significativo en la mejora de aceptación del interruptor. Así mismo podemos determinar que las variables de Apertura de Bimetal, Temperatura de Medio Ambiente y Tiempo de Corriente Aplicada son variables significativas para poder determinar el tiempo de activación del interruptor.” (Lugo Castillo, 2020).

El estudio de investigación denominado “Control automático de tiempo de precalentamiento en el ajuste de interruptores termomagnéticos”, realizado en Schneider

Electric, menciona “las tres variables dependientes en el proceso de ajuste de los interruptores en la planta de Schneider Electric en Tijuana son:

1. Tiempo de precalentamiento.
2. Temperatura ambiente.
3. Propiedades de los materiales.”

(Romo García, 2020).

El estudio relacionado con la gestión de mantenimiento a interruptores de potencia menciona: “se ha llegado a un consenso general en la importancia del monitoreo de los siguientes elementos: posición del contacto (desplazamiento y velocidad), continuidad de los circuitos de disparos, aislamiento y medio de extinción del arco, desgaste de los contactos basados en el acumulado de interrupciones, tiempos de operación, tiempo de carga del mecanismo, así como otros parámetros”. (Gondres, Lajes y del Castillo, 2016).

Lo anterior afirma la relación de ajuste de “*T-Gap*” y pre-ajuste con los rechazos por pesados y/o ligeros, a ser confirmada en el presente estudio para los interruptores de tipo QOT.

El estudio relacionado con índices de capacidad de proceso hace referencia a factores determinantes para el cálculo de capacidad de un proceso, “para determinar los diferentes índices de capacidad de un proceso, este debe cumplir con dos condiciones esenciales:

1. El proceso debe estar bajo control según explicación detallada contenida en el manual de control de proceso.
2. Los datos se ajustan a una distribución normal”.

(Mosquera-Artamonov, 2014)

### 3. Definición del problema de investigación

#### 3.1 Justificación

El catálogo QOT2020 tiene una aceptación del 78% en los equipos de ajuste, generando costos por concepto de mano de obra, retrabajos, desperdicio y por consecuencia afecta los niveles de servicio al cliente.

Las siguientes tablas hacen referencia a la elección del modelo a estudiar; la Tabla 1 muestra la aceptación promedio y la cantidad mensual de unidades a producir de cada modelo de acuerdo a un pronóstico de demanda, la primer columna indica la familia, la segunda columna indica la cantidad de unidades a producir por mes de cada modelo, la tercer columna indica el porcentaje del volumen respecto al total mensual de la demanda y por último, la cuarta columna indica la aceptación de primer paso expresada en porcentaje para cada modelo.

**Tabla 1** - Aceptaciones y pronóstico por modelos. Fuente: elaboración propia.

| <b>Pronóstico de demanda y Aceptaciones por modelo en unidades para QOT</b> |                         |   |                                  |
|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| <b>Familia</b>  | <b>Cantidad por mes</b> | <b>Porcentaje de volumen respecto al total mensual de demanda</b> | <b>Aceptación de primer paso</b> |
| <b>QO/QOT2020</b>   | 34981                   | 47%   | 82.3%                            |
| <b>QO/QOT1515</b>   | 28709                   | 38%   | 78.0%                            |
| <b>QO/QOT1520</b>   | 3406                    | 5%  | 80.8%                            |
| <b>QO/QOT2030</b>   | 2390                    | 3%  | 72.0%                            |
| <b>QO/QOT1530</b>   | 1545                    | 2%  | 78.2%                            |
| <b>QO/QOT2015</b>   | 1387                    | 2%  | 84.3%                            |
| <b>QO/QOT3030</b>   | 1170                    | 2%  | 67.2%                            |
| <b>QO/QOT3015</b>   | 960                     | 1%  | 58.2%                            |
| <b>QO/QOT3020</b>   | 568                     | 1%  | 68.9%                            |
| <b>Σ Total</b>  | 75115                   | 100%  |                                  |

El análisis de la información y factibilidad del estudio arrojó la selección del modelo QO/QOT1515, por la relación de baja aceptación y volumen mensual.

El equipo de Ingeniería de procesos realizó un análisis causa raíz (Gómez, 2019) en donde detectaron las variables con mayor contribución por baja aceptación para el modelo en cuestión, relacionadas con ajuste, éstas fueron estudiadas y el porcentaje de afectación es mostrado en la tabla 2, la mano de obra resultó ser un fuerte contribuidor en el resultado de salida del proceso obteniendo el primer lugar, seguida por materiales con variación, sin embargo es complejo el controlar esta variación, pues en algunos casos está relacionada con el proceso del proveedor, y por último la maquinaria, un equipo especialista en mantenimiento es el encargado de la solución de problemas en maquinaria relacionada con ajuste y prueba con el objetivo de reducir el ruido en el proceso, sin embargo, aún existen áreas de oportunidad.

**Tabla 2** - Resultado de análisis de factores por aceptación de primer paso. Fuente: elaboración propia.

| <b>Resultado de análisis causa raíz y porcentajes desperdicio por factor que contribuye a la baja aceptación para QO/QOT1515</b> |                                  |
|--|----------------------------------|
| <b>Factor contribuidor por baja aceptación</b>   | <b>Porcentaje de desperdicio</b> |
| <b>Mano de obra</b>  | <b>12%</b>                       |
| <b>Material</b>  | <b>6%</b>                        |
| <b>Maquinaria</b>  | <b>4%</b>                        |
| <b>ΣTotal</b>  | <b>22%</b>                       |

### **Mano de Obra**

El costo por un punto porcentual de pérdida en mano de obra utilizada para fabricar el requerimiento de demanda anual del modelo QO/QOT1515, está dado por la multiplicación de los siguientes factores: cantidad de demanda total anual, valor en horas estándar del modelo y costo de mano de obra por hora trabajada, la estimación es calculada asumiendo una aceptación de primer paso al 100%. El cálculo resultante está representado en la tabla 3.

**Tabla 3** - Valores labor calculados para 2020. Fuente: elaboración propia.

| <b>Estimación de costo total anual por mano de obra utilizada en interruptores QO/QOT1515</b> |                               |  |   |  |
|---|-------------------------------|--|---|--|
| <b>Requerimiento total anual en interruptores QO/QOT1515</b>                                  | <b>Valor de hora estándar</b> | <b>Total de horas estándar anuales</b> | <b>Costo en dólares americanos para mano de obra por hora</b> | <b>Costo total anual por manufactura</b> |
| <b>344505</b>   | <b>0.057</b>                  | <b>19545</b>                           | <b>\$ 3.50</b>  | <b>\$ 68,407</b>                         |

La división el costo total anual en mano de obra entre 100, estima la equivalencia en un punto porcentual en pérdida o incremento de aceptación en \$684.07 dólares americanos anuales, tomando de referencia el total de 12% como la pérdida de aceptación, es posible estimar un ahorro de aproximadamente \$8,200 dólares por año solo por concepto de mano de obra para el modelo QO/QOT1515, incrementando este porcentaje de aceptación inicial del 78%.

### **Retrabajo**

El proceso de recuperación de material rechazado durante el ajuste automático consiste en el movimiento mecánico del tornillo de ajuste mediante un desatornillador manual, es decir, un nuevo ajuste mecánico pero esta vez con el interruptor cerrado. El giro del tornillo de ajuste es hacia la izquierda o a la derecha dependiendo el tiempo de disparo es decir si el interruptor resultó ligero o pesado.

La precisión de este ajuste vuelve a depender del operador, si este ajuste fino no es realizado de manera correcta es posible dañar el mecanismo, resultando en pérdida total de ciertos componentes del interruptor.

Los rechazos también pueden aparecer en la prueba de verificación de tercera pasada, donde por políticas de calidad de la empresa y por la integridad del interruptor, es permitido realizar el ajuste hasta por tres veces. La estimación de pérdida de componentes por retrabajo y rechazo por tercera ocasión está calculada de la siguiente manera: costo de componentes multiplicado por el porcentaje de pérdida por concepto de rechazo, multiplicado por la cantidad de pérdida mensual de interruptores.

La explicación de lo anterior puede verse en la tabla 4, donde es mostrado el costo de los componentes perdidos y la cantidad por interruptor, resultando en un monto total en dólares americanos perdidos por pieza rechazada.

**Tabla 4-** Relación de componentes perdidos por rechazo y mal retrabajo, con costo en dólares americanos por interruptor. Fuente: elaboración propia.

| Costo por componente perdido en un interruptor QO/QOT1515 |                                       |                          |   |
|---|---------------------------------------|--------------------------|---|
| Componente  | Costo por pieza en dólares americanos | Cantidad por interruptor | Costo total de componentes perdidos por interruptor en dólares americanos |
| Base Cubierta   | \$ 0.11                               | 1                        | \$ 0.11   |
| Base  | \$ 0.13                               | 1                        | \$ 0.13   |
| Cubierta  | \$ 0.10                               | 1                        | \$ 0.10   |
| Resorte armadura  | \$ 0.013                              | 2                        | \$ 0.03   |
| Lente   | \$ 0.02                               | 2                        | \$ 0.04   |
| Paso de corriente   | \$ 0.40                               | 2                        | \$ 0.80   |
| Tornillo verde  | \$ 0.005                              | 2                        | \$ 0.01   |
| Remaches  | \$ 0.003                              | 5                        | \$ 0.02   |
| Resorte manija  | \$ 0.01                               | 2                        | \$ 0.02   |
| Armadura  | \$ 0.05                               | 2                        | \$ 0.10   |
|   |                                       | <b>Total</b>             | \$ 1.35   |

La tabla 5 muestra la información de costo multiplicado por el porcentaje de rechazo y el volumen mensual de demanda para interruptores del modelo QO/QOT1515.

**Tabla 5-** Cálculo de costo por componentes perdidos en retrabajo y rechazo en tercera prueba de verificación en ajuste. Fuente: elaboración propia.

| Estimación de costos de pérdida en componentes por rechazos en el volumen mensual de demanda de interruptores QO/QOT1515         |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Volumen de interruptores rechazados mensualmente del modelo QO/QOT1515 por conceptos de mano de obra (aceptación de primer paso) | Porcentaje de rechazo (tercer verificación y mal retrabajo) | Costo total de componentes perdidos por interruptor (dólares americanos) | Costo total mensual por pérdida de componentes (dólares americanos) |
| 3445   | 8%  | \$ 1.35  | \$ 373.22   |

El costo total mensual fue convertido a un monto anual resultando en una pérdida estimada de \$4,478.64 dólares por año, solo para el modelo de estudio, todos los modelos ensamblados en esta área comparten los componentes de esta estimación de pérdida.

El total estimado en pérdida anual por el concepto de rechazos por baja aceptación de primero paso es de \$12,700 dólares americanos, justificación para invertir en estudios de ingeniería para mejorar la aceptación y el proceso de ajuste mecánico.

## 3.2 Planteamiento del problema

El ajuste mecánico es un factor determinante en la correlación de los tiempos de disparo en la prueba de verificación y la falla de desconexión de los interruptores, para los modelos de este caso de estudio, el ajuste es realizado de manera semiautomática y manual con el apoyo de un desatornillador neumático girando el tornillo de ajuste sin un parámetro establecido o control de la distancia entre el bimetálico y la terminal, dejando los criterios de ajuste mecánico a la experiencia del operador, las aceptaciones de primer paso en las pruebas de verificación rondan en el 78%. La pregunta de investigación, hipótesis y objetivos son planteados a continuación.

### 3.2.1 Pregunta de Investigación

La pregunta de investigación fue:

¿La implementación de parámetros y control del proceso manual de ajuste mecánico reduce la falla de desconexión de un interruptor termomagnético clásico QOT?

### 3.2.2 Hipótesis

La hipótesis fue la siguiente:

- Hipótesis Nula:

$H_0$ : El establecer parámetros de ajuste de distancia entre la terminal y bimetálico con un  $C_{pk}$  de proceso mayor a 1.33, no reduce la falla de desconexión en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico.

- Hipótesis Alternativa:

$H_1$ : El establecer parámetros de ajuste de distancia entre la terminal y bimetálico con un  $C_{pk}$  de proceso mayor a 1.33, reduce la falla de desconexión en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico.

### 3.2.3 Objetivos

El objetivo general fue:

Reducir el rechazo de la falla de desconexión al 10% en el interruptor termomagnético clásico tipo QOT.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

1. Reducir el porcentaje de rechazo por falla de desconexión al 10% atribuida a la variación del proceso manual de ajuste mecánico.
2. Definir el ajuste mecánico de la separación de la terminal y bimetálico para correlacionar con parámetros de corriente y tiempos en análoga.
3. Controlar del proceso de ajuste mecánico en el componente bimetálico y terminal para reducir la variación en ese paso.

## 4. Metodología

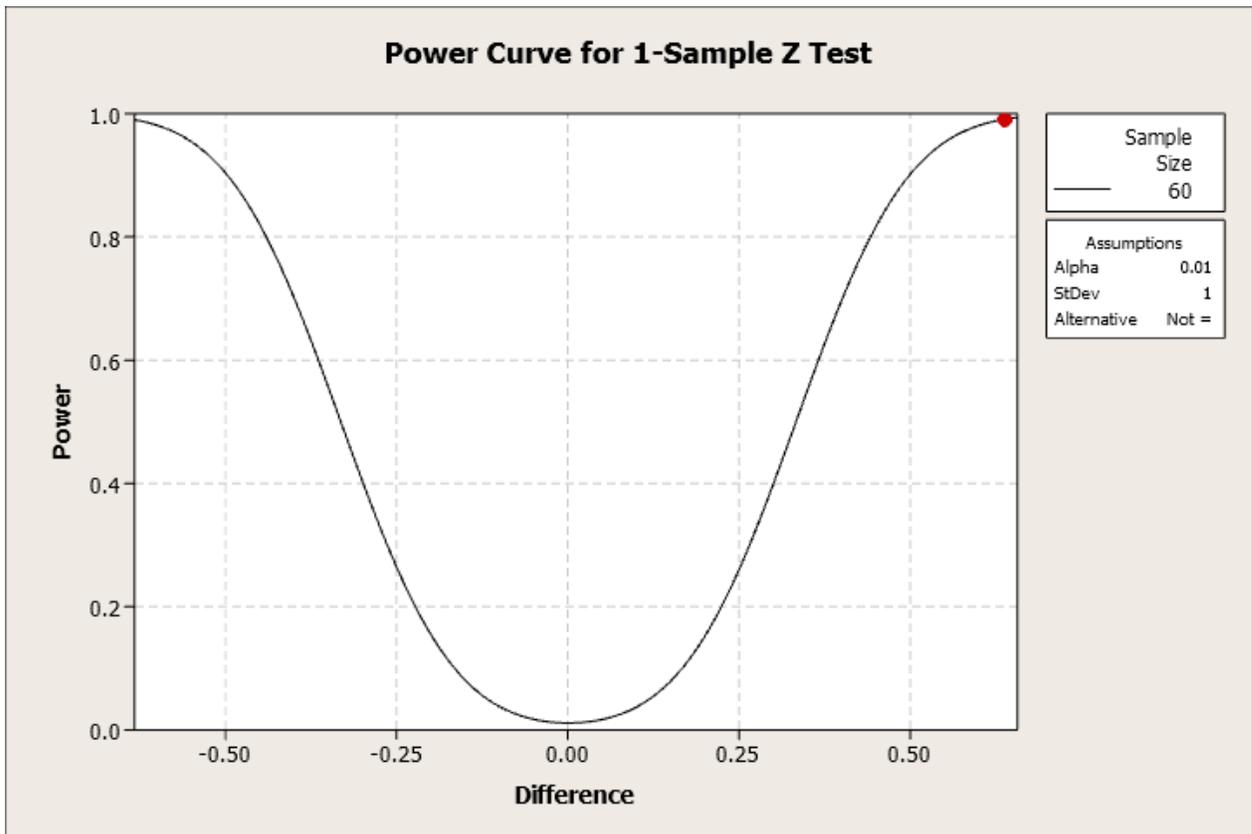
La metodología partió de una investigación documental para la identificación de las herramientas estadísticas y antecedentes adecuados para el análisis de datos del proceso actual y determinación de parámetros de ajuste mecánico, seguida de una investigación de campo y experimental para probar la relación entre un proceso de ajuste mecánico establecido y controlado, y la relación existente entre la reducción de la variación de dicho ajuste con la reducción de la falla de desconexión en la prueba de verificación de tiempos de disparo.

La sección experimental y de campo de esta metodología muestra los pasos realizados para el análisis de la información del proceso actual y propuesta para la mejora partiendo de una línea base.

La población seleccionada para el estudio fue la de interruptores termomagnéticos ensamblados manualmente del modelo QOT perteneciente al área de Tándems, denominada de esa manera por el tipo de producto ensamblado en pares de polos, la célula produce en promedio 3000 interruptores termomagnéticos en el turno de la mañana con un horario de 7:00am a 5:00pm, para el ajuste automático y pruebas de verificación fue utilizada una análoga identificada con el número: CA-2336.

### a. Cálculo de la muestra

El tamaño de muestra para este estudio fue estimado utilizando la prueba t de 1 muestra de las herramientas de potencia y tamaño de la muestra de *Minitab 19*. La prueba t de 1 muestra de las herramientas de Potencia y tamaño de la muestra de Minitab donde es necesario incluir 60 interruptores con una potencia de 99%. La figura 15 muestra el cálculo realizado en Minitab 19.



**Figura 15** - Representación gráfica para tamaño de muestra utilizando la prueba t con herramienta de potencia. Fuente: Minitab 19.

La cantidad de interruptores resultante del cálculo fue ensamblada y ajustada con un desatornillador neumático en condiciones normales, es decir, sin alterar procesos, mano de obra o maquinaria.

#### **b. Recolección de datos del proceso actual y prototipo de medición.**

El proceso de recolección de datos inició con la medición de la distancia entre el bimetálico y la terminal de cada polo de los interruptores ensamblados. Para llevar a cabo las mediciones de los componentes ya ensamblados, fue adaptado un dispositivo integrado con los siguientes componentes:

- Una base maquinada, a partir de una barra plana de metal  $\frac{1}{2}$  pulgada de espesor y 4 pulgadas de ancho, adaptada para cada uno de los polos del interruptor termomagnético de tipo QOT.
- Un indicador de altura de carátula digital de marca comercial *Mitutoyo* modelo 543-405, elegido por su precisión en milésimas de pulgada.

El diseño y fabricación del dispositivo fue realizado para medir la distancia de una de las caras del interruptor con respecto al yugo, con el paso de corriente ensamblado. Este dispositivo integrado y adaptado fue utilizado a manera de prototipo de medición y control. Los interruptores fueron identificados uno por uno con un número consecutivo antes de ser medidos, y así, el dato de cada polo por interruptor fue vaciado a una tabla.

Los interruptores fueron sometidos, posterior al ensamble completo de los componentes, al ajuste automático en la análoga CA-2336 y a la prueba de verificación de tiempos de disparo, los parámetros de referencia de disparo son establecidos por ingeniería de producto, para este tipo de interruptor termomagnético y para el modelo en estudio los límites son de 10 segundos  $\pm$  3 segundos, es decir, el interruptor debe disparar el mecanismo entre los 9 y los 13 segundos en la prueba de verificación.

Los datos de tiempos de disparo fueron recolectados a su vez en la misma tabla con la información de medidas de ajuste mecánico de cada interruptor identificado, el dato de aceptación de primer paso también fue registrado.

### **c. Análisis de situación actual.**

Las mediciones recolectadas fueron sometidas a los siguientes análisis estadísticos utilizando el software Minitab 19:

- Prueba de normalidad utilizando la prueba de *Anderson-Darling* utilizando la ruta de *Estadística y estadística básica*.
- Sumario de gráficos o *Graphical summary* utilizando la ruta de *Estadística y estadística básica*, para conocer los estadísticos básicos tales como media y desviación estándar.

Los análisis y gráficos fueron generados para cada grupo de datos por cada polo de cada interruptor en el estudio. Los datos de medición y tiempo fueron analizados por separado. Con la finalidad de tener una referencia para los límites de proceso, fueron utilizados inicialmente en los cálculos como límite de especificación inferior -0.013 pulgadas, y límite de especificación superior -0.018 pulgadas.

#### d. Cálculo de parámetros propuestos.

El cálculo de los parámetros para el proceso de ajuste mecánico y su control fue realizado utilizando la Ecuación 1 para el cálculo de un intervalo de confianza a partir de la media para una distribución normal:

$$\left[ \bar{X} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

**Ecuación 1-** Estimación de Intervalos de confianza con Media y Desviación estándar calculadas.  
Fuente: (Gutiérrez Pulido, 2012).

en donde:

$\bar{X}$ = Media calculada de la población.

$t_{\alpha/2}$ = Valor calculado a partir de los grados de libertad en la tabla para la distribución  $T$ .

$S$ = Desviación estándar para la población.

$n$ = tamaño de la muestra o población de estudio.

La utilización de la ecuación anterior resultó en un intervalo al 95% de confianza para establecer tanto el límite superior como el límite inferior del proceso de ajuste mecánico y con esto realizar el cálculo del  $C_{pk}$  para la distancia de bimetal y terminal para cada polo en el proceso actual.

La misma ecuación fue utilizada para establecer los límites de proceso en tiempos de disparo durante la prueba de verificación en análogos.

#### e. Ajuste mecánico controlado con parámetros establecidos a partir de la media.

Los parámetros de ajuste mecánico propuestos fueron probados, para esto un nuevo grupo de 60 interruptores fueron ensamblados utilizando las siguientes herramientas a manera de prototipo de control para el ajuste mecánico:

- Un desatornillador manual con punta de cruz.
- Dispositivo adaptado con indicador de carátula digital.

El proceso de ajuste fue realizado de la siguiente manera:

- El polo uno y polo dos por separado, después del ensamble de paso de corriente y “lug”, fue colocado sobre la base, asegurando el acomodo de la parte superior

de la base del interruptor con la base de metal del dispositivo, este ajuste debe ser paralelo entre ambas partes.

- Una vez situado el polo en proceso, la punta del desatornillador manual fue situada sobre el tornillo de ajuste cuidadosamente, dando giros hacia la derecha para realizar el ajuste de la distancia, al mismo tiempo del giro, la distancia de bimetálico y terminal fue medida y visualizada en la carátula del indicador digital.
- El ajuste fue realizado a la media calculada del proceso buscando la menor variación posible, una vez indicada la medida, el operador detenía el giro, si la distancia sobrepasaba los límites de especificación del proceso propuestos el operador daba un giro en sentido contrario para llegar a la medida establecida.

Los interruptores con el nuevo ajuste con parámetros establecidos fueron sometidos de nueva cuenta a medición de cada polo, antes de completarse el ensamble y ser cerrados. Los nuevos datos de medición para la distancia de cada polo fueron registrados en una tabla y los interruptores fueron identificados de nueva cuenta con un número consecutivo para facilitar su análisis.

Los interruptores fueron sometidos a ajuste automático en analógica (CA-2336) y a prueba de verificación de tiempos de disparo para tomar los datos de cada polo y para cada pieza identificada, la aceptación de primer paso en esta prueba también fue registrada para su posterior comparación.

#### **f. Análisis de datos de medición y tiempos de disparo con nuevos parámetros establecidos.**

Las mediciones recolectadas, con el nuevo proceso controlado de ajuste mecánico y tiempos de disparo en prueba de verificación, fueron sometidas a los siguientes análisis estadísticos utilizando el software Minitab 19:

- Prueba de normalidad utilizando la prueba de *Anderson-Darling* utilizando la ruta de *Estadística y estadística básica*.
- Sumario de gráficos o *Graphical summary* utilizando la ruta de *Estadística y estadística básica*, para conocer los estadísticos básicos tales como media y desviación estándar.

- Análisis de capacidad utilizando la ruta *Estadística, herramientas de calidad*, seleccionando *Análisis de capacidad* para una distribución normal, utilizando los estadísticos calculados como desviación estándar, media y límites superior e inferior como referencias.
- Un análisis de capacidad fue graficado y calculado para el proceso anterior, utilizando los límites de confianza propuestos para poder calcular un número de  $C_{pk}$  y realizar comparación entre ambos grupos, esto fue realizado para los datos de medición de ajuste mecánico.

#### **g. Comparación de Resultados.**

La comparación de ambos grupos de datos:

- Interruptores sin parámetros establecidos y sin un control, y los
- Interruptores con parámetros establecidos y controlados,

consistió en comparar el porcentaje de la aceptación de primer paso en la prueba de verificación de desconexión, así como el  $C_{pk}$ , esta comparación fue requerida para aceptar o descartar las hipótesis establecidas.

## 5. Resultados

### 5.1.1 Recolección de datos del proceso actual y prototipo de medición.

Los parámetros de distancia en donde el yugo debe quedar fijo fueron establecidos mediante una referencia de medición del subensamble de paso de corriente ya puesto físicamente en la base del interruptor. Para esto, la medición de la situación actual creó un antecedente para análisis y a partir de los resultados, fue propuesta así, una ventana de ajuste mecánico ideal para la automatización. De acuerdo con el cálculo de la muestra, el requerimiento de ensamble fue de 60 interruptores de 2 polos del modelo QO/QOT1515 ensamblados manualmente, sin modificar ninguna condición de operación.

La utilización de un dispositivo de medición para establecer y conocer el estado de las piezas ensambladas fue un requisito mandatorio. La figura 16 muestra el aspecto físico del dispositivo de medición adaptado. Este dispositivo mide la distancia de la base del interruptor respecto al yugo, apoyado de una base adaptada de metal e integrado con un indicador de carátula digital marca Mitutoyo.

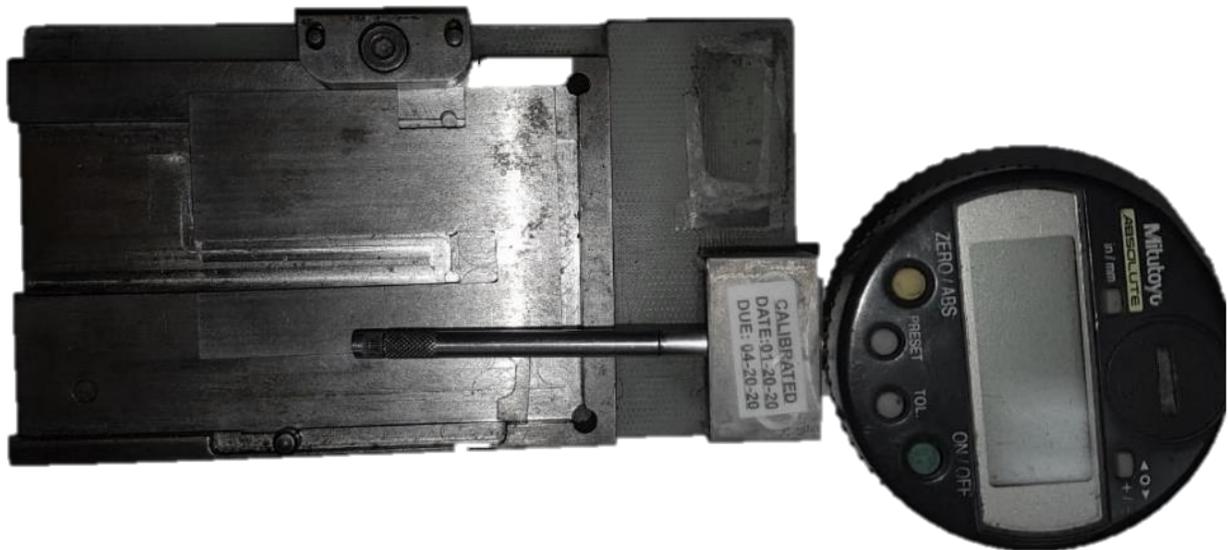
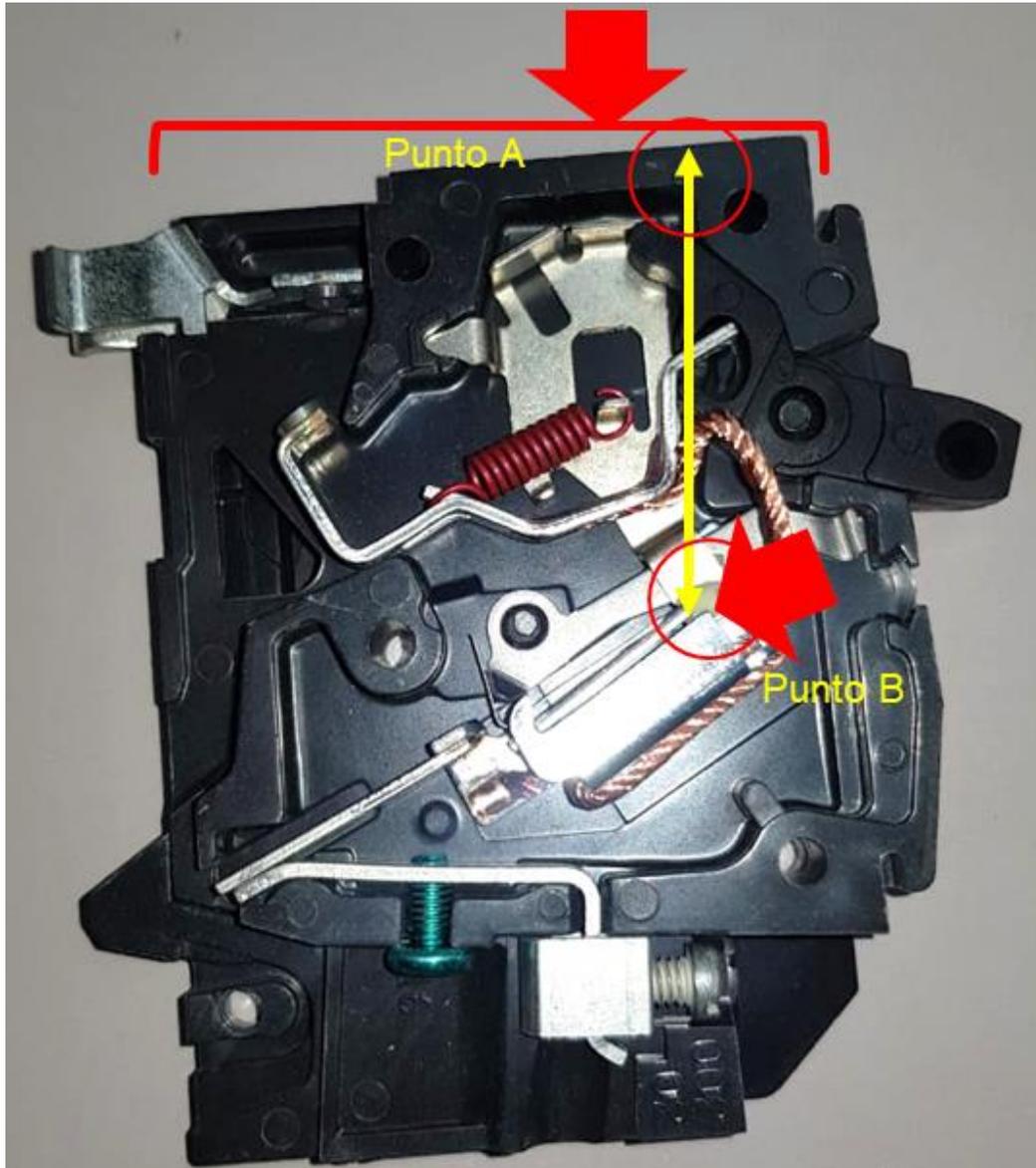


Figura 16- Dispositivo de medición adaptado para QOT. Fuente: elaboración propia.

La medición está dada por la distancia del punto A respecto al punto B, llamaremos “punto A” a la base superior del interruptor y “punto B” a la esquina superior del yugo. El dispositivo debió ser adaptado para polo 1 y polo 2 entre una medición y otra.

En la figura 17 puede apreciarse la relación de punto A respecto a punto B mediante la señalización de un interruptor de tipo QOT.



**Figura 10-** Referencias de medición de componentes ensamblados en interruptores QOT. Fuente: elaboración propia.

El análisis de los datos inicio con la medición de cada uno de los 60 interruptores identificados con un número. Los resultados de medición para el proceso actual para cada polo están referidos en la tabla 6. El total de datos para el estudio resultó en 120 mediciones para análisis.

**Tabla 6** - Resultados de medición del proceso actual con identificación por pieza. Fuente: elaboración propia.

| Número e Identificación del interruptor | Medición (Polo 1)                                   |  | Medición (Polo 2)                                   |  |
|---|---|--|---|--|
|   | Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas |  | Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas |  |
| 1                                       | 0.01382   |  | 0.01076   |  |
| 2                                       | 0.01532   |  | 0.01224   |  |
| 3                                       | 0.01024   |  | 0.01584   |  |
| 4                                       | 0.01321   |  | 0.01655   |  |
| 5                                       | 0.01758   |  | 0.01117   |  |
| 6                                       | 0.01230   |  | 0.01334   |  |
| 7                                       | 0.01758   |  | 0.01622   |  |
| 8                                       | 0.01555   |  | 0.01746   |  |
| 9                                       | 0.01326   |  | 0.01088   |  |
| 10                                      | 0.01530   |  | 0.01356   |  |
| 11                                      | 0.01421   |  | 0.01665   |  |
| 12                                      | 0.01549   |  | 0.01231   |  |
| 13                                      | 0.01612   |  | 0.01744   |  |
| 14                                      | 0.01490   |  | 0.01464   |  |
| 15                                      | 0.01511   |  | 0.01779   |  |
| 16                                      | 0.01741   |  | 0.01493   |  |
| 17                                      | 0.01429   |  | 0.01456   |  |
| 18                                      | 0.01256   |  | 0.01533   |  |
| 19                                      | 0.01557   |  | 0.01994   |  |
| 20                                      | 0.01380   |  | 0.01609   |  |
| 21                                      | 0.01363   |  | 0.01318   |  |
| 22                                      | 0.01778   |  | 0.01556   |  |
| 23                                      | 0.01198   |  | 0.01520   |  |
| 24                                      | 0.01325   |  | 0.01707   |  |
| 25                                      | 0.01363   |  | 0.01851   |  |
| 26                                      | 0.01024   |  | 0.01669   |  |
| 27                                      | 0.01758   |  | 0.01549   |  |
| 28                                      | 0.01382   |  | 0.01289   |  |
| 29                                      | 0.01555   |  | 0.01155   |  |
| 30                                      | 0.01613   |  | 0.01259   |  |
| 31                                      | 0.01745   |  | 0.01481   |  |
| 32                                      | 0.01946   |  | 0.01567   |  |
| 33                                      | 0.01557   |  | 0.01581   |  |
| 34                                      | 0.01484   |  | 0.01746   |  |
| 35                                      | 0.01653   |  | 0.01719   |  |
| 36                                      | 0.01311   |  | 0.01663   |  |
| 37                                      | 0.01846   |  | 0.01487   |  |
| 38                                      | 0.01276   |  | 0.01584   |  |
| 39                                      | 0.01793   |  | 0.01304   |  |
| 40                                      | 0.01459   |  | 0.01379   |  |
| 41                                      | 0.01542   |  | 0.01310   |  |
| 42                                      | 0.01752   |  | 0.01380   |  |
| 43                                      | 0.01372   |  | 0.01347   |  |
| 44                                      | 0.01707   |  | 0.01700   |  |
| 45                                      | 0.01879   |  | 0.01712   |  |
| 46                                      | 0.01684   |  | 0.01632   |  |
| 47                                      | 0.01301   |  | 0.01490   |  |
| 48                                      | 0.01352   |  | 0.01408   |  |
| 49                                      | 0.01208   |  | 0.01572   |  |
| 50                                      | 0.01291   |  | 0.01519   |  |
| 51                                      | 0.02149   |  | 0.01783   |  |
| 52                                      | 0.01456   |  | 0.01962   |  |
| 53                                      | 0.01247   |  | 0.01694   |  |
| 54                                      | 0.01790   |  | 0.01782   |  |
| 55                                      | 0.01955   |  | 0.01681   |  |
| 56                                      | 0.01795   |  | 0.01770   |  |
| 57                                      | 0.01699   |  | 0.01383   |  |
| 58                                      | 0.01682   |  | 0.01578   |  |
| 59                                      | 0.01214   |  | 0.01630   |  |
| 60                                      | 0.01636   |  | 0.01622   |  |

El siguiente paso en el análisis fue someter los interruptores al proceso de calibración automática, con el fin de conocer los tiempos de disparo en el proceso de sorteo (2da estación). Los tiempos de disparo del interruptor son establecidos por ingeniería de acuerdo con el diseño y el valor de amperaje en la manija. Para el proceso en estudio los tiempos de disparo son los siguientes: 9 – 13 segundos. Esta ventana de tiempo es la referencia para conocer si el interruptor es ligero o pesado, para este estudio la ventana de tiempo no fue modificada.

Los interruptores fueron colocados uno por uno en análoga CA-2336 para controlar y, al mismo tiempo, poder identificar el tiempo en segundos de disparo para cada polo, esta información fue registrada para su análisis en la tabla 7.

**Tabla 7** - Relación de interruptor por ajuste mecánico sin establecer y tiempo de disparo en sorteo para polo 1 y polo 2. Fuente: elaboración propia.

| Número e identificación del interruptor | Medición (Polo 1)                                   |  | Medición (Polo 2)                                   |  |
|---|---|--|---|--|
|   | Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas | Tiempo de disparo en estación de sorteo en segundos (Polo 1) | Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas | Tiempo de disparo en estación de sorteo en segundos (Polo 2) |
| 1                                       | 0.01382   | 10.6   | 0.01076   | 8.0  |
| 2                                       | 0.01532   | 12.9   | 0.01224   | 11.7   |
| 3                                       | 0.01024   | 7.9  | 0.01584   | 12.8   |
| 4                                       | 0.01321   | 9.9  | 0.01655   | 10.2   |
| 5                                       | 0.01758   | 9.7  | 0.01117   | 7.6  |
| 6                                       | 0.01230   | 10.0   | 0.01334   | 9.1  |
| 7                                       | 0.01758   | 12.8   | 0.01622   | 9.5  |
| 8                                       | 0.01555   | 8.0  | 0.01746   | 12.5   |
| 9                                       | 0.01326   | 10.2   | 0.01088   | 8.5  |
| 10                                      | 0.01530   | 12.4   | 0.01356   | 10.7   |
| 11                                      | 0.01421   | 10.0   | 0.01665   | 11.8   |
| 12                                      | 0.01549   | 14.3   | 0.01231   | 12.2   |
| 13                                      | 0.01612   | 11.1   | 0.01744   | 10.9   |
| 14                                      | 0.01490   | 10.8   | 0.01464   | 9.3  |
| 15                                      | 0.01511   | 12.5   | 0.01779   | 11.2   |
| 16                                      | 0.01741   | 12.4   | 0.01493   | 11.8   |
| 17                                      | 0.01429   | 9.8  | 0.01456   | 10.8   |
| 18                                      | 0.01256   | 13.2   | 0.01533   | 10.5   |
| 19                                      | 0.01557   | 11.7   | 0.01994   | 14.7   |
| 20                                      | 0.01380   | 9.2  | 0.01609   | 10.0   |
| 21                                      | 0.01363   | 10.1   | 0.01318   | 10.6   |
| 22                                      | 0.01778   | 10.9   | 0.01556   | 9.1  |
| 23                                      | 0.01198   | 12.5   | 0.01520   | 12.7   |
| 24                                      | 0.01325   | 10.8   | 0.01707   | 9.8  |
| 25                                      | 0.01363   | 11.8   | 0.01851   | 12.5   |
| 26                                      | 0.01024   | 8.5  | 0.01669   | 9.5  |
| 27                                      | 0.01758   | 12.5   | 0.01549   | 10.6   |
| 28                                      | 0.01382   | 11.1   | 0.01289   | 10.5   |
| 29                                      | 0.01555   | 10.1   | 0.01155   | 12.3   |
| 30                                      | 0.01613   | 12.9   | 0.01259   | 11.7   |
| 31                                      | 0.01745   | 9.8  | 0.01481   | 9.5  |
| 32                                      | 0.01946   | 14.5   | 0.01567   | 9.1  |
| 33                                      | 0.01557   | 10.4   | 0.01581   | 9.2  |
| 34                                      | 0.01484   | 12.4   | 0.01746   | 12.5   |
| 35                                      | 0.01653   | 10.3   | 0.01719   | 12.9   |
| 36                                      | 0.01311   | 9.4  | 0.01663   | 10.6   |
| 37                                      | 0.01846   | 13.5   | 0.01487   | 12.7   |
| 38                                      | 0.01276   | 11.0   | 0.01584   | 11.5   |
| 39                                      | 0.01793   | 11.0   | 0.01304   | 9.4  |
| 40                                      | 0.01459   | 8.5  | 0.01379   | 9.9  |
| 41                                      | 0.01542   | 10.8   | 0.01310   | 10.6   |
| 42                                      | 0.01752   | 10.8   | 0.01380   | 9.7  |
| 43                                      | 0.01372   | 9.8  | 0.01347   | 9.4  |
| 44                                      | 0.01707   | 12.8   | 0.01700   | 10.8   |
| 45                                      | 0.01879   | 11.6   | 0.01712   | 9.5  |
| 46                                      | 0.01684   | 10.3   | 0.01632   | 11.8   |
| 47                                      | 0.01301   | 12.1   | 0.01490   | 8.4  |
| 48                                      | 0.01352   | 12.2   | 0.01408   | 10.5   |
| 49                                      | 0.01208   | 12.8   | 0.01572   | 11.6   |
| 50                                      | 0.01291   | 12.0   | 0.01519   | 10.9   |
| 51                                      | 0.02149   | 16.5   | 0.01783   | 11.9   |
| 52                                      | 0.01456   | 10.8   | 0.01962   | 14.9   |
| 53                                      | 0.01247   | 12.7   | 0.01694   | 9.9  |
| 54                                      | 0.01790   | 12.4   | 0.01782   | 8.9  |
| 55                                      | 0.01955   | 12.2   | 0.01681   | 12.6   |
| 56                                      | 0.01795   | 10.6   | 0.01770   | 11.1   |
| 57                                      | 0.01699   | 9.4  | 0.01383   | 10.3   |
| 58                                      | 0.01682   | 12.1   | 0.01578   | 9.9  |
| 59                                      | 0.01214   | 11.7   | 0.01630   | 8.1  |
| 60                                      | 0.01636   | 14.8   | 0.01622   | 10.7   |

### 5.1.2 Análisis de situación actual.

Las mediciones fueron sometidas a un análisis estadístico utilizando el programa Minitab 19. El primer análisis fue una prueba de normalidad, la figura 18 muestra una distribución normal de los datos de medición del polo 1 para la situación actual, de acuerdo con el valor  $P$  de 0.392 mayor al error estándar establecido de 0.05.

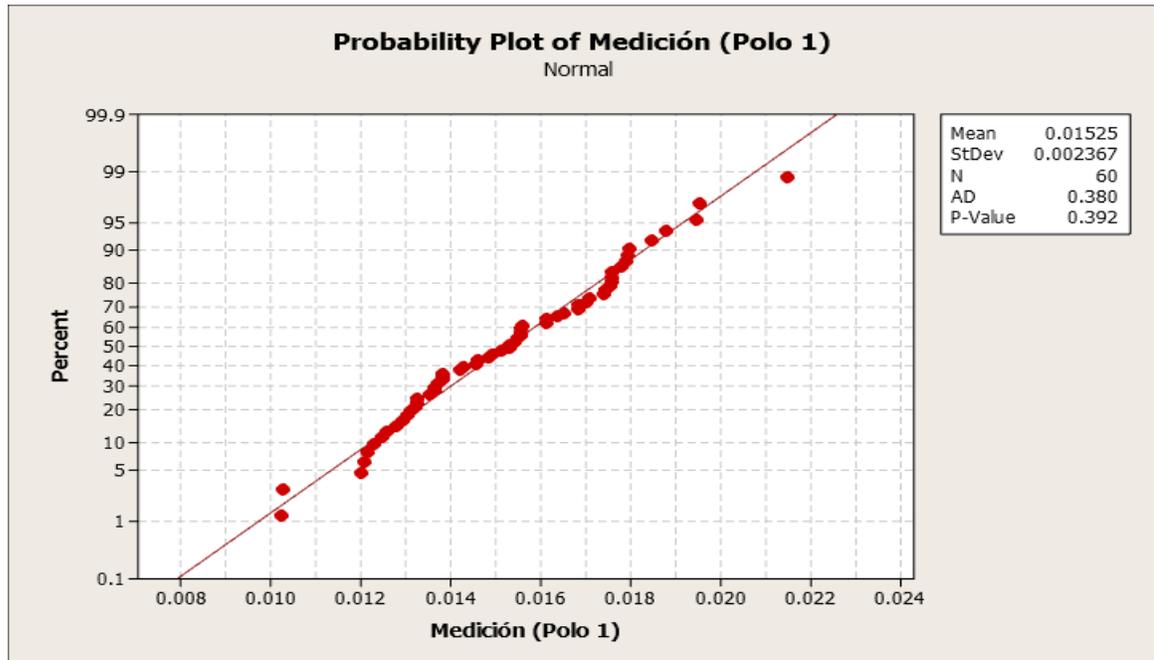


Figura 18- Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 1, línea base. Fuente: elaboración propia.

Los datos del polo 2 son mostrados en la figura 19, en donde el valor  $P$  es de 0.281, por lo tanto, los datos de medición del polo 2 son normales.

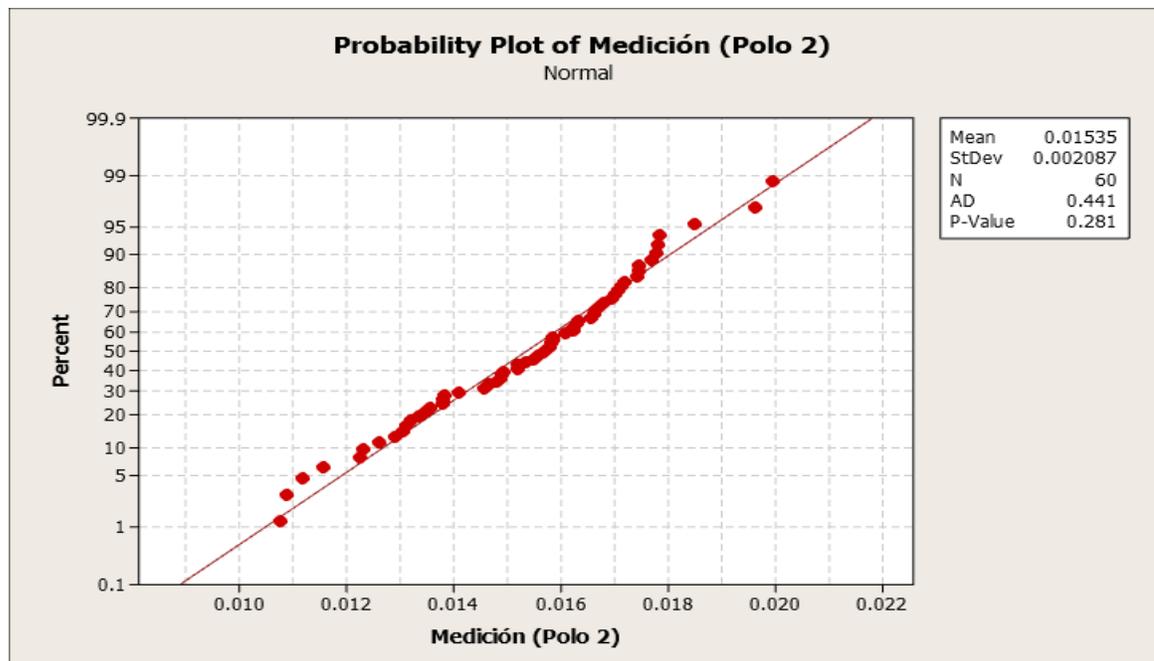


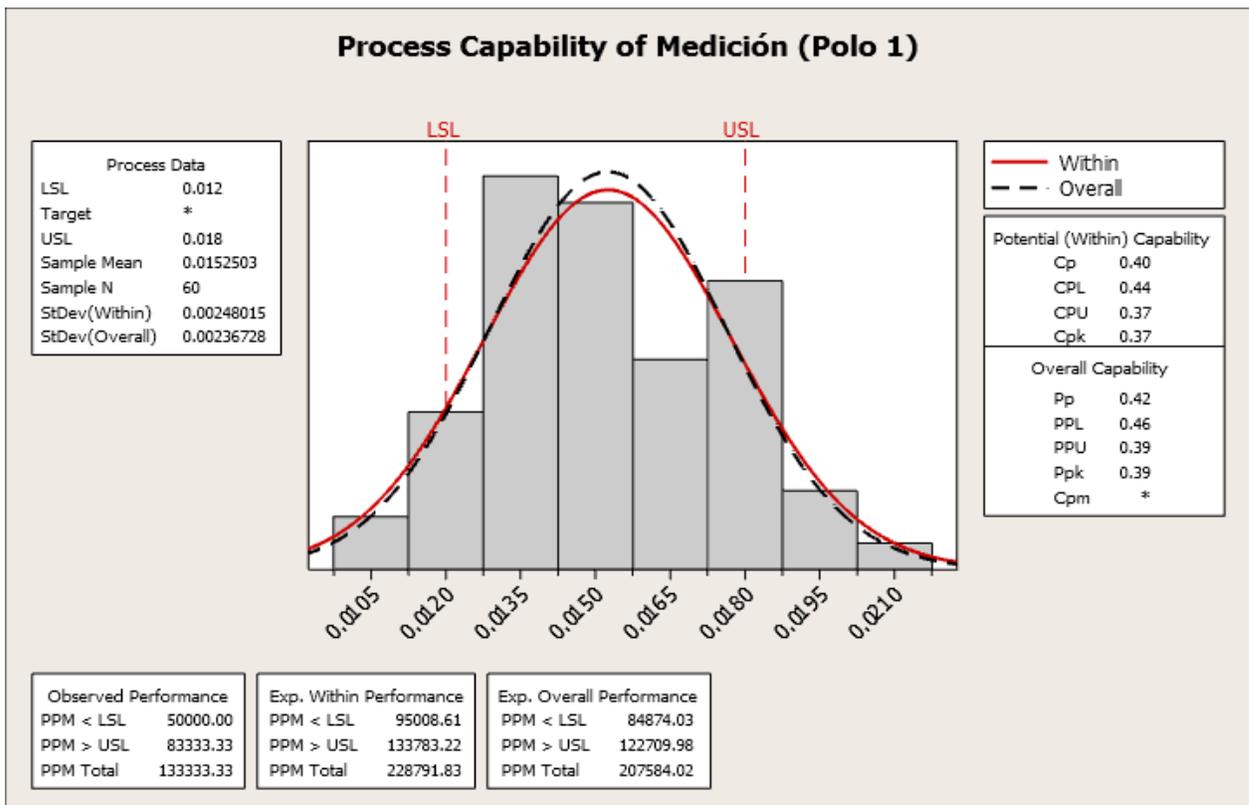
Figura 19- Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 2, línea base. Fuente: elaboración propia.

Los datos de mediciones de las piezas ajustadas manualmente fueron sometidas a un análisis de capacidad para conocer la línea base de estudio.

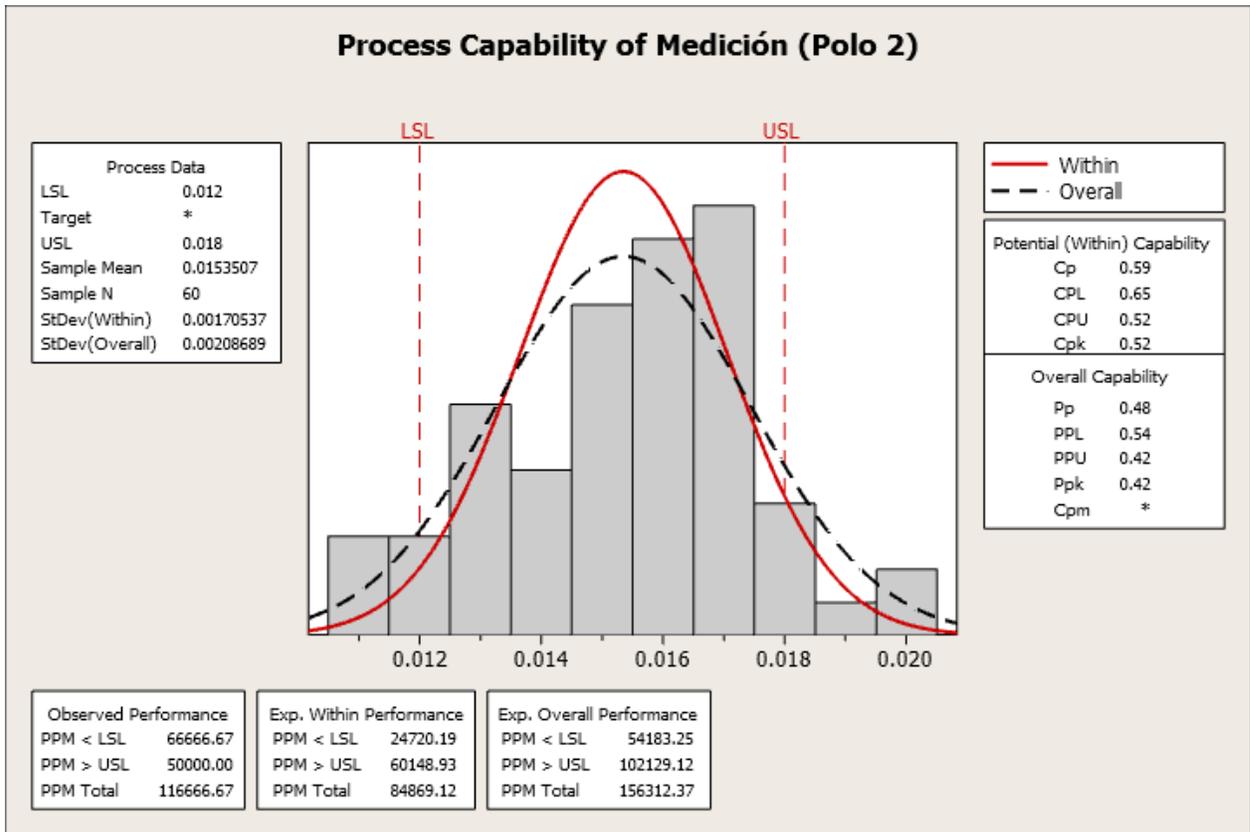
El proceso de ajuste mecánico no tenía, en el momento de estudio, una especificación de distancia. Para efectos de referencia en los cálculos y gráficos generados en Minitab 19, fueron tomados los límites superior e inferior utilizados en un catálogo con características similares llamado *HOMT*, los límites utilizados de altura de punta A respecto al punto B para referencia fueron  $0.015 \pm 0.003$  pulgadas, a partir del análisis de estos datos y los resultados, los parámetros fueron establecidos.

La figura 20 muestra el análisis de capacidad para el proceso de ajuste mecánico manual. El  $C_{pk}$  resultó en 0.37 para el polo 1, representando una capacidad baja de repetibilidad. Las mediciones del ajuste mecánico del polo 2 también fueron analizadas, resultando con  $C_{pk}$  de 0.52, esta información puede apreciarse en la figura 21. Para este cálculo fueron utilizados como límites de especificación los calculados en el análisis de dispersión de datos.

Cualquier proceso realizado de manera manual tiende a tener variación natural, pues de un operador a otro e incluso de un momento del día a otro, el método presenta variación.



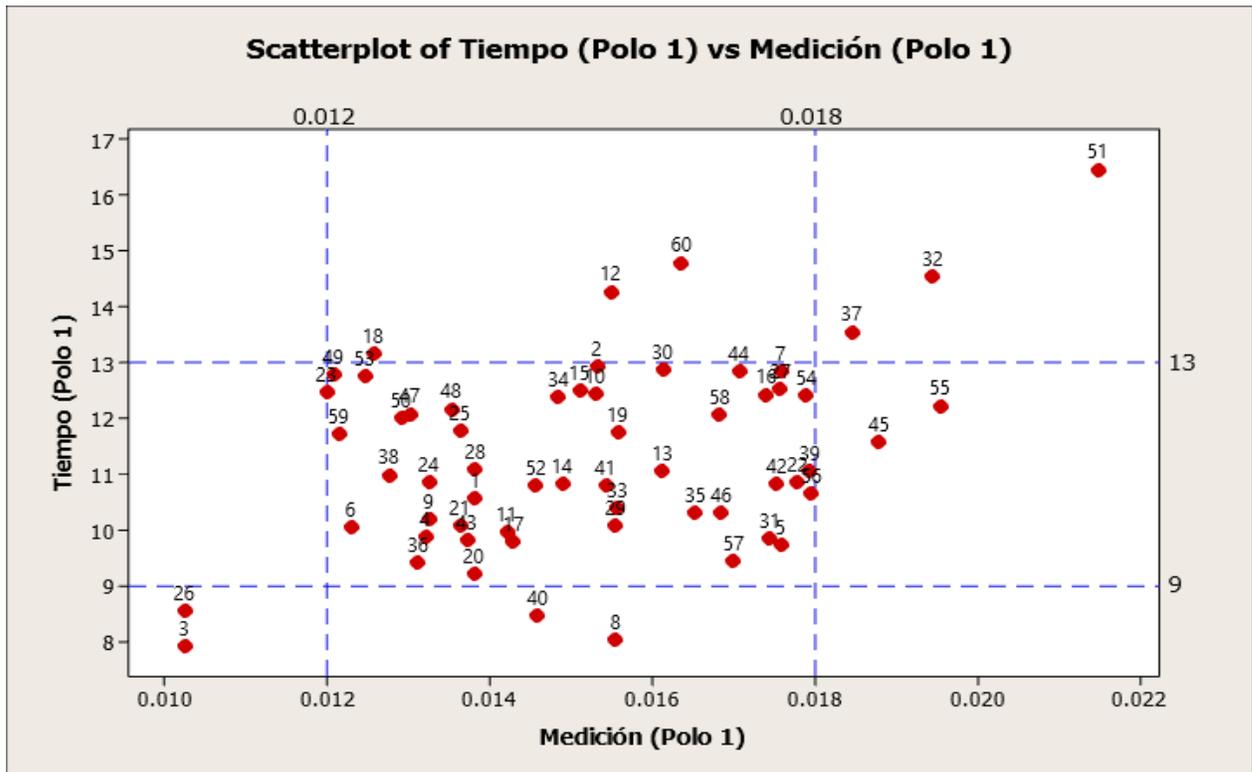
**Figura 20** - Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 1. Fuente: elaboración propia.



**Figura 21** -Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 2. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente etapa del estudio, el análisis estadístico fue una gráfica de dispersión por cada polo para conocer la concentración de datos de acuerdo con el ajuste mecánico realizado y el tiempo de disparo, como muestra en la figura 22, donde puede ser observada la dispersión de los datos.

El análisis proporciona una referencia para conocer el lado y distancia para el ajuste mecánico convertido para el estudio en la posición del yugo.

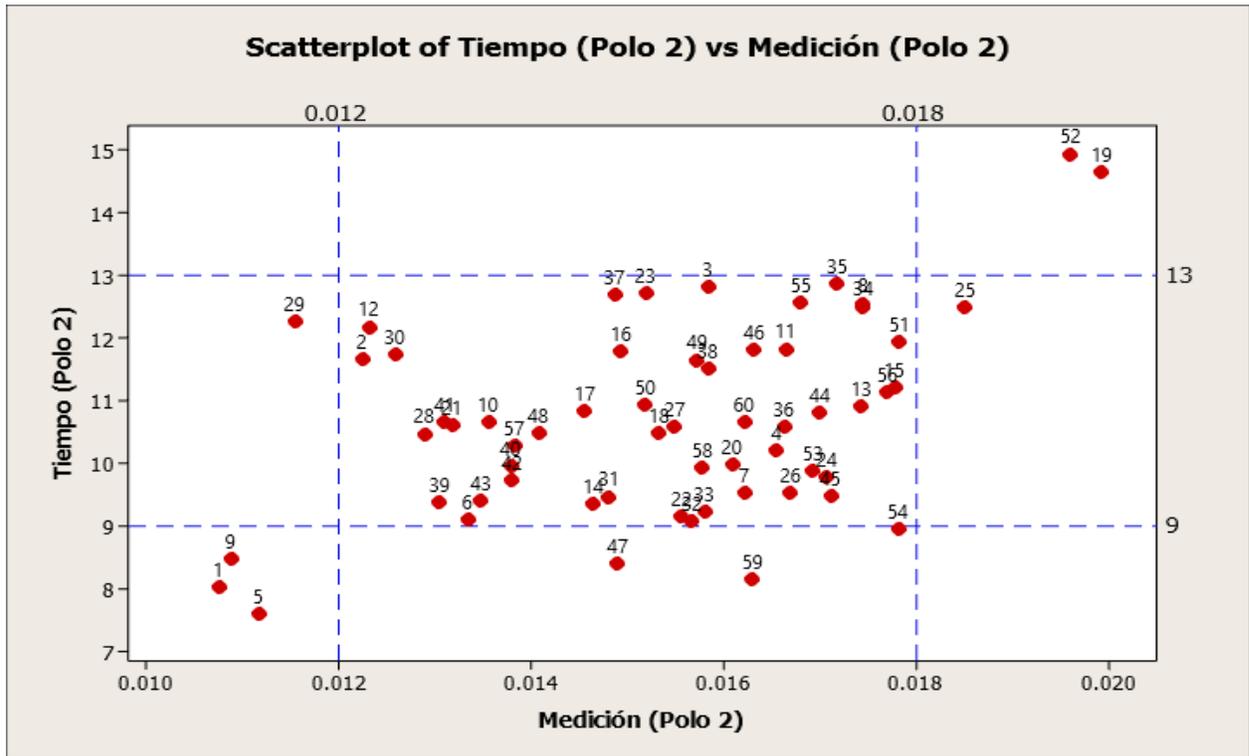


**Figura 22-** Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico del proceso actual con los tiempos de disparo en sorteo para el polo 1. Fuente: elaboración propia.

En la figura 22 de dispersión, los datos aceptables caen en el área de entre 0.012 y 0.018 pulgadas de ajuste mecánico correspondiente a un 78% de los datos.

La condición anormal en donde los interruptores con la identificación 12, 18 y 60, con mediciones dentro de 0.012 y 0.018 pulgadas, no pasaron la prueba de verificación de primer paso, debió aplicarse la prueba de "Checktest" al 135%, en esta prueba los interruptores 18 y 60 fueron aceptados como buenos, pues el mecanismo pudo activarse en los límites establecidos, el interruptor identificado con el número 12 debió abrirse y analizarse para descartar anomalías, el análisis arrojó una desviación física en el subensamble del paso de corriente provocando un atoramiento en el mecanismo, por lo tanto el fallo de desconexión fue por material.

El polo 2 presentó un comportamiento distinto en cuanto a la aceptación de primer paso, resultando en un 86% para el estudio, sin embargo, al ser un interruptor de 2 polos, la aceptación de primer paso más baja en cualquiera de los dos polos debe ser tomada en cuenta. La figura 23 muestra de manera gráfica el comportamiento de los interruptores respecto al ajuste medido y el tiempo de desconexión.



**Figura 23** - Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico del proceso actual con los tiempos de disparo en sorteo para el polo 2. Fuente: elaboración propia.

Para ambos casos, polo 1 y polo 2, el grueso de la población de interruptores disparados dentro de la ventana de tiempo de ingeniería cae en una región de la gráfica similar.

### 5.1.3 Cálculo de parámetros propuestos.

La parametrización de ajuste mecánico utilizó como referencia la línea base de proceso actual, tanto para el polo 1 como para el polo 2 del interruptor. Los parámetros para ambos polos fueron establecidos utilizando la ecuación 2 para estimación de intervalos de confianza.

$$\left[ 0.015 - 1.96 \frac{0.002}{\sqrt{60}}, 0.015 + 1.96 \frac{0.002}{\sqrt{60}} \right] = [0.014, 0.016]$$

**Ecuación 2**- Estimación de Intervalos de confianza con Media y Desviación estándar calculadas.  
Fuente: elaboración propia.

en donde:

$$\bar{X} = 0.015 \text{ pulgadas.}$$

$$t_{\alpha/2} = 1.96$$

$$S = 0.002$$

$$n = 60$$

#### 5.1.4 Ajuste mecánico controlado con parámetros establecidos a partir de la media.

El proceso de ensamble para los interruptores con los nuevos parámetros de ajuste de mecánico fue realizado de manera cuidadosa, fueron ensamblados 60 interruptores, siendo un total de 120 datos para analizar. Cada uno de los interruptores fue ajustado utilizando el dispositivo de medición para tener la referencia visual y numérica y un desatornillador manual para mayor precisión, la imagen de este dispositivo puede verse en la figura 24.

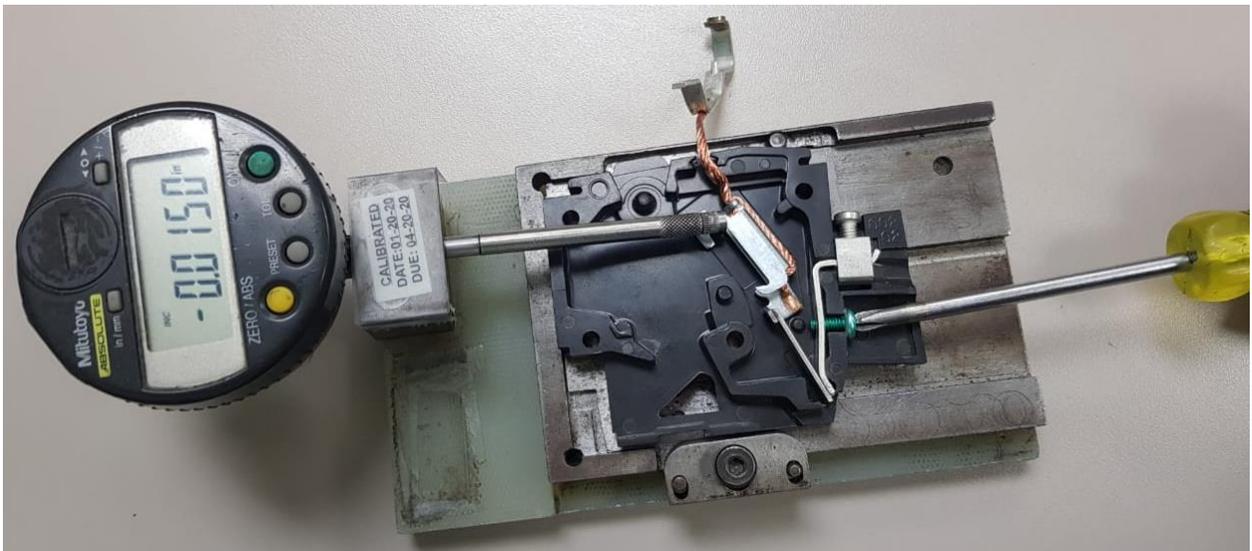


Figura 24 - Ajuste mecánico con dispositivo de medición. Fuente: elaboración propia.

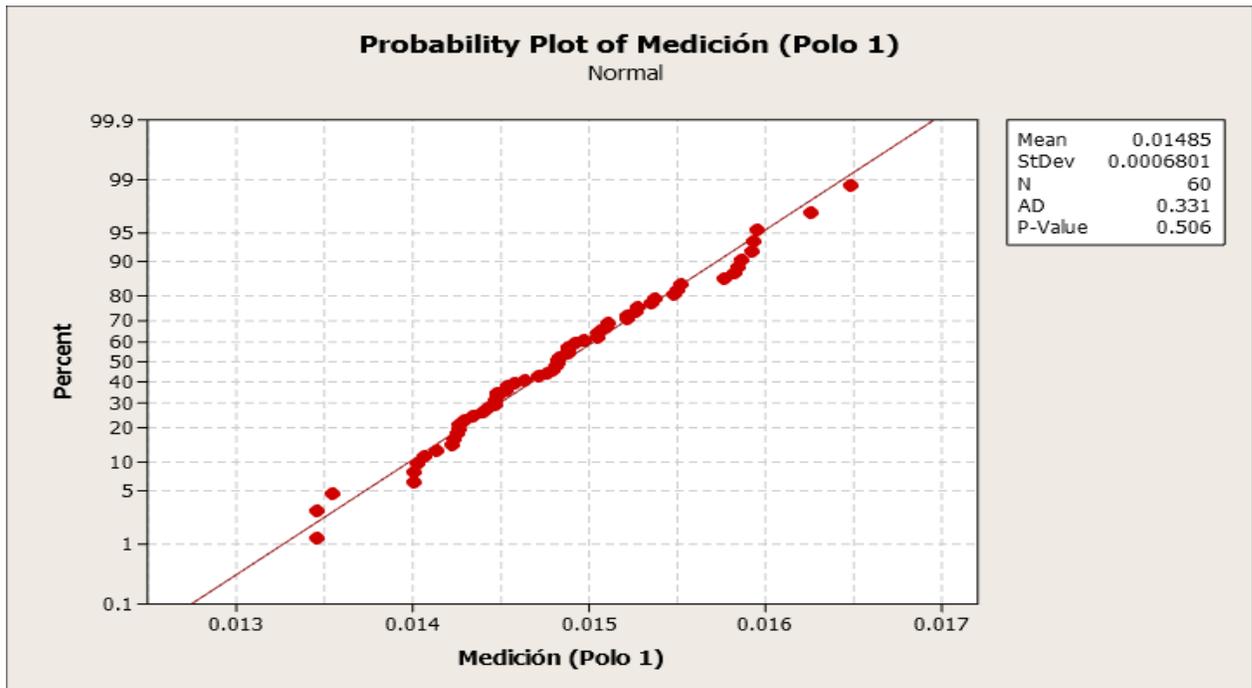
La medición de los 60 interruptores con los nuevos parámetros establecidos fue realizada posterior al ajuste, y los datos capturados pueden verse en la tabla 8. A simple vista la variación es menor, sin embargo, los datos fueron analizados para obtener más información de comportamiento.

**Tabla 8** - Resultados de medición del proceso con ajuste propuesto, incluyendo identificación por pieza. Fuente: elaboración propia.

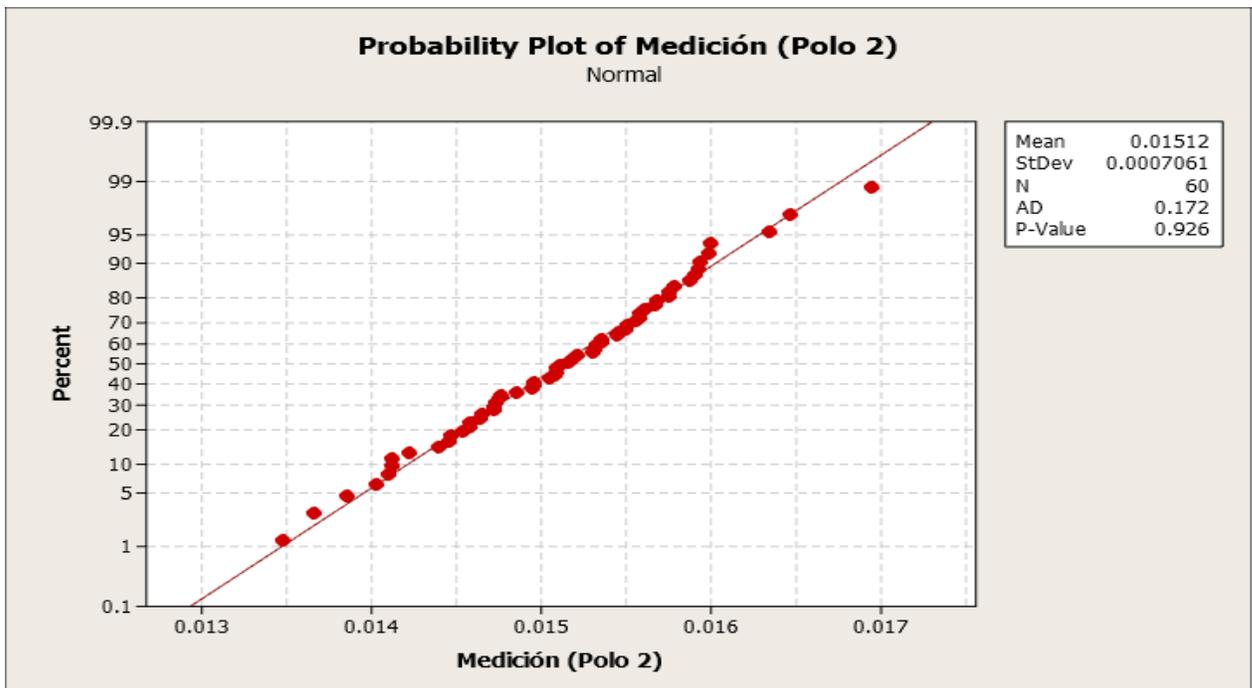
| Número e Identificación del interruptor | Medición (Polo 1)                                   |         | Medición (Polo 2)                                   |  |
|---|---|---------|---|--|
|   | Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas |         | Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas |  |
| 1                                       | 0.01463   | 0.01510 |   |  |
| 2                                       | 0.01593   | 0.01365 |   |  |
| 3                                       | 0.01482   | 0.01472 |   |  |
| 4                                       | 0.01354   | 0.01472 |   |  |
| 5                                       | 0.01550   | 0.01518 |   |  |
| 6                                       | 0.01454   | 0.01550 |   |  |
| 7                                       | 0.01434   | 0.01516 |   |  |
| 8                                       | 0.01510   | 0.01505 |   |  |
| 9                                       | 0.01492   | 0.01494 |   |  |
| 10                                      | 0.01584   | 0.01546 |   |  |
| 11                                      | 0.01582   | 0.01457 |   |  |
| 12                                      | 0.01526   | 0.01464 |   |  |
| 13                                      | 0.01577   | 0.01592 |   |  |
| 14                                      | 0.01440   | 0.01475 |   |  |
| 15                                      | 0.01346   | 0.01535 |   |  |
| 16                                      | 0.01527   | 0.01411 |   |  |
| 17                                      | 0.01423   | 0.01599 |   |  |
| 18                                      | 0.01401   | 0.01385 |   |  |
| 19                                      | 0.01507   | 0.01568 |   |  |
| 20                                      | 0.01488   | 0.01445 |   |  |
| 21                                      | 0.01488   | 0.01578 |   |  |
| 22                                      | 0.01413   | 0.01402 |   |  |
| 23                                      | 0.01346   | 0.01530 |   |  |
| 24                                      | 0.01505   | 0.01575 |   |  |
| 25                                      | 0.01426   | 0.01695 |   |  |
| 26                                      | 0.01552   | 0.01457 |   |  |
| 27                                      | 0.01429   | 0.01531 |   |  |
| 28                                      | 0.01511   | 0.01587 |   |  |
| 29                                      | 0.01447   | 0.01575 |   |  |
| 30                                      | 0.01479   | 0.01465 |   |  |
| 31                                      | 0.01457   | 0.01557 |   |  |
| 32                                      | 0.01548   | 0.01567 |   |  |
| 33                                      | 0.01497   | 0.01508 |   |  |
| 34                                      | 0.01521   | 0.01410 |   |  |
| 35                                      | 0.01471   | 0.01495 |   |  |
| 36                                      | 0.01482   | 0.01647 |   |  |
| 37                                      | 0.01505   | 0.01509 |   |  |
| 38                                      | 0.01447   | 0.01422 |   |  |
| 39                                      | 0.01401   | 0.01495 |   |  |
| 40                                      | 0.01536   | 0.01520 |   |  |
| 41                                      | 0.01625   | 0.01439 |   |  |
| 42                                      | 0.01593   | 0.01476 |   |  |
| 43                                      | 0.01402   | 0.01535 |   |  |
| 44                                      | 0.01521   | 0.01555 |   |  |
| 45                                      | 0.01596   | 0.01446 |   |  |
| 46                                      | 0.01443   | 0.01485 |   |  |
| 47                                      | 0.01426   | 0.01591 |   |  |
| 48                                      | 0.01649   | 0.01635 |   |  |
| 49                                      | 0.01488   | 0.01550 |   |  |
| 50                                      | 0.01447   | 0.01593 |   |  |
| 51                                      | 0.01538   | 0.01453 |   |  |
| 52                                      | 0.01425   | 0.01509 |   |  |
| 53                                      | 0.01476   | 0.01532 |   |  |
| 54                                      | 0.01447   | 0.01544 |   |  |
| 55                                      | 0.01586   | 0.01347 |   |  |
| 56                                      | 0.01481   | 0.01558 |   |  |
| 57                                      | 0.01483   | 0.01411 |   |  |
| 58                                      | 0.01422   | 0.01599 |   |  |
| 59                                      | 0.01452   | 0.01472 |   |  |
| 60                                      | 0.01406   | 0.01561 |   |  |

### 5.1.5 Análisis de datos de medición y tiempos de disparo con nuevos parámetros establecidos.

Los datos de medición de ajuste mecánico resultaron ser normales, tanto para el polo 1 como para el polo 2, los estadísticos pueden observarse en la figura 25 para el polo 1 y en la figura 26 para el polo 2.



**Figura 25-** Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 1, parámetros propuestos. Fuente: elaboración propia.

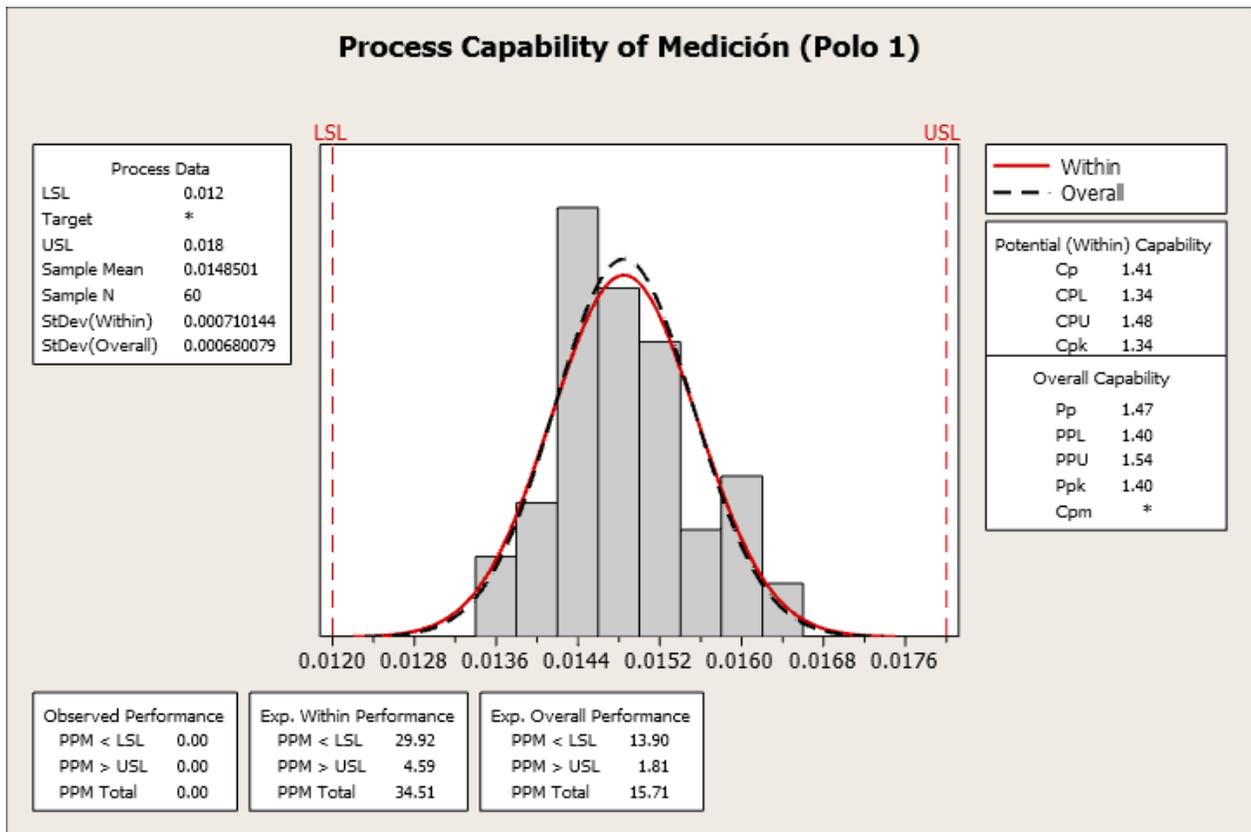


**Figura 26 -** Prueba de normalidad para datos de medición del Polo 2, parámetros propuestos. Fuente: elaboración propia.

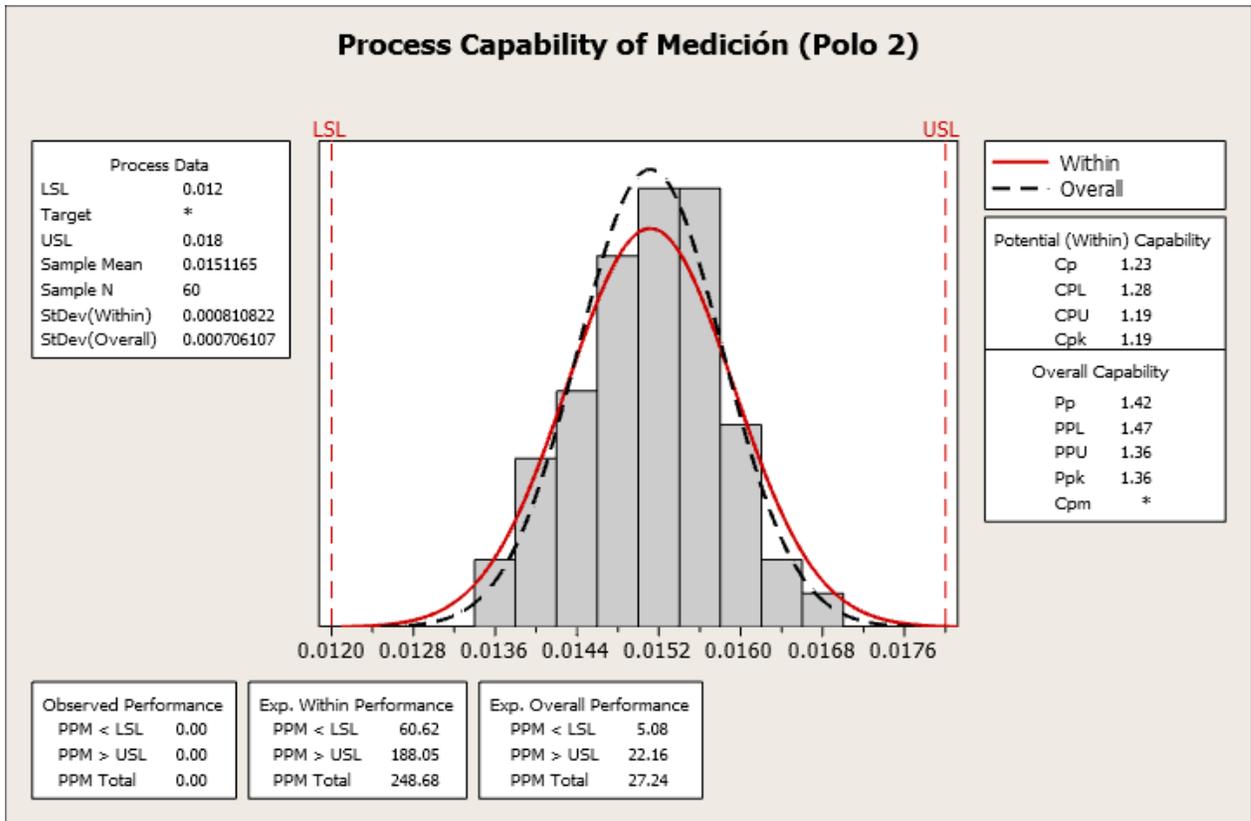
El siguiente dato para calcular fue el  $C_{pk}$ , aunque a simple vista los datos presentan una variación reducida, a pasar de seguir siendo un proceso manual, es importante agregar el dato del tiempo de ajuste mecánico, pues al ser realizado de manera manual y precisa el tiempo incrementa en comparación con el proceso de ajuste utilizando un desatornillador neumático.

La figura 27 muestra el análisis de capacidad de los datos de medición del polo 1 con la precisión inducida por un dispositivo de medición. El  $C_{pk}$  resultante fue de 1.34 mayor al proceso anterior con el desatornillador neumático.

El estudio estadístico en el polo 2, indicó un  $C_{pk}$  de 1.19, a pesar de ser más bajo comparado con el polo 1, es más alto en comparación con el resultante del proceso sin parámetros visuales. La representación gráfica de la explicación anterior puede verse en la figura 28.



**Figura 27** - Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 1 con medidas definidas. Fuente: elaboración propia con Minitab 19.

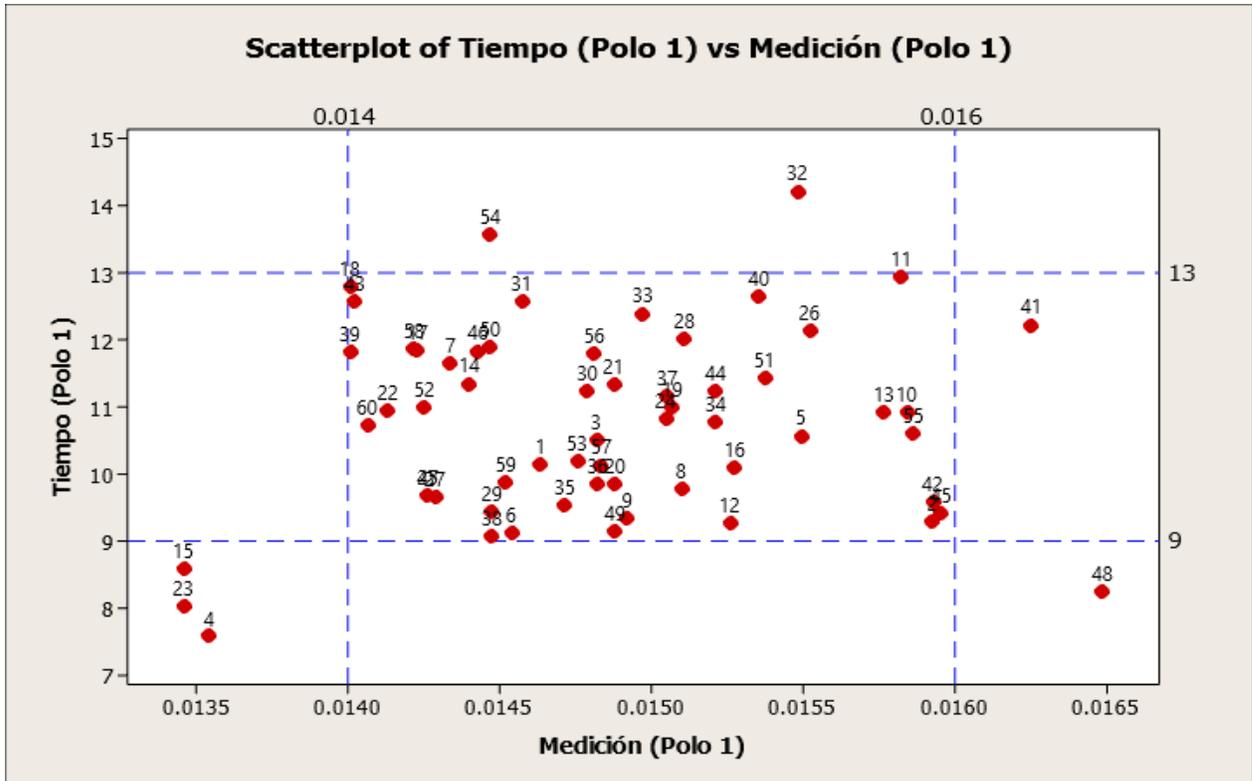


**Figura 28** - Análisis de capacidad de proceso para ajuste mecánico en polo 2 con medidas definidas. Fuente: elaboración propia.

**Tabla 9** - Relación de interruptor por ajuste mecánico establecido y tiempo de disparo en sorteo para polo 1 y polo 2. Fuente: elaboración propia.

| Número e Identificación del interruptor | Medición (Polo 1)<br>Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas | Tiempo de disparo en estación de sorteo en segundos (Polo 1) | Medición (Polo 2)<br>Distancia de Punto A respecto a Punto B en pulgadas | Tiempo de disparo en estación de sorteo en segundos (Polo 2) |
|---|--|--|--|--|
| 1                                       | 0.01463  | 10.1   | 0.01510  | 12.3   |
| 2                                       | 0.01593  | 9.3  | 0.01365  | 8.1  |
| 3                                       | 0.01482  | 10.5   | 0.01472  | 10.9   |
| 4                                       | 0.01354  | 7.6  | 0.01472  | 12.2   |
| 5                                       | 0.01550  | 10.6   | 0.01518  | 11.0   |
| 6                                       | 0.01454  | 9.1  | 0.01550  | 11.5   |
| 7                                       | 0.01434  | 11.6   | 0.01516  | 11.5   |
| 8                                       | 0.01510  | 9.8  | 0.01505  | 12.6   |
| 9                                       | 0.01492  | 9.3  | 0.01494  | 12.8   |
| 10                                      | 0.01584  | 10.9   | 0.01546  | 14.5   |
| 11                                      | 0.01582  | 12.9   | 0.01457  | 12.6   |
| 12                                      | 0.01526  | 9.2  | 0.01464  | 11.0   |
| 13                                      | 0.01577  | 10.9   | 0.01592  | 11.3   |
| 14                                      | 0.01440  | 11.3   | 0.01475  | 11.5   |
| 15                                      | 0.01346  | 8.6  | 0.01535  | 11.1   |
| 16                                      | 0.01527  | 10.1   | 0.01411  | 10.6   |
| 17                                      | 0.01423  | 11.8   | 0.01599  | 9.7  |
| 18                                      | 0.01401  | 12.8   | 0.01385  | 7.8  |
| 19                                      | 0.01507  | 11.0   | 0.01568  | 11.7   |
| 20                                      | 0.01488  | 9.8  | 0.01445  | 12.1   |
| 21                                      | 0.01488  | 11.3   | 0.01578  | 9.6  |
| 22                                      | 0.01413  | 10.9   | 0.01402  | 12.3   |
| 23                                      | 0.01346  | 8.0  | 0.01530  | 11.1   |
| 24                                      | 0.01505  | 10.8   | 0.01575  | 9.7  |
| 25                                      | 0.01426  | 9.7  | 0.01695  | 10.5   |
| 26                                      | 0.01552  | 12.1   | 0.01457  | 11.0   |
| 27                                      | 0.01429  | 9.7  | 0.01531  | 12.3   |
| 28                                      | 0.01511  | 12.0   | 0.01587  | 10.8   |
| 29                                      | 0.01447  | 9.4  | 0.01575  | 12.9   |
| 30                                      | 0.01479  | 11.2   | 0.01465  | 12.3   |
| 31                                      | 0.01457  | 12.6   | 0.01557  | 11.9   |
| 32                                      | 0.01548  | 14.2   | 0.01567  | 9.1  |
| 33                                      | 0.01497  | 12.4   | 0.01508  | 12.4   |
| 34                                      | 0.01521  | 10.8   | 0.01410  | 10.3   |
| 35                                      | 0.01471  | 9.5  | 0.01495  | 10.3   |
| 36                                      | 0.01482  | 9.8  | 0.01647  | 13.5   |
| 37                                      | 0.01505  | 11.1   | 0.01509  | 9.6  |
| 38                                      | 0.01447  | 9.1  | 0.01422  | 12.7   |
| 39                                      | 0.01401  | 11.8   | 0.01495  | 10.4   |
| 40                                      | 0.01536  | 12.6   | 0.01520  | 13.0   |
| 41                                      | 0.01625  | 12.2   | 0.01439  | 10.7   |
| 42                                      | 0.01593  | 9.6  | 0.01476  | 12.4   |
| 43                                      | 0.01402  | 12.6   | 0.01535  | 9.6  |
| 44                                      | 0.01521  | 11.2   | 0.01555  | 10.3   |
| 45                                      | 0.01596  | 9.4  | 0.01446  | 12.6   |
| 46                                      | 0.01443  | 11.8   | 0.01485  | 11.3   |
| 47                                      | 0.01426  | 9.7  | 0.01591  | 11.1   |
| 48                                      | 0.01649  | 8.2  | 0.01635  | 14.5   |
| 49                                      | 0.01488  | 9.1  | 0.01550  | 9.3  |
| 50                                      | 0.01447  | 11.9   | 0.01593  | 10.8   |
| 51                                      | 0.01538  | 11.4   | 0.01453  | 11.8   |
| 52                                      | 0.01425  | 11.0   | 0.01509  | 10.2   |
| 53                                      | 0.01476  | 10.2   | 0.01532  | 12.7   |
| 54                                      | 0.01447  | 13.6   | 0.01544  | 10.9   |
| 55                                      | 0.01586  | 10.6   | 0.01347  | 14.5   |
| 56                                      | 0.01481  | 11.8   | 0.01558  | 10.1   |
| 57                                      | 0.01483  | 10.1   | 0.01411  | 11.9   |
| 58                                      | 0.01422  | 11.9   | 0.01599  | 12.4   |
| 59                                      | 0.01452  | 9.9  | 0.01472  | 10.6   |
| 60                                      | 0.01406  | 10.7   | 0.01561  | 9.9  |

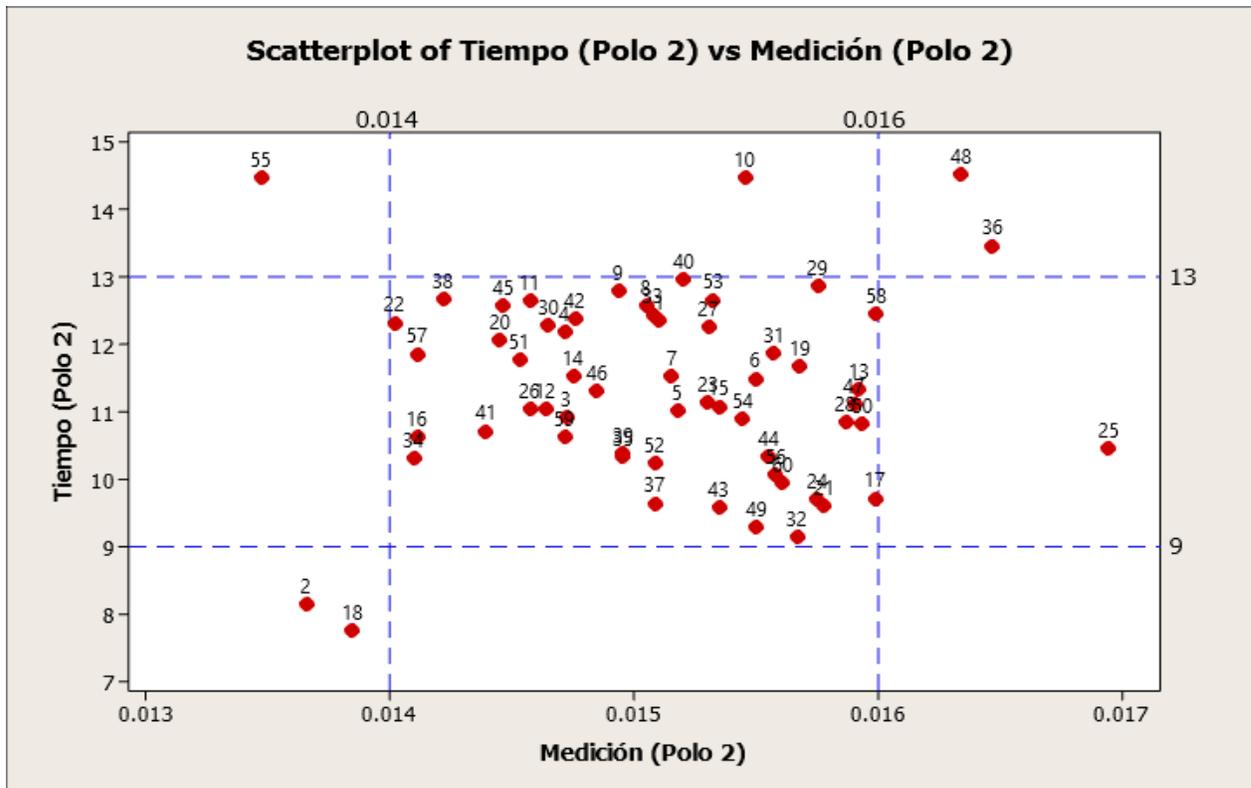
El análisis de dispersión mediante una gráfica por cada polo también fue realizado para conocer la relación entre medidas y tiempos de disparo con este ajuste. La información resultante puede ser apreciada en la figura 29 para el polo 1.



**Figura 29** - Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico con parámetros establecidos con tiempos de disparo en sorteo para el polo 1. Fuente: elaboración propia.

El análisis muestra una aceptación de primer paso del 90%, aun así, algunas piezas con este mismo ajuste no pasaron la prueba de verificación en la estación de sorteo a la primera vez.

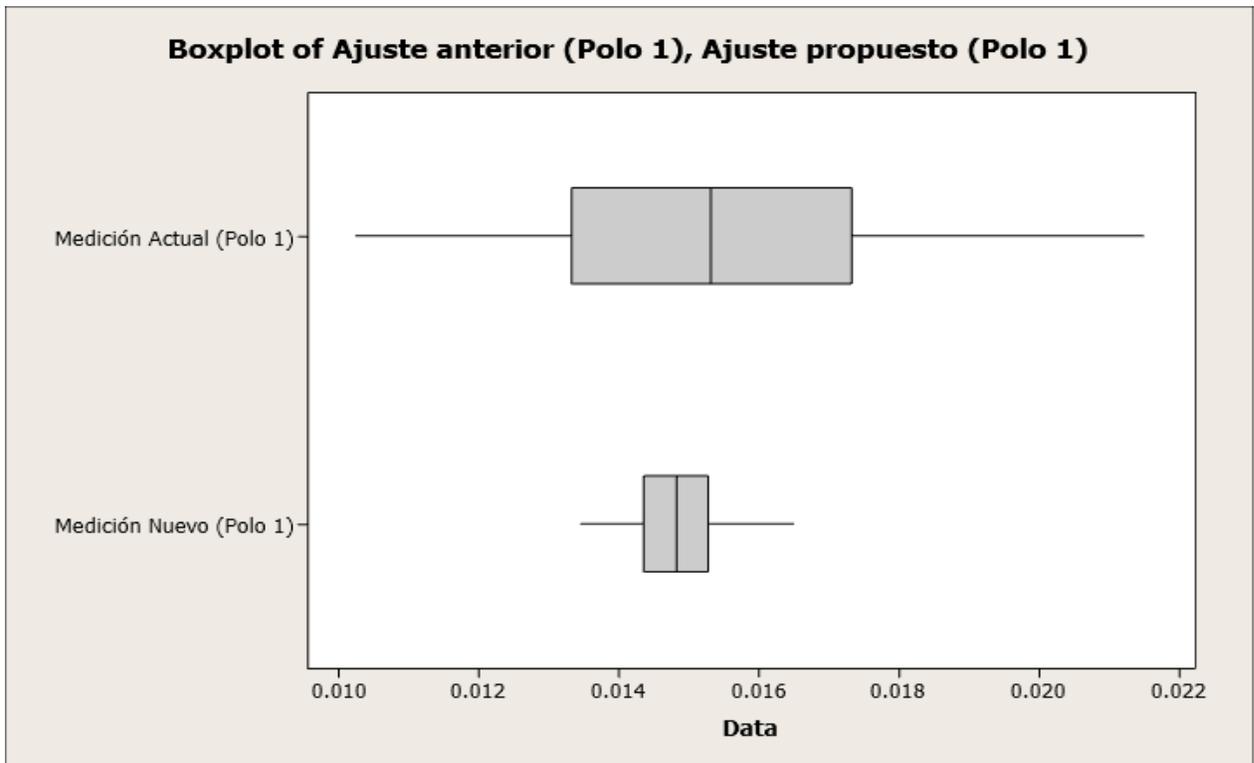
Los interruptores identificados con los números 54 y 32, fueron sometidos a una segunda prueba de verificación al 135% de corriente respecto al valor de la manija, solo el interruptor identificado con el número 54 fue aceptable, el 32 fue rechazado.



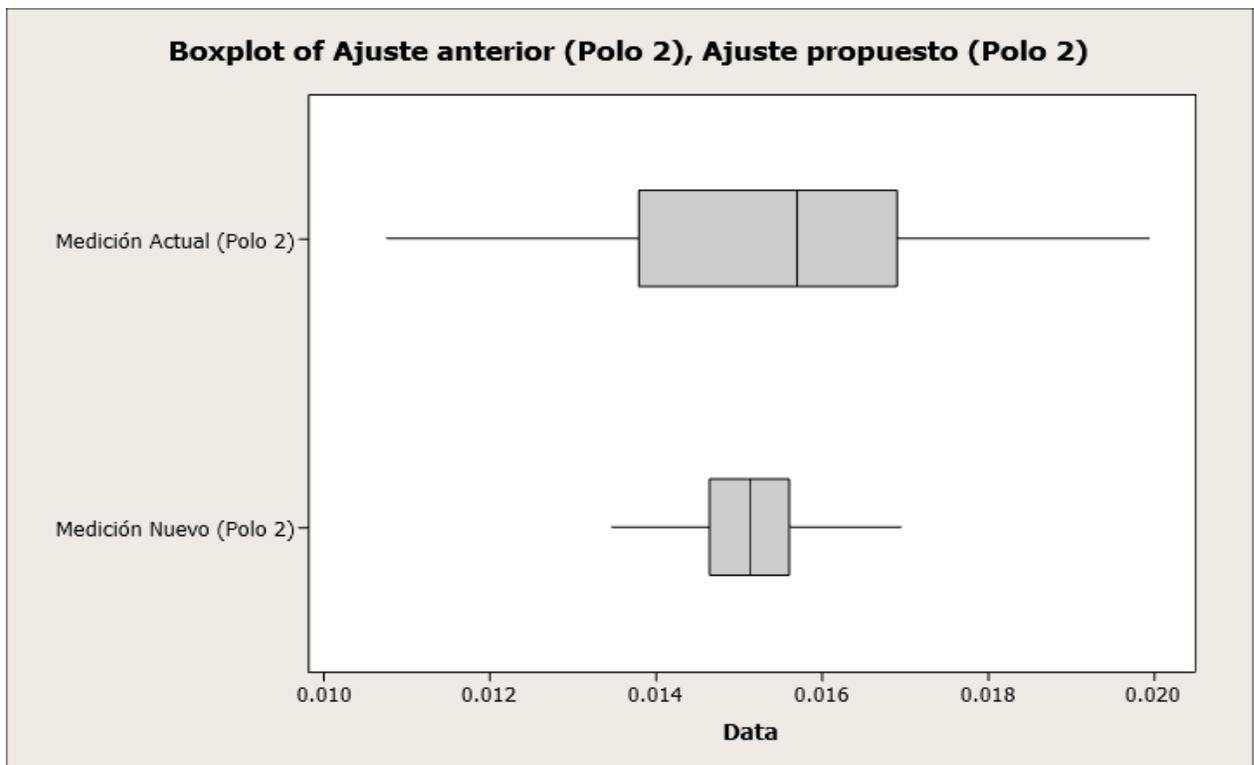
**Figura 30** - Dispersión de datos para mediciones de ajuste mecánico con parámetros establecidos con tiempos de disparo en sorteo para el polo 2. Fuente: elaboración propia.

El polo 2, mostro una aceptación de primer paso en la estación de sorteo similar a la del polo 1, el resultado para el estudio fue del 90%, en esta ocasión solo 1 interruptor con el ajuste propuesto falló la prueba. La dispersión puede verse en la figura 30, en donde, es visualizado el comportamiento de cada uno de los datos tomados.

Posterior a este análisis, también fue realizada una prueba de hipótesis con el fin de comprobar la diferencia en la desviación estándar entre ambos grupos de datos (proceso con desatornillador neumático y proceso con ajuste preciso) y la variación. Un estudio de estadística descriptiva muestra la distribución de los datos comparando medidas para cada polo y para cada tipo de ajuste las gráficas muestran diferencias, los datos para el polo 1 son mostrados en la figura 31 y para el polo 2 en la figura 32.



**Figura 31** - Distribución de datos ajuste anterior contra ajuste propuesto en polo 1. Fuente: elaboración propia Minitab 19.



**Figura 32** - Distribución de datos ajuste anterior contra ajuste propuesto en polo 2. Fuente: elaboración propia Minitab 19.

## 6. Discusión de Resultados

El resultado en este proyecto muestra la posibilidad de implementar, mediante análisis estadístico, los valores óptimos para el ajuste de la distancia entre la terminal y la posición del bimetal antes del ajuste automático en análogos.

El resumen de las pruebas estadísticas puede verse a continuación en la tabla 10:

**Tabla 10** - Resultados estadísticos antes y después de la implementación de nuevos parámetros diseñados para ajuste mecánico. Fuente: elaboración propia.

| Estadístico de prueba                             | Resultados estadísticos antes de implementación de Parámetros de ajuste mecánico para interruptores QOT |          | Resultados estadísticos después de implementación de Parámetros de ajuste mecánico para interruptores QOT |           |
|---|---|----------|---|-----------|
|   | Polo 1  | Polo 2   | Polo 1  | Polo 2    |
| <i>Desviación Estándar</i>                        | 0.002367  | 0.002087 | 0.0006801   | 0.0007061 |
| <i>P-Value</i>                                    | 0.392   | 0.281    | 0.506   | 0.926     |
| <i>C<sub>pk</sub></i>                             | 0.37  | 0.52     | 1.34  | 1.19      |
| <i>Porcentaje de Aceptación de primera pasada</i> | 78%   | 86%      | 90%   | 90%       |

La tabla anterior muestra un resumen de las pruebas estadísticas aplicadas a la muestra de interruptores, notándose la mejora buscada en el planteamiento del problema así como en la hipótesis inicial en donde fue planteada la búsqueda e implementación de parámetros de ajuste de distancia entre la terminal y el bimetal con un  $C_{pk}$  mayor a 1.33, con el fin de reducir la falla de desconexión en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico de tipo QOT, si bien el polo 2 presenta un  $C_{pk}$  menor a 1.33, es posible notar el incremento de 0.52 a 1.19 para el  $C_{pk}$ . Lo anterior da pauta a la búsqueda de la mejora para lograr el incremento de aceptación y estabilidad en el proceso, con el objetivo de incrementar el  $C_{pk}$ , es importante mencionar el valor del  $P_{pk}$  igual a 1.36 pues es considerablemente mayor que el  $C_{pk}$  para el polo 2 de 1.19, donde pudieran existir otras fuentes de variación en el proceso y deben ser consideradas.

La relación existente entre el incremento del  $C_{pk}$  y la aceptación de primer paso en la prueba de verificación para la desconexión también fue comprobada y plasmada en la misma tabla de resumen. Los objetivos inicialmente planteados fueron cumplidos, sin embargo, algunas oportunidades, mencionadas más adelante en el presente documento, plantean ciertas mejoras y análisis para incrementar aún más la aceptación en el proceso.

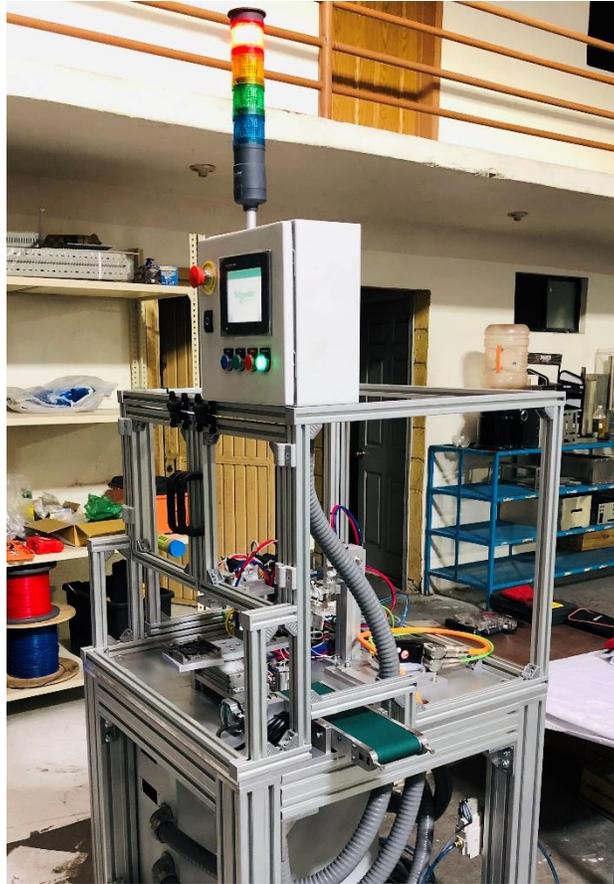
El análisis para comparar varianza y desviación estándar entre ambos grupos de datos arrojó la siguiente información: Al realizar la comparación, con un Intervalo de confianza del 95%, el valor P es igual a 0, en el análisis para polo 1 y polo 2, en comparación con el error estándar de 0.05, la hipótesis nula fue rechazada, aceptando las desviaciones estándar de ambos procesos de ajuste muestran una diferencia significativa, (en el análisis Prueba e Intervalo de IC para dos varianzas) en *minitab* 19 es mostrado en la tabla 11.

**Tabla 11** – Resumen Prueba de Intervalo de Confianza para 2 muestras y desviación estándar. Fuente: elaboración propia

| Condición                            | Observaciones | Desviación Estándar | Varianza | Error Estándar | Valor P | Grados de Libertad | Prueba F | Prueba Levene |
|--------------------------------------|---------------|---------------------|----------|----------------|---------|--------------------|----------|---------------|
| Polo 1 - Sin Parámetros establecidos | 60            | 0.002               | 0.000    | 0.05           | 0.000   | 59                 | 12.12    | 60.84         |
| Polo 1 - Nuevo diseño de parámetros  | 60            | 0.001               | 0.000    |                |         |                    |          |               |
| Polo 2 - Sin Parámetros establecidos | 60            | 0.002               | 0.000    | 0.05           | 0.000   | 59                 | 8.73     | 39.02         |
| Polo 2 - Nuevo diseño de parámetros  | 60            | 0.001               | 0.000    |                |         |                    |          |               |

El siguiente paso para la mejora del proceso es la automatización, dada la relación de la mano de obra y la variación detectada en el proceso de ajuste, mediante un proceso automático correctamente implementado el proceso podría incrementar el  $C_{pk}$  y por lo tanto la aceptación de primer paso. El proyecto de automatización para el proceso de ajuste mecánico estuvo en proceso de integración al momento de la redacción de las conclusiones de la presente tesis, por esta razón no fue posible realizar corridas con los nuevos parámetros. El concepto de la máquina para el proceso puede apreciarse en la imagen 33, donde es mostrada parte de la integración.

El concepto del *desatornillador automatizado* permitiría el ajuste de los parámetros calculados para la repetibilidad del proceso, así como también monitorear el  $C_{pk}$  del proceso y en un futuro tener una conexión con el ajuste automático (Análoga) con el fin de proporcionar una relación entre la calibración y la prueba de verificación de desconexión, así como datos de aceptación para el análisis y mejora con datos en tiempo real. El equipo encargado de esta implementación está integrado por Manufactura, Automatización y Tecnologías.



**Figura 33** -Avance de integración de equipo para ajuste mecánico automático. Fuente: elaboración propia.

La implementación de ajuste con parámetros para el proceso permitió disminuir el desperdicio resultante en la etapa de sorteo, posterior a la calibración automática, en un 10% aproximadamente, representando un ahorro de \$6,800 dólares americanos por concepto de mano de obra (Tabla 3) y adicionalmente permitió disminuir el retrabajo causado por una mala calibración de los interruptores, estimando un ahorro de \$3,700 dólares americanos para los modelos QO/QOT1515. En la Tabla 12 es mostrada la comparación del gasto ocasionado por mala calibración antes y después de la implementación de parámetros de ajuste mecánico para la distancia entre bimetálico y terminal, así como un método para reducir la variación en este ajuste.

**Tabla 12** – Cálculo de costo por componentes perdidos en retrabajo y rechazo en tercera prueba de verificación en ajuste, antes y después de la mejora e implementación de parámetros de ajuste mecánico. Fuente: elaboración propia.

| Estimación de costos de pérdida en componentes por rechazos en el volumen mensual de demanda de interruptores QO/QOT1515                                       |  |  |  |
|--|--|--|--|
| Volumen de interruptores rechazados mensualmente del modelo QO/QOT1515 por conceptos de mano de obra (aceptación de primer paso)                               | Porcentaje de rechazo (tercer verificación y mal re-trabajo) | Costo total de componentes perdidos por interruptor (dólares americanos) | Costo total mensual por pérdida de componentes (dólares americanos)                      |
| 3445   | 8%   | \$ 1.35  | \$ 373.22  |
| Volumen Estimado de interruptores rechazados mensualmente del modelo QO/QOT1515 por conceptos de mano de obra (aceptación de primer paso) después de la mejora | Porcentaje de rechazo (tercer verificación y mal re-trabajo) | Costo total de componentes perdidos por interruptor (dólares americanos) | Costo total mensual por pérdida de componentes después de la mejora (dólares americanos) |
| 574  | 8%   | \$ 1.35  | \$ 62.20   |

Los datos anteriores fueron calculados únicamente para el modelo QO/QOT1515, el siguiente paso sería el cálculo de parámetros para el resto de los modelos dentro de esa familia de interruptores, y con la implementación basados en los resultados del presente proyecto podría ser posible tener un ahorro de aproximadamente \$20,000 dólares americanos anuales.

La principal limitación para el momento de conclusión de esta tesis fue el obtener resultados de un proceso estable de por lo menos tres meses con la implementación del nuevo ajuste así como la entrega del proyecto de automatización, debido al cierre de la planta por una fuerte *Pandemia (COVID-19)* afectando a la región de Tijuana, Schneider Electric fue forzada a cerrar sus instalaciones durante un mes (abril 2020), siendo este mes donde la recolección de datos para el análisis de resultados sería llevado a cabo.

Las oportunidades adicionales encontradas para la mejora de aceptación de primer paso radican en el análisis de los componentes relacionados en el ajuste mecánico y su colocación manual, pues algunos interruptores ajustados con los nuevos parámetros fallaron al momento de realizar la verificación de la prueba de desconexión en el paso de sorteo en análoga, al analizar los interruptores fueron detectados algunos componentes colocados de manera manual incorrectamente por los operadores, ocasionando un atoramiento en el movimiento del mecanismo.

La comparación de dos muestras de 60 piezas cada una (Tabla 8 - Resultados de medición del proceso con ajuste propuesto), la primera con el ajuste mecánico establecido, comparada con otro grupo de datos de interruptores con un ajuste mecánico previo a experiencia del operador en turno y con un intervalo de confianza del 95% (Tabla 6 - Resultados de medición del proceso actual con identificación por pieza), apoyado de la herramienta Minitab 19, observó la existencia de una diferencia estadística significativa

entre ambos grupos de datos, fue descartada la hipótesis nula donde era asumida la inexistente reducción de la falla de desconexión en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico modelo QOT (Tabla 10 - Resumen Prueba de Intervalo de Confianza para 2 muestras) y asumida la hipótesis alternativa donde los parámetros establecidos para la distancia entre bimetálico y terminal en 0.014 a 0.016 pulgadas para polo 1 y polo 2, de ajuste de distancia entre bimetálico y terminal con un  $C_{pk}$  de 1.34 para el polo 1 y 1.19 para el polo 2, redujo la falla de desconexión de un 22% a un 10%, (Tabla 9 - Resultados estadísticos antes y después de la implementación de nuevos parámetros diseñados para ajuste mecánico.) en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico modelo QOT.

Los resultados anteriores permitieron mostrar las siguientes conclusiones.

## 7. Conclusiones

Los parámetros de ajuste de distancia entre bimetálico y terminal de polo 1 y polo 2 establecidos en 0.014 y 0.016 pulgadas para ambos con un ajustados con un  $C_{pk}$  de 1.34 para el polo 1 y 1.19 para el polo 2 redujeron la falla de desconexión de un 22% a un 10% en la prueba de verificación de disparo del interruptor termomagnético clásico modelo QOT.

La investigación futura recomendada es la automatización del ajuste mecánico para eliminar las variaciones causadas por mano de obra y explorar la relación de las variables de materiales y ensamble en el resultado de la prueba de desconexión.

## 8. Lista de referencias bibliográficas

- Levy, R. R. 2012. Instalaciones eléctricas seguras: diseño, proyecto y montaje. (4a. ed.). Universitas: Buenos Aires. pp. 99.
- Schneider Electric. 2018. Nuestra Historia Schneider Electric Tijuana. Consultado el 7 de febrero de 2020, de: <https://www.se.com/mx/es/about-us/company-profile/history/square-d.jsp>.
- Schneider Electric. 2017. Teoría del breaker para personal administrativo. Consultado el 5 de febrero de 2020, de: Publicación Interna. Tijuana.
- Square D. 1995. Circuit Breaker Theory. Schneider Electric publicación interna. Missouri
- Schneider Electric. 2020. Inducción para Administrativos en Pacífico Tijuana. Consultado el 7 de febrero de 2020, de: Publicación Interna. Tijuana.
- SQUARE D. 2004. Tornado Calibration Process Study. Consultado el 5 de febrero de 2020, de: Publicación Interna. Tijuana.
- National Electrical Code. 2020. Artículo 100 del NEC. Consultado el 7 de febrero de 2020, de: <http://electriciancentral.com/nec-chapter-1-article-100-definitions>.
- UL (Underwriters Laboratories). 2013. UL489 Standard for safety, Molded-case circuit breakers, Molded-case switches and circuit-breaker enclosures. Underwriters Laboratories Inc.: Northbrook.
- De Máquinas y Herramientas. 2017. Consultado el 7 de febrero de 2020, de: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-manuales>.
- Gutiérrez, P., H., 2010. Calidad total y productividad. (3a. ed.) McGraw-Hill Interamericana: Ciudad de México.
- Gutiérrez, P., H., De la Vara, R. (Eds). 2012. Análisis y Diseño de Experimentos (3a. ed.) McGraw-Hill Interamericana: Ciudad de México.
- Colvin, F., H., Haas, L., L. (Eds.) 1938. Jigs and Fixtures. McGraw-Hill Book Company: New York and London.
- Henriksen, E., K. 1973. Jig and Fixture Design Manual. Industrial Press Inc: New York.

- Maisel L., 1973. Probabilidad y Estadística. Fondo Educativo Interamericano: Colombia.
- Mosquera-Artamonov, J., Artamonova, I., Mosquera, J. C., 2014. Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad. *Ingeniare.*, Armenia. *Revista chilena de ingeniería*, 22, 53-61.
- Lugo Castillo, F. 2020. Desarrollo de Modelo Matemático parametrizado de desconexión del interruptor termomagnético. Tesis de Maestría en Ingeniería e Innovación. CETYS Universidad campus Tijuana, B.C. 29 pp.
- Romo García, M. 2020. Control automático de tiempo de precalentamiento en el ajuste de interruptores termomagnéticos. Tesis de Maestría en Ingeniería e Innovación. CETYS Universidad campus Tijuana, B.C. 23 pp.
- Gondres, I., Lajes, S., Del Castillo, A. 2017. Gestión del mantenimiento a interruptores de potencia. *Ingeniare.*, Arica. *Revista chilena de ingeniería*, 26, 192-202.