

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



**DESARROLLO DE PRUEBA ELECTRICA DE RELEVADORES
AEROESPACIALES REDUCIENDO FALLAS, COSTO Y
TIEMPO DE MANUFACTURA.**

Tesis

Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Héctor Enrique Barrón González

Director:

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

Tijuana, Baja California, México
2020

**DESARROLLO DE PRUEBA ELECTRICA DE RELEVADORES AEROESPACIALES
REDUCIENDO FALLAS, COSTO Y TIEMPO DE MANUFACTURA.**

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Héctor Enrique Barrón González

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)
Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)
Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)
Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Ricardo Martínez Soto
Coordinador del Posgrado en Ingeniería

Héctor Enrique Barrón González © 2020

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor.

Resumen de la tesis que presenta **Héctor Enrique Barrón González** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Desarrollo de prueba eléctrica de relevadores aeroespaciales reduciendo fallas, costo y tiempo de manufactura.

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

La tesis a continuación presentada describe el proceso y la documentación de un circuito eléctrico de ciclado para relevadores electromecánicos, el cual pretende detectar las fallas de campo en casa sin incrementar el costo y tiempo de manufactura, pretendiendo la mejora e implementación de esta prueba, pues se tiene un alto porcentaje de piezas defectuosas retornadas por clientes como The Boeing Company, AirBus Commercial Aircraft, Celestica Inc; DLA, Flame Enterprises.

Se tienen contabilizadas desde el año fiscal 2017 al 2019 un total de 144 retornos de cliente, el gasto del retorno y de la reposición es parte de las cláusulas de garantía de calidad de Leach International. En este documento se atacará solamente el modelo con el que se incursionará en dicha prueba eléctrica.

Con la prueba en mención, se muestra en este documento como la detección de anomalías antes de ser enviadas a cliente nos permite aumentar la calidad del producto pues hemos logrado ahorrar el 36 % de tiempo, equivalente a 448.2 Segundos y desde la incorporación de esta prueba, no hemos recibido ningún retorno o aviso de cliente.

Lo anterior fue logrado, desplazando obsoletos métodos y herramientas de prueba aplicados a los artefactos, y en su lugar entra una prueba desarrollada en Londres, Inglaterra. Una vez aplicado este método, los resultados han sido graficados y documentados para comprobar el ahorro generado.

Se utilizan herramientas estadísticas, documentación, graficas, análisis de datos, estudios de tiempo, comparación de métodos (viejo vs nuevo), entre otras.

Palabras clave: Prueba eléctrica, relevador electromecánico, aeronaves, calidad, ahorro, desperdicio, retorno de cliente.

Abstract of the thesis presented by **Héctor Enrique Barrón Gonzalez** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Industrial Systems and Processes

Development of electrical testing of aerospace relays, reducing faults, cost and manufacturing time.

Abstract approved by: _____

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Thesis' Director

The thesis presented below describes the process and documentation of an electrical cycling process for electromechanical relays that aims to detect field faults at home without increasing manufacturing cost and time, the problem that leads to the improvement and implementation of this test is the high percentage of defective parts returned by customers such as The Boeing Company, AirBus Commercial Aircraft, Celestica Inc.; DLA, Flame Enterprises.

A total of 144 customer returns have been recorded from fiscal year 2017 to 2019, the cost of return and replacement is part of the quality assurance clauses of Leach International. In this document, only the model with which the electrical test will be carried out will be attacked.

With the test mentioned, it is shown in this document how the detection of anomalies before being sent to the client allows us to increase the quality of the product.

We have managed to save 36% of time, equivalent to 448.2 seconds and since the incorporation of this test, we have not received any return or customer notice.

This was accomplished by displacing outdated test methods and tools applied to artifacts, and in its place comes a test developed in London, England. Once this method has been applied, the results have been plotted and documented to verify the savings generated.

Statistical tools, documentation, graphs, data analysis, time studies, method comparison (old vs. new), among others, are used.

Key words: Electrical test, Electromechanical relay, aircraft, quality, savings, waste, customer return.

Dedicatoria

Dedico este logro a todas las personas participes en mi presente y pasado, fungiendo siempre como el soporte y apoyo moral y emocional, pues quizás sin saber con certeza la posibilidad de sumar este logro personal a mi carrera, hoy logro la obtención de un grado académico de este nivel, estuvieron siempre y no dudaron de mi capacidad. Lo dedico también a las personas que día con día me hacen ser mejor humano, han sido fuente de mi inspiración, energía y motivación, pues son seres cercanos a mí y se con certeza que es una meta alcanzada, que a más de uno ha de alegrar.

Agradecimientos

La elaboración de este proyecto el cual me permitirá ser reconocido como maestro en ingeniería e innovación no hubiese sido posible sin el apoyo de CONACYT y la beca nacional posgrado, me ha patrocinado el 100% del curso presencial en la ciudad de Tijuana. Gracias a la compañía “Leach International Corporation” por las facilidades y brindar datos e información ayudando a concluir este proyecto de manera satisfactoria, de igual manera a mis colegas y compañeros participantes, estuvieron siempre brindando soporte para resolver presentadas durante la elaboración de esta investigación, pues sin sus conocimientos en el área hubiera sido complicado el método para resolver esta problemática.

Tabla de contenido

Tema	Página
Resumen español	4
Resumen inglés	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Tabla de contenido	8
Lista de figuras	9
Capítulo 1. Introducción	11
Capítulo 2. Antecedentes	12
2.1 ¿Qué es y cómo funciona un relevador?	12
2.2 Aplicación	13
2.2.1 Aplicación del relevador electromecánico	13
2.3 ¿Qué provoca fallas en un relevador?	13
2.3.1 Activación en caliente reduce la vida útil del relevador	13
2.3.2 Activación en frío reduce la vida útil del relevador	14
2.4 Esperanza de vida	15
2.4.1 Vida mecánica	17
2.4.2 Vida a carga plena	17
2.5 Pruebas eléctricas en la actualidad	19
2.5.1 Pruebas de aceptación en un relevador electromecánico	19
2.5.2 Pruebas de puesta en servicio	20
2.5.3 Pruebas de mantenimiento periódico	20
2.6 Principios básicos de manufactura esbelta	21
Capítulo 3. Descripción del problema de investigación	23
3.1 Planteamiento	23
3.2 Justificación del Problema	26
3.3 Pregunta de investigación	32
3.3.1 Hipótesis	32
3.4 Objetivos del proyecto	32
Capítulo 4. Metodología de la investigación	33
Capítulo 5. Resultados	34
5.1 Comparativa de tiempo en métodos de prueba	34

5.2 Documentación de detecciones en casa	37
Capítulo 6. Discusión de resultados	44
Capítulo 7. Conclusión	45
Capítulo 8. Referencias Bibliográficas	46

Lista de figuras

Figura		Página
1	Representación de un relevador	12
2	Muestra grafica de un contacto dañado por funcionamiento de relé sobre temperaturas	14
3	Ejemplo de especificaciones técnicas de una matriz de alta densidad para ciclado de un relé.	16
4	Ejemplo de una navaja dañada por sobrecargar el nivel de ciclos de un relevador.	18
5	Accidente de Douglas DC-2-243 en Tapachula, Chiapas	24
6	Países con el mayor número acumulado de accidentes con víctimas	25
7	Ejemplo de un par de modelos GFI utilizados en Boeing 777.	26
8	Datos recabados.	28
9	Datos graficados.	28
10	Equipo de prueba. Estación de ajuste de relevador.	29
11	Equipo de prueba. Estación de Prueba dieléctrica.	29
12	Equipo de prueba. Estación de caída de voltaje en contactos.	30
13	Equipo de prueba. Estación de ciclado de relevador.	30
14	Equipo de prueba. Multímetro integrado en estación de ajuste.	31
15	Imagen descriptiva de reparación sin supervisión.	31
16	Resultados de comparación entre ambos métodos	34
17	Resultados de comparación entre ambos métodos	35
18	Resultados de comparación entre ambos métodos	35

19	Resultados de comparación entre ambos métodos	36
20	Desglose de tiempos por prueba	36
21	Datos Documentados	37
22	Datos graficados.	38
23	Datos graficados.	38
24	Datos graficados.	39
25	Datos graficados.	39
26	Datos documentados.	40
27	Datos graficados.	41
28	Datos graficados.	41
29	Datos graficados.	42
30	Datos graficados.	42
31	Datos graficados.	43
32	Datos graficados.	43

Capítulo 1. Introducción

Un relevador es un interruptor controlado eléctrica y mecánicamente. Este dispositivo también puede entenderse como un controlador electro-mecánico.

El enfoque principal de esta tesis ahonda en la problemática en la manufactura de un tipo de relevadores en específico, denominados “GFI” por sus siglas en inglés “Ground Fault Circuit Interrupter”, es un modelo de relevadores proveído por Leach International a potencias ensambladoras de aeronaves como lo son Airbus o Boeing, ha presentado un alza en la cantidad de rechazos y retornos por los clientes antes mencionados, entre otros a nivel mundial. Al ser nuestros productos una variante de la rama de componentes electrónicos, estos son probados al nivel final de ensamble por distintas pruebas de calidad para comprobar su correcto funcionamiento, como lo son pruebas dieléctricas, pruebas de resistencia, pruebas de ciclado, pruebas de resistencia de aislamiento (problemas de humedad), entre otras. Este tipo de filtros son realizados con diferente maquinaria y personal entrenado, hasta el año 2019 no habían sido lo suficientemente capaces de detectar con precisión este tipo de detalles funcionales, pues nosotros como empresa sabíamos con certeza cuando la pieza había fallado cuando el cliente reportaba averías en el funcionamiento del componente.

El desarrollo de esta tesis documenta como una prueba nueva, con una circuitería hecha específicamente para este tipo de relevadores, es lo suficientemente robusta como para someter y detectar fallas funcionales de campo en casa, este resultado positivo nos genera un ahorro en tiempo y costo pues, en el pasado las piezas defectuosas retornadas, debían ser reemplazadas por una nueva, para así cumplir las políticas de contrato con nuestros clientes.

El objetivo es demostrar en este proyecto cómo se logró generar un 100 % de cero escapes por defectos funcionales, sumando a esto un ahorro de 450 segundos por pieza probada.

Todo lo anterior se apoya de gráficas, toma de tiempos, resultados comparativos entre el nuevo método y la documentación existente del anterior.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 ¿Qué es y cómo funciona un relevador electromecánico?

El relé representa un interruptor electromecánico utilizado como dispositivo de protección y también como dispositivo de control para varios circuitos, equipos y redes eléctricas en un sistema de alimentación. El relé electromecánico puede definirse como un interruptor accionado eléctricamente y completa o interrumpe un circuito mediante el movimiento físico de los contactos eléctricos entre sí.

Para cada circuito, equipo, red eléctrica o sistema de protección del sistema de energía, se desea evitar la falla o daños temporales o permanentes. Así los equipos o circuitos utilizados para la protección se denominan equipos o circuitos de protección. En caso de una pequeña cantidad de clasificaciones de voltaje, la protección del circuito depende del costo del circuito original a proteger y del costo del sistema de protección esencial para proteger el circuito. Pero, en el caso de circuitos o equipos de alto costo, se desea adoptar un sistema de protección o circuito de protección y dispositivo de control o circuito de control para evitar pérdidas y daños económicos.

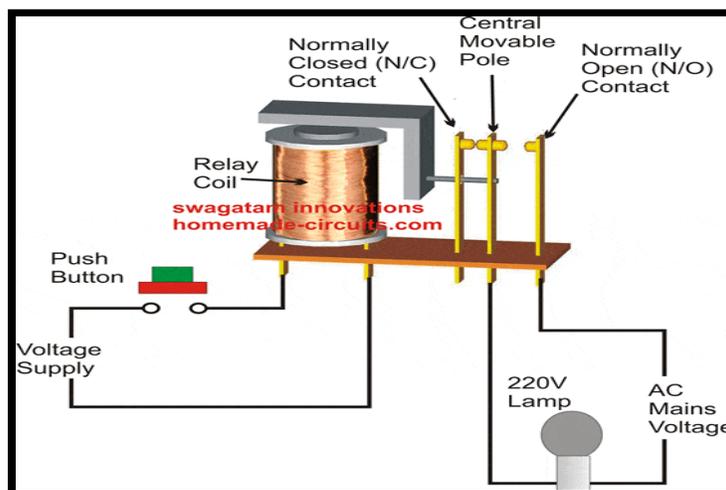


Figura 1. Representación de un relevador

Fuente: Ltd, Pickering Interfaces. (2020). Pickering Interfaces Ltd: USA. Obtenido de <https://www.pickeringtest.com/en-mx/kb/hardware-topics/relay-reliability/finding-relay-failures>

El relevador electromecánico consta de varias partes, tales como armadura móvil, contacto móvil y contacto estacionario o contacto fijo, resorte, electroimán (bobina), el cable envuelto como bobina con sus terminales representados como 'C' los cuales se conectan como muestra la figura 1.

2.2 Aplicación

2.2.1 Aplicación de relevador electromecánico.

El enrutamiento y la señalización de los aviones, cohetes, satélites, helicópteros son controlados utilizando la lógica del relé y se considera una aplicación clave de la lógica del relé. Esta aplicación crítica de seguridad se utiliza para reducir los accidentes y evitar la selección de rutas en conflicto mediante el enclavamiento. El operador del elevador humano fue reemplazado por grandes circuitos lógicos de relé en los elevadores. Los circuitos lógicos de relé se utilizan en electrohidráulica y electro neumático para fines de control y automatización.

2.3 ¿Qué provoca fallas en un relevador?

2.3.1 Activación en caliente reduce la vida útil del relevador.

Cuando un relevador abre o cierra mientras transmite una señal, el relé está "conmutando en caliente" la señal. Los relés de conmutación en caliente tienen un gran impacto en la vida útil del relé. El tipo de relevadores emisor de señales de conmutación en caliente se calientan más y los relés que no conmutan en caliente, sus contactos se erosionarán mucho más rápido. Ambos factores provocarán al relevador

de conmutación en caliente falla más rápida, comparado con los relevadores que no requieren que conmuten en caliente. Los proveedores de sistemas de conmutación pueden proporcionar información sobre cómo la conmutación en caliente afecta la vida útil del relevador, pero antes de utilizar estos datos, observe detenidamente las condiciones de prueba.

En general, los vendedores prueban relés de vida con fuentes y cargas resistivas. Sin embargo, en el mundo real, las cargas pueden ser tanto inductivas como capacitivas, y estas cargas pueden acortar la vida útil del relé más que las simples cargas resistivas. La activación en caliente reduce la vida útil de un relevador.



Figura 2. Muestra grafica de un contacto dañado por funcionamiento de relé sobre temperaturas fuera de especificación.

Fuente: YA. Z. Tsyarkin. (1984), Relay Control System, New York, USA. Cambridge University Press.

2.3.2 Activación en frío reduce la vida útil del relevador.

La conmutación en frío es un término utilizado para describir una operación de interruptor (relé) donde no hay una señal de usuario significativa presente cuando los

contactos de los relevadores se abren o cierran. La conmutación en frío es significativamente menos estresante en los relevadores mecánicos comparada con la conmutación en caliente y se puede utilizar para maximizar la vida útil de un relevador. Para los relevadores de estado sólido, generalmente no hay diferencia entre las clasificaciones de interruptor frío o caliente.

La conmutación en frío también puede tener clasificaciones de voltaje y corriente y son diferentes (más altas) a las clasificaciones del interruptor en caliente, pues los contactos del relé mecánico no tienen que ver con arcos de señal y migración de metal. Las clasificaciones de voltaje en frío están determinadas principalmente por las propiedades de los aisladores en los relés, conectores y diseño de PCB. La clasificación de corriente fría se determina de manera similar en los conductores metálicos en los relés, conectores y pistas de PCB. Las pistas de PCB generalmente están determinadas por la necesidad de mantener el aumento de temperatura a alrededor de 10 ° C.

2.4 Esperanza de vida.

Los relés tienen partes móviles y su funcionamiento provoca desgaste y tensión el cual, eventualmente conducirán a la falla del relé. La especificación de la esperanza de vida proporciona información sobre cuándo puede esperar que los relés se desgasten mecánicamente. Esencialmente, esta especificación es la cantidad de veces que un relé puede funcionar sin carga o en condiciones de carga ligera donde el desgaste del contacto, la temperatura del relé y las fuerzas actuando sobre las partes móviles son simplemente el resultado de la activación mecánica.

Hay dos tipos de relés mecánicos: relés de láminas y relés electromecánicos (EMR). En general, los relés de lámina de grado de instrumento tienen la vida mecánica más larga porque el relé tiene pocas partes móviles. La lámina del relé de láminas se dobla en lugar de moverse sobre un punto de pivote, y el contacto está contenido en una envoltura de vidrio sellada herméticamente, por ende, es menos susceptible a contaminantes y defectos mecánicos.

Switching Specifications

Switch Type:	Ruthenium Reed
Max Switch Voltage:	70VDC/50VAC
Max Power:	20W
Max Switch Current:	1.0A
Max Carry Current:	1.2A
Relay Resistance:	100m Ω typical
Path Resistance X to X - on:	1 Ω typical (within same daughter card) 2 Ω typical (across different daughter cards)
Path Resistance - off:	10 ⁹ Ω
Typical Operate Time:	1ms
Expected Life (Operations)	
Low Power Load:	>10 ⁹
Full Power Load:	>5x10 ⁶
Bandwidth (-3dB)	TBD
Crosstalk (typical)	TBD at 10kHz TBD at 100kHz TBD at 1MHz TBD at 10MHz
Isolation (typical)	TBD at 10kHz TBD at 100kHz TBD at 1MHz TBD at 10MHz

Figura 3. Ejemplo de especificaciones técnicas de una matriz de alta densidad para ciclado de un relé.

Fuente: YA. Z. Tsyarkin. (1984), Relay Control System, New York, USA. Cambridge University Press.

2.4.1 Vida mecánica

Al diseñar un sistema de conmutación, una de las cosas más importantes que necesita saber es cuánto tiempo funcionará su sistema sin fallas. En todas las hojas de datos del relé, encontrará dos especificaciones de vida útil del relevador.

La conmutación de bajo nivel especifica el número mínimo de operaciones que puede esperar sin una falla mecánica por desgaste del contacto, daño de la bobina o una falla del mecanismo de accionamiento. La vida útil de los relés electromecánicos (EMR) varía ampliamente según la construcción del relé, con una vida útil más larga de alrededor de 100 millones de operaciones.

2.4.2 Vida a carga plena

Esta es la vida útil del relevador cuando se conmuta en caliente una carga a la máxima corriente, voltaje o potencia nominal. Cuando se opera a plena carga, un relevador falla cuando sus contactos no funcionan (a menudo porque se sueldan entre sí) o cuando la erosión del material de contacto da como resultado una resistencia inaceptable de alta trayectoria. Cuando es necesario cambiar una carga en caliente, un relé solo puede ser bueno para 100,000 operaciones. Por otro lado, si una señal se conmuta en frío, es decir, se aplica solo cuando ya se hayan accionado los contactos del relevador, la vida útil de los relevadores será mucho más larga y se acercará a la vida mecánica del relevador.

En sistemas de conmutación reales, no cuente con relés que duren tanto tiempo como se especifica. Incluso en aplicaciones de señal de bajo nivel, los accidentes y las UUT

defectuosas pueden causar fallas en los relevadores y las corrientes de entrada, causadas por cargas capacitivas de conmutación en caliente y picos de voltaje, causados por cargas inductivas de conmutación en caliente, aceleran el envejecimiento del relevador.

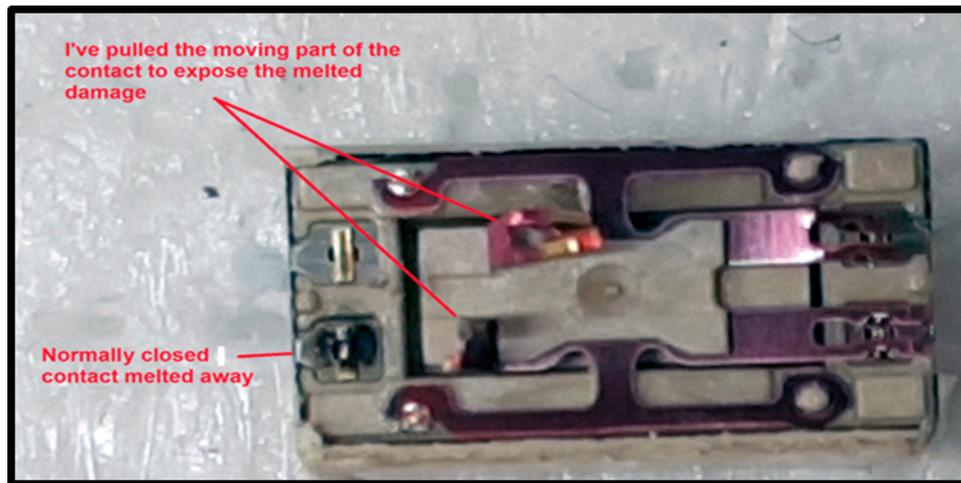


Figura 4. Ejemplo de una navaja dañada por sobrecargar el nivel de ciclos de un relevador.

2.5 Pruebas eléctricas en la actualidad

Existen distintas pruebas a las cuales los relevadores electromecánicos son sometidos, con el fin de asegurar calidad y prestigio, diferentes compañías comercian el mismo producto, todos con una característica diferente entre proveedores, pero todos ellos, por regulaciones internacionales y por estándares establecidos en la industria aeroespacial están obligados a someter los componentes a un listado de pruebas, a continuación, mostrado:

Medición de resistencia de aislamiento: esta prueba trata de asegurar el aislamiento del relé sea óptimo y este dentro de los límites de funcionamiento aceptables. Idealmente, el aislamiento del relé debe tener una resistencia de unos pocos $M\Omega$ a $T\Omega$.

Aunque hay empresas líderes en el mercado de relevadores electromecánicos aeroespaciales, todos los fabricantes están obligados por la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés), a documentar si el artefacto ha aprobado las pruebas aplicadas por especificaciones de manufactura.

2.5.1 Pruebas de aceptación en un relevador electromecánico

La mayoría de los relevadores electromecánicos necesitan chequeos regulares de su funcionalidad para un rendimiento confiable. Cuando las partes móviles del relé cambian en respuesta a condiciones anormales, debe realizarse una prueba periódica. Los relés de protección se utilizan en sistemas de potencia de media y alta tensión. Con un uso prolongado, la conexión del relé se deteriora con partículas de carbono.

Por lo tanto, para garantizar el rendimiento confiable del relé, debe probarse antes de ponerlo en servicio y también después de intervalos de tiempo debe verificarse.

Durante la fabricación se realizan varias fases de prueba en la etapa de manufactura para verificar la aceptabilidad de la unidad para la venta.

2.5.2 Pruebas de puesta en servicio

Estas pruebas determinan la función del relevador para un esquema de protección particular. Estas pruebas se llevan a cabo para verificar la precisión del ensamblaje de los componentes en el relevador, las clasificaciones, la calibración y la conformidad con todo el sistema.

2.5.3 Pruebas de mantenimiento periódico

Estas pruebas se llevan a cabo para identificar la degradación del servicio y las fallas del equipo en el relevador.

Estas verificaciones se llevan a cabo en los relevadores utilizados para aplicaciones de sistemas de protección o conmutación de potencia alta y media. Sin embargo, para aplicaciones de baja potencia, especialmente en relevadores utilizados en sistemas de control electrónico, un multímetro es lo suficientemente alto como para llevar a cabo la prueba de los relevadores. El procedimiento para probar el relé es el siguiente.

- Mantenga el selector del multímetro en el modo de continuidad.
- Coloque las sondas del multímetro de la siguiente manera: una sonda en el polo y otra en el contacto NC y verifique la continuidad.
- Coloque las sondas del multímetro de la siguiente manera: una sonda en el polo y otra en el contacto NO y verifique la discontinuidad entre el polo y el contacto NO.
- Ahora aplique el voltaje nominal a la bobina del relé para energizar el relé y luego observe el sonido de clic activado con el relé.
- Nuevamente, verifique la continuidad entre el polo y el contacto NA.
- También verifique la discontinuidad entre el poste y el contacto NC.

Finalmente, retire la fuente de alimentación. Coloque el selector del multímetro en modo de resistencia y mida la resistencia de la bobina de los relevadores. Verifique el valor de resistencia medido con el valor indicado por el fabricante. Si se cumplen todas las condiciones, entonces podemos decir si el relevador funciona correctamente; de lo contrario, está defectuoso.

A continuación, algunos ejemplos de este tipo de fallos, pretendiendo reducir con la introducción de esta prueba durante el proceso de manufactura del relevador GFI.

2.6 Principios básicos de manufactura esbelta

Las empresas buscan siempre tener un posicionamiento estratégico dentro del mercado global. Esto se puede lograr mediante la implementación de Manufactura Esbelta, una filosofía muy utilizada en la actualidad. Para una empresa es fundamental comprender y conocer las herramientas y técnicas desarrolladas conocidas en conjunto como manufactura esbelta. La búsqueda principal de esta filosofía es la eliminación de desperdicios. Sin embargo, este no es el único objetivo, y es necesario informarnos en qué otros aspectos nos pueden beneficiar el pensamiento Lean, de igual manera “los 5 principios clave” para lograr una implantación exitosa. Esta nota de divulgación tiene como objetivo dar a conocer orígenes, conceptos básicos, así como herramientas de la manufactura esbelta.

1. **Identificación del valor.** El valor radica en la problemática tratada para satisfacer las necesidades del cliente. Más específicamente en la parte de la solución cuando el cliente está dispuesto a pagar activamente. Cualquier actividad o proceso sin valor agregado al producto final se considera desperdicio. Por lo tanto, primero debe identificar el valor deseado a entregar y luego pasar al siguiente pasó.
2. **Asignación del flujo de valor.** Consiste en el mapeo de los flujos de trabajo, incluyendo todas las acciones y personas involucradas en el proceso de entrega del producto final al cliente. Gracias a esta visión, se pueden identificar las partes del proceso de valor nulo para eliminarlas.

3. **Creación de un flujo de trabajo continuo.** Una vez identificado, se enfocan en el mantenimiento del flujo de trabajo de cada equipo. A este respecto, el mayor reto del “Lean management” es evitar los cuellos de botella y las interrupciones, aunque puede lograrse de forma más sencilla dividiendo el trabajo en lotes más pequeños logrando así, con su visualización, detectar y eliminar los inconvenientes detectados al momento.
4. **Creación de un sistema de trabajo específico.** Es la forma de asegurar un flujo de trabajo estable y una garantía hacia los equipos cuando estos pueden entregar tareas de trabajo mucho más rápido con menos esfuerzo. La base de este sistema es que los procesos de trabajo sólo dan inicio si existe una demanda. Esto permite optimizar la capacidad de los recursos y entregar productos / servicios solo si existe una necesidad real.
5. **Mejora continua.** Una vez aplicados todos los pasos previos, puede hablarse ya de Lean management. Sin embargo, para mantener este enfoque de gestión es debido prestar atención a este paso. Como el sistema ni está aislado ni es estático, pueden surgir problemas en cualquiera de los pasos anteriores, entonces es factible asegurarse de que los empleados, a todos los niveles, participen en la mejora continua del proceso.

Capítulo 3. Descripción del problema de investigación

3.1 Planteamiento

A lo largo de la extensa historia de la industria aeroespacial, se han registrado bastantes víctimas debido a accidentes provocados por fallas en los sistemas de seguridad, en donde los componentes eléctricos, electromecánicos, neumáticos no se activan en el momento preciso o presentan averías en su interior. Es común escuchar noticias de letales accidentes en pleno vuelo derivado de fallo en componentes. Sabiendo esto, es necesario y obligatorio reforzar los sistemas de aeronavegabilidad con nuevas y mejores herramientas o dispositivos permitiendo navegar de manera más segura, evidencia de esto, es la invención de nuevos métodos de activación para los sistemas de seguridad en los aviones, relé electromecánicos en conjunto con un complejo circuito en su interior, permiten la activación de manera inmediata al detectar fallas en cualquiera de los sistemas de soporte, denominados como "Ground Fault Interrupt" (GFI).

El director general de "Aviation Safety Network", Harro Ranter, ha afirmado que el nivel de seguridad ha aumentado significativamente: "Si la tasa de accidentes hubiera permanecido igual que hace 10 años, habría habido 39 accidentes mortales el año pasado. A la tasa de accidentes del año 2000, habría habido incluso 64 accidentes fatales. Esto muestra el enorme progreso en términos de seguridad en las últimas dos décadas".

ASN destaca, en los últimos cinco años, "está claro que los accidentes por pérdida de control son un problema de seguridad aérea importante, pues, mediante su informe

destacan que es responsable de al menos 10 de los 25 accidentes más graves. En la mayoría de esos accidentes era prácticamente imposible que hubiera supervivientes". Las estadísticas se basan en todos los accidentes fatales de aeronaves comerciales (vuelos de pasajeros y de carga) en todo el mundo, involucrando aeronaves civiles, de las cuales el modelo básico ha sido certificado para transportar a 14 o más pasajeros. No incluye aviones de transporte militar.

"Aviation Safety Network" es una organización independiente ubicada en los Países Bajos, fundada en 1996 con el objetivo de proporcionar información actualizada, completa y confiable sobre los accidentes de pasajeros y de cuestiones de seguridad. ASN es un servicio exclusivo de la Fundación de Seguridad de Vuelo (FSF). Las cifras han sido recabadas utilizando la base de datos de accidentes de aviones de "Aviation Safety Network", organización de los Países Bajos especializada en información de seguridad en la aviación obtenía de fuentes autorizadas y oficiales. Su base de datos contiene detalles de más de 8.700 accidentes, y cada semana recibe aproximadamente 50.000 visitantes únicos.



Figura 5. Accidente de Douglas DC-2-243 en Tapachula, Chiapas.

Referencia: Jun Shen, (2009), *Electromechanical Latching Relay and method of operating time*, AZ, USA.

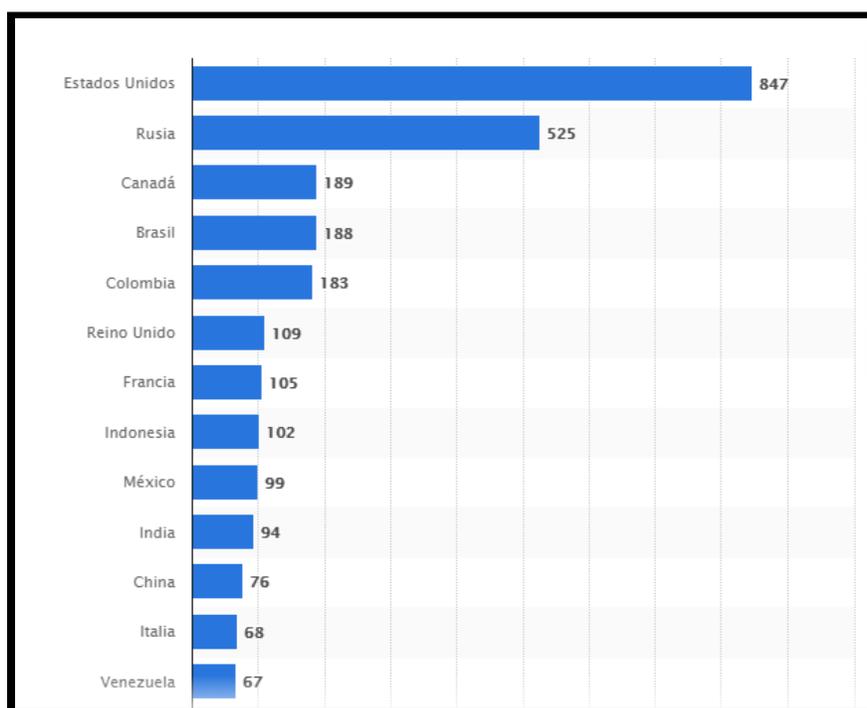


Figura 6. Países con el mayor número acumulado de accidentes con víctimas mortales en la aviación civil desde 1945 hasta el 24 de septiembre de 2019.

Referencia: Jun Shen, (2009), Electromechanical Latching Relay and method of operating time, AZ, USA.

A pesar de los reglamentos y controles de seguridad sobre los pilotos y el resto de personal tripulando una aeronave, los errores humanos son la razón principal causante de accidentes aéreos (hasta el 50 % de incidencia). Fallas de comunicación entre operadores, errores al ejecutar maniobras de emergencia, exceso de confianza o malinterpretación de alguna señal de alarma son las causas más comunes.

Estos errores no suelen llegar solos: otro de los factores preponderantes en accidentes aéreos provocados por humanos estriban en la falta de mantenimiento y negligencia, provoca como consecuencia, aviones en mal estado, con piezas recicladas convirtiéndolos así, más propensos a fallar.



Figura 7. Ejemplo de un par de modelos GFI utilizados en Boeing 777.

Fuente: Leach, 2020

3.2 Justificación del problema

Durante los últimos años, LEACH INTERNATIONAL (compañía donde laburo actualmente) se ha visto envuelta en múltiples quejas de cliente, pues 3 modelos en particular, han presentado fallas en campo, de una manera descontrolada, las pruebas actuales, implementadas como filtro de detección, no están siendo lo suficientemente capaces de anteponerse a algún fallo durante su tiempo de vida o a algún error durante el proceso de ensamble.

Parte del equipo de ingeniería de manufactura, ingeniería de prueba e ingeniería de diseño y proveedores externos han trabajado en conjunto durante un par de años para poder modelar una prueba eficaz para detectar de manera las fallas eléctricas,

dieléctricas, aislamiento, humedad, las cuales durante años se han tratado de detectar con distintos métodos de prueba y maquinaria.

Durante los años fiscales 2017 a 2019 se reportaron 147 retornos, los cuales nos han ayudado a documentar el estado actual de rechazos, existe una idea del estado actual de nuestras dolencias como fabricantes de relevadores electromecánicos y darnos a la tarea de desarrollar e implementar una prueba de ciclado, teniendo como punto de partida las causas de los defectos y retornos por parte de cliente de los productos Leach. Los datos a continuación mostrados, solo muestran el punto de partida de la mejora planeada, pretendiendo cambiar la estadística actual y presentar en el futuro; el avance y la mejora, con la implementación de un nuevo método de detección de falla acompañado de una nueva prueba eléctrica, la cual pretende desplazar a las antiguas y solo las realmente necesarias, si y solo si, la nueva circuitería es capaz de detectar los fallos en casa y los clientes no reporten más desperfectos, logrando eliminar de nuestras políticas de venta el enviar relevadores de reemplazo a causa de pobre calidad por escapes dentro de nuestros procesos internos.

La figura 8 desglosa los retornos en los años 2017 al 2019 en orden de repetitividad.

Durante este proyecto nos enfocaremos en la detección de estos, denominados como los principales. En la figura 9 mostramos un diagrama de Pareto para estructurar el orden de los hallazgos y asignar prioridades.

Retornos de cliente durante año fiscal 2017 - 2019		
Defecto	Cantidad	Porcentaje
Falla no detectada	74	51.4%
Falla de cliente	31	21.5%
Navaja quebrada	13	9.0%
Tiempo de activacion	8	5.6%
Tiempo de senales	5	3.5%
Indicador y pulso	5	3.5%
Sin datos	3	2.1%
Navaja quemada	2	1.4%
Prueba de insulacion	2	1.4%
Corto circuito	1	0.7%
Total	144	100.0%

Figura 8. Datos recabados.

Fuente: elaboración propia (2020).

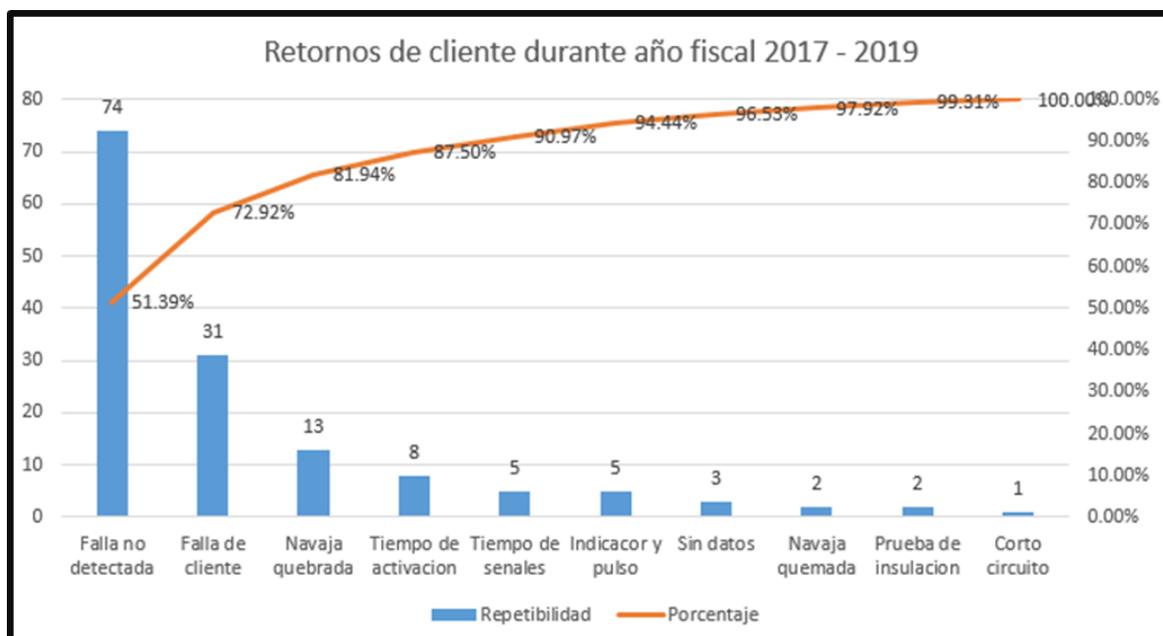


Figura 9. Datos graficados.

Fuente: elaboración propia (2020).

A continuación, se muestran cada una de las máquinas de prueba, las cuales serán sustituidas por un nuevo método para agudizar los filtros de calidad. Al aplicar este nuevo método, las máquinas utilizadas actualmente serían desplazadas y con esto no necesitaríamos más partes de repuesto para mantenimientos correctivos o preventivos, esto representa en menor escala un ahorro a esta etapa del proceso.



Figura 10. Equipo de prueba. Estación de ajuste de relevador.

Fuente: Leach international (2020).

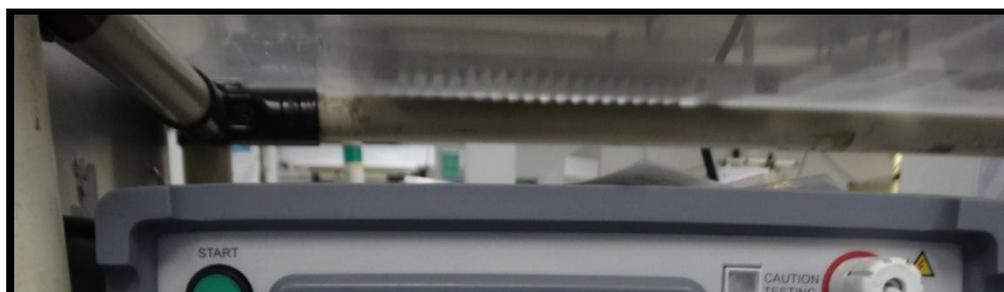


Figura 11. Equipo de prueba. Estación de Prueba dieléctrica.

Fuente: Leach international (2020).



Figura 12. Equipo de prueba. Estación de caída de voltaje en contactos.

Fuente: Leach international (2020).



Figura 13. Equipo de prueba. Estación de ciclado de relevador.

Fuente: Leach international (2020).

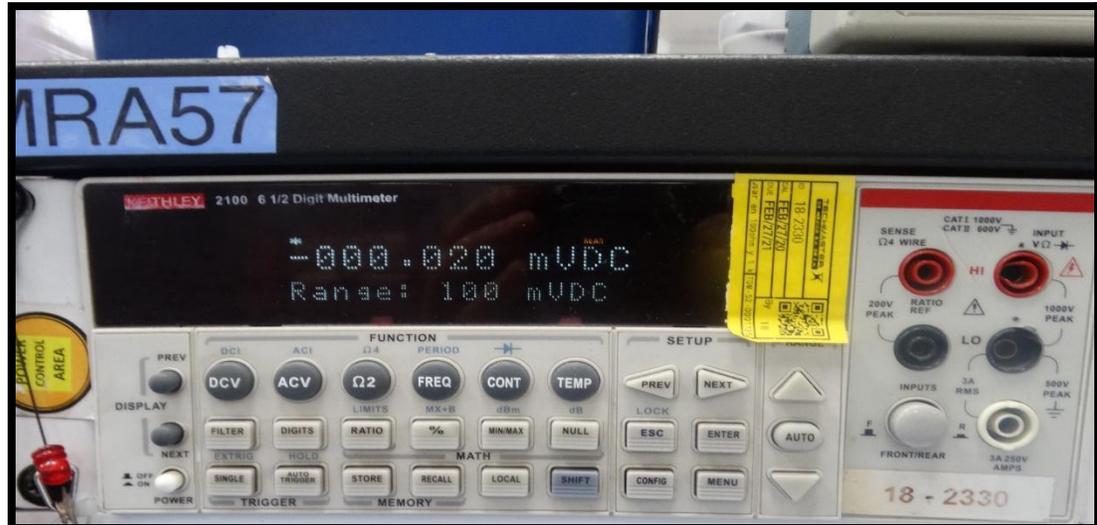


Figura 14. Equipo de prueba. Multímetro integrado en estación de ajuste.

Fuente: Leach international (2020).

El total de estas máquinas son operadas por diferentes asociados certificados, este tipo de pruebas no son supervisadas por ingeniería o por calidad y como consecuencia, se le otorga total autoridad a más de una persona para decidir si las piezas filtradas por

mediante pruebas eléctricas son funcionales o no, sin necesariamente asegurar su correcta funcionalidad.

Estas máquinas funcionan con el soporte de fixtura de conexión, en donde embona el relevador, y cuando alguna de estas, falla o se presentan desperfectos, son ellos mismos quienes pueden repararlas, y esto da pie a reparaciones de dudosa calidad y en muchas ocasiones no se documenta la problemática o solución, y poco a poco se pierde el registro de las reparaciones de la maquinaria.



Figura 15. Imagen descriptiva de reparación sin supervisión.

Fuente: Leach international (2020).

3.3 Pregunta de investigación

¿Qué prueba detecta las fallas funcionales de campo en planta sin incrementar el costo y tiempo de manufactura?

3.3.1 Hipótesis

Dado el problema anteriormente mencionado, se han trazado las siguientes hipótesis, pretendiendo responderse con la puesta en marcha de la prueba descrita en esta investigación.

Ho: Existe un circuito eléctrico de ciclado que no detecte al 90 % las fallas funcionales de campo en planta sin incrementar el costo y el tiempo de manufactura?

Ha: Existe un circuito eléctrico de ciclado que detecte al 90 % las fallas funcionales de campo en planta sin incrementar el costo y el tiempo de manufactura?

3.4 Objetivos del proyecto

- Reducir los retornos de cliente. □ 90 % □ 7 RPA
 - Aumentar la detección en casa. □ 100 %
 - No incrementar el costo del producto □ 1580 Usd.
 - Mantener tiempo de ciclo □ 46,800 Segundos.

Los datos mostrados en los capítulos anteriores, facilitan poner en práctica la metodología para asegurar la resolución de la problemática existente.

4. Metodología de la investigación

La metodología partió de una investigación documental para identificar métodos, datos, resultados, pruebas eléctricas y circuiterías alternativas generando una mayor eficacia en los filtros de calidad para la aseguranza de los componentes electromecánicos manufacturados en Leach International, comparado con los métodos anteriormente utilizados, haciendo uso de los registros de tiempo recabados a lo largo de los últimos 24 meses.

El desarrollo de la metodología se compone de:

- I. Tomar 30 piezas de manera aleatoria y comparar los tiempos de ambos métodos de prueba.
- II. Graficar las detecciones y cantidades del nuevo método de prueba para documentar la efectividad de la nueva prueba.

- III. Graficar de manera comparativa los tiempos de ambos métodos para medir ahorro de tiempo.
 - IV. Desarrollar protocolos de entrenamiento para asegurar certificación de operadores una vez validada la prueba eléctrica.
- A. Se van liberar 10 ordenes nuevas, nivel final de ensamble serán probadas con ambos métodos, con el único fin de hacer una toma de tiempos y generar datos para poder comparar el ahorro en los tiempos invertidos a cada pieza para el proceso de prueba.
- Se cronometrará el proceso de manera individual (en cada prueba por cada relevador).
- B. Una vez comprobada la reducción del tiempo invertido en el nuevo método de prueba es menor, se graficarán detalladamente las detecciones para tener registro de los escapes de calidad en proceso con áreas de oportunidad para aumentar la efectividad en los puntos de inspección.

5. Resultados

5.1 Comparativa de tiempo en métodos de prueba

En las siguientes graficas se muestran los resultados de la comparativa de ambos métodos. Los tiempos de las pruebas con el anterior método, fueron sumados y graficados para efectos de mejor comprensión y análisis de datos, una muestra de 30 piezas fue seleccionada de manera aleatoria, ha sido probada y comparada en la variable de tiempo.

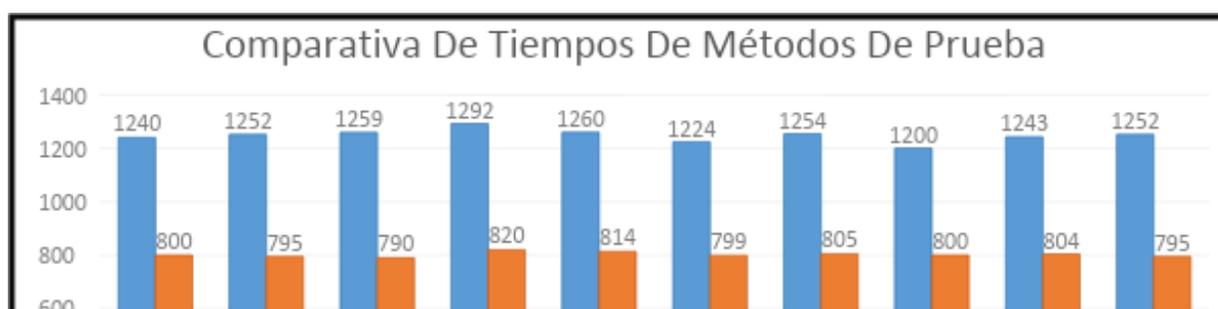
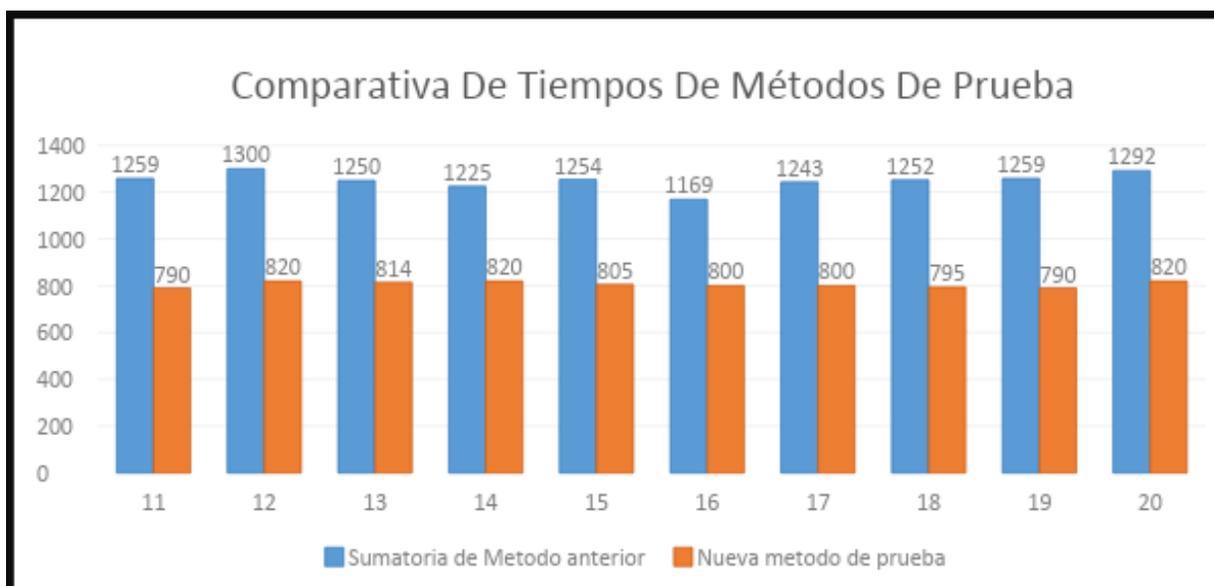


Figura 16. Resultados de comparación entre ambos métodos

Fuente: Elaboración Propia (2020).

**Figura 17. Resultados de comparación entre ambos métodos**

Fuente: Elaboración Propia (2020).

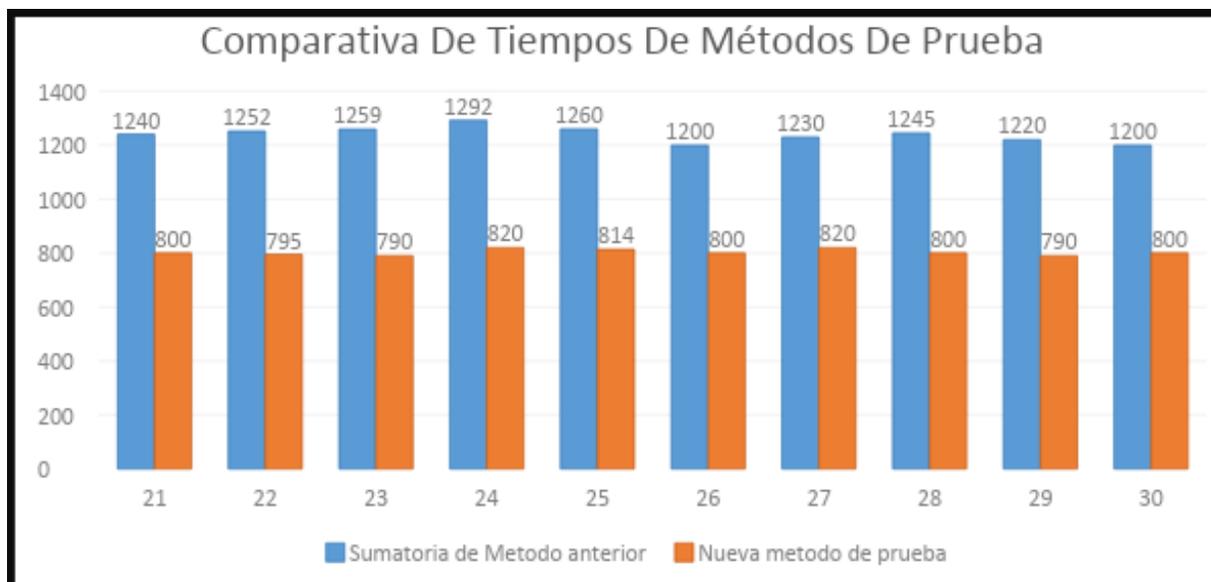


Figura 18. Resultados de comparación entre ambos métodos

Fuente: Elaboración Propia (2020).

Las siguientes graficas muestran el resultado final de los ahorros en tiempo, contrastando ambos procesos de prueba, es notorio como el nuevo método se reduce y ahorra 450 segundos de tiempo por cada pieza, equivalente a un 36 % del total de tiempo contemplado en el método anterior. Esto sin sumar las detecciones en casa, asegurando una reducción en los retornos de cliente.

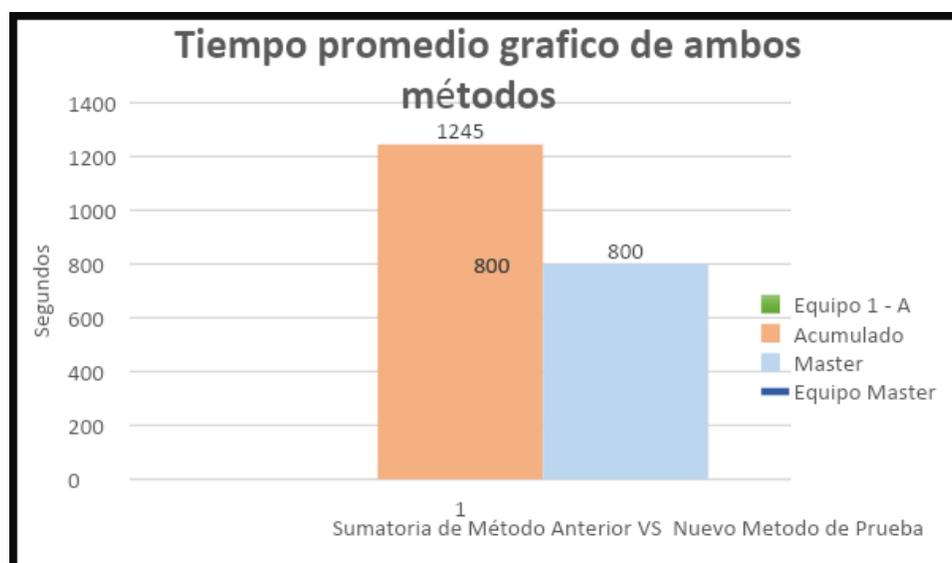


Figura 19. Resultados de comparación entre ambos métodos

Fuente: Elaboración Propia (2020).

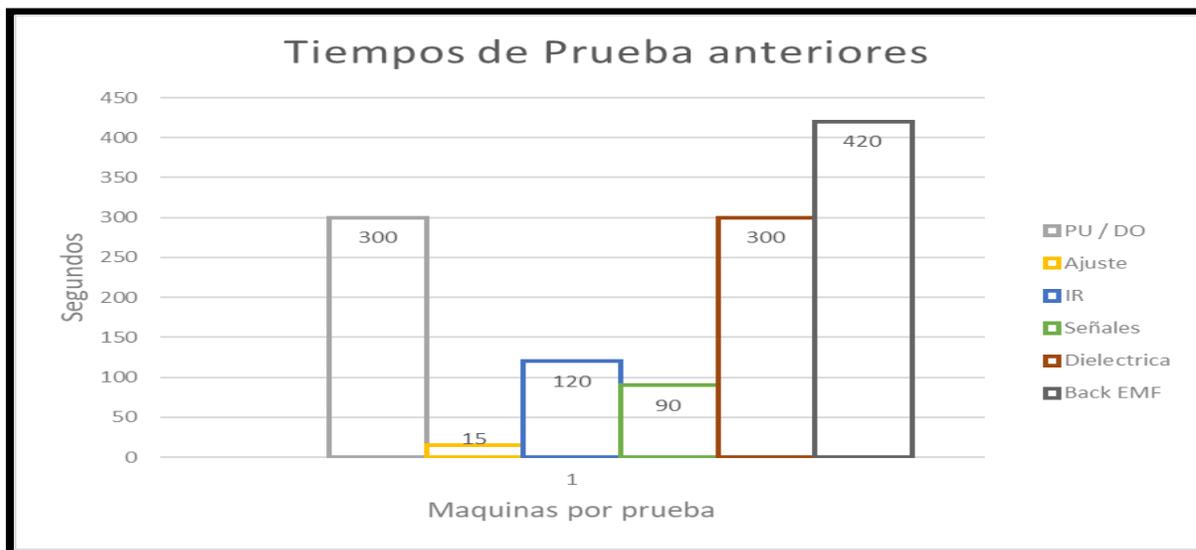


Figura 20. Desglose de tiempos por prueba

Fuente: Elaboración Propia (2020).

5.2 Documentación de detecciones en casa

Los relevadores en mención contarán con un nuevo filtro de calidad (prueba eléctrica), por vez primera serán sometidos a un nuevo “paso” dentro del proceso de manufactura, tratando de detectar fallas eléctricas en el interior del componente y evitar escapes de calidad con el objetivo de reducir los retornos de cliente.

A continuación, se presenta la documentación del muestreo de componentes sometidos en un 100 % desde la invención del circuito, la cual pretende eliminar el costo, derivado de defectos detectados en campo, y con esto aceptar la hipótesis alternativa apoyándonos a responder la pregunta de investigación.

Hasta el 18 de mayo del 2020 se han documentado 4 ordenes después de la implementación del nuevo circuito, a continuación, se muestran los resultados preliminares de las pruebas

n = 70 piezas X orden.

Modo de falla	Prueba	Cantidad	Porcentaje	Retorno de cliente hasta el 5/18	
Falla no detectada	Prueba de activación y ciclado	0	0.0%	0.0%	
Falla de cliente		0	0.0%	0.0%	
Navaja quebrada		3	6.3%	0.0%	
Tiempo de activación		5	10.4%	0.0%	
Tiempo de señales		0	0.0%	0.0%	
Indicador y pulso		7	14.6%	0.0%	
Sin datos		0	0.0%	0.0%	
Navaja quemada		2	4.2%	0.0%	
Prueba de insulación		9	18.8%	0.0%	
Corto Circuito		22	45.8%	0.0%	
Total			48	100.0%	0.0%

Figura 21. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

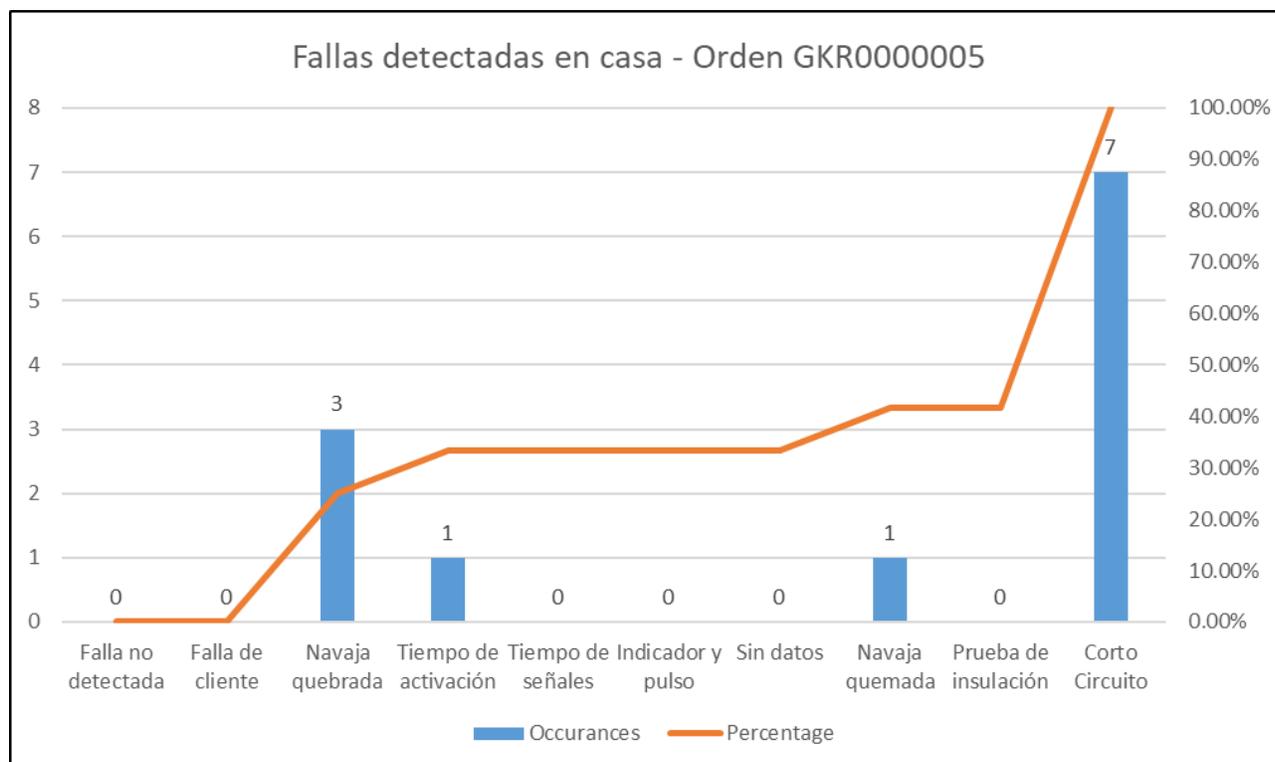


Figura 22. Datos graficados. Fuente: elaboración propia (2020).

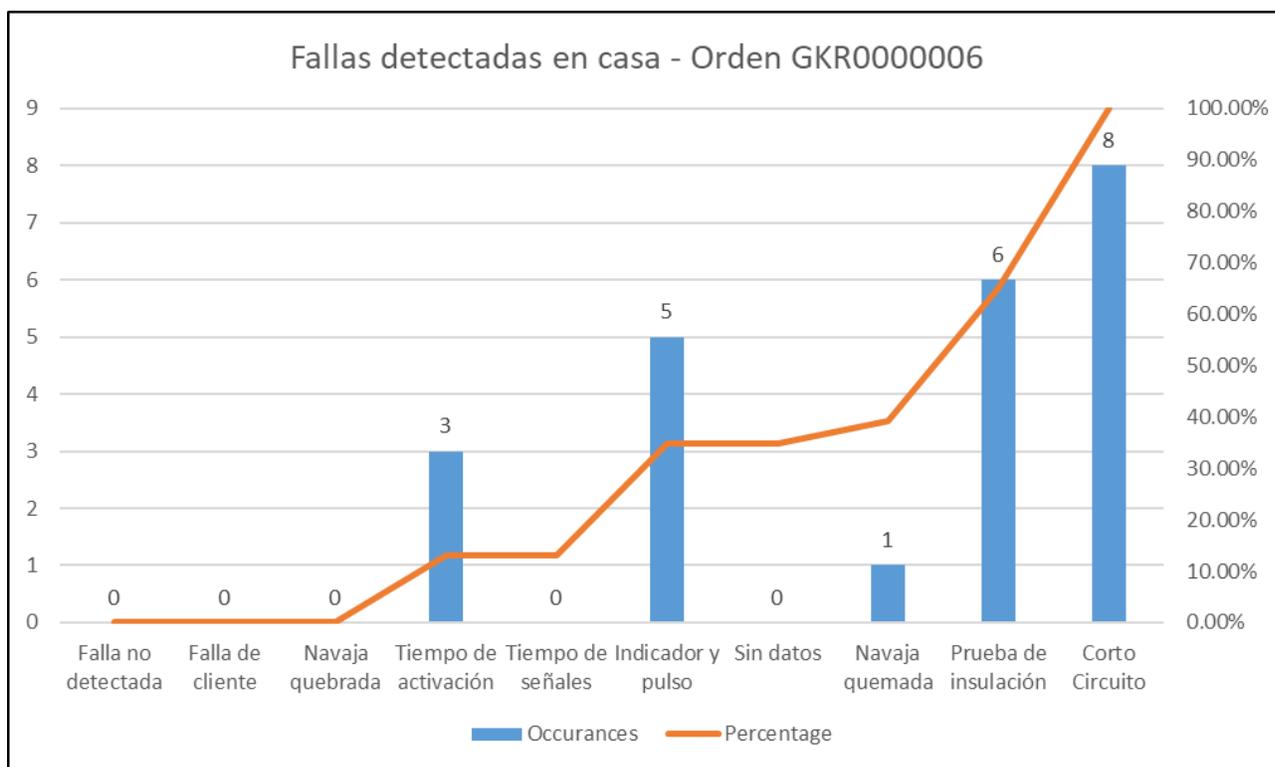


Figura 23. Datos graficados. Fuente: elaboración propia (2020).

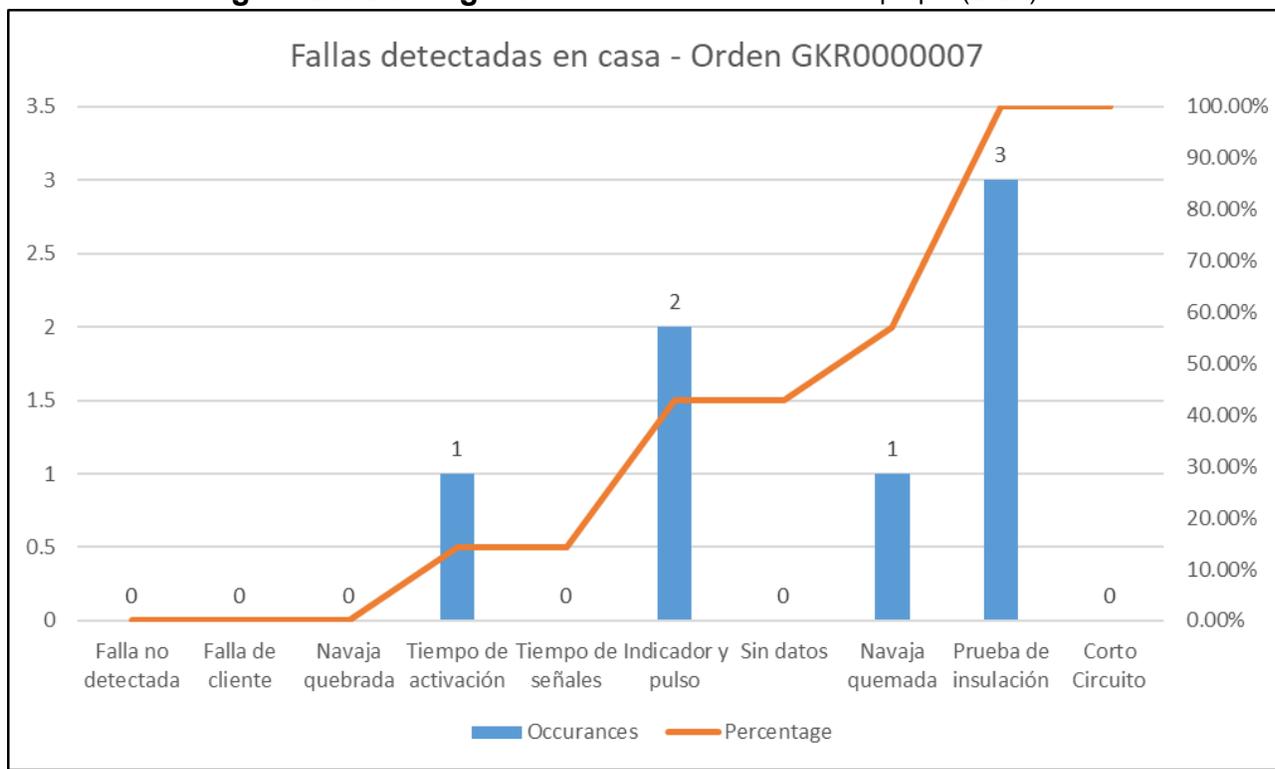


Figura 24. Datos graficados. Fuente: elaboración propia (2020).



Figura 25. Datos graficados. Fuente: elaboración propia (2020).

Después de la primera corrida, un segundo lote de piezas fue requerido, pues se detectaron anomalías y recurrencia en modos de falla.

Seguido de ciertos cambios a los componentes del circuito, los escapes detectados en casa han sido los siguientes.

A continuación, se presenta el desglose por orden liberada y probada hasta el 05/21/20.

NOTA: debido a la contingencia (COVID - 19), el tamaño de la población es reducido en comparación a los rechazos documentados durante los años fiscales 2017 – 2019.

Modo de falla	Prueba	Cantidad	Porcentaje	Retorno de cliente hasta el 5/23
Falla no detectada	Prueba de activación y ciclado	0	0.00%	0.0%
Falla de cliente		0	0.00%	0.0%
Navaja quebrada		1	3.70%	0.0%

Tiempo de activación		10	40.74%	0.0%
Tiempo de señales		5	59.26%	0.0%
Indicador y pulso		5	77.78%	0.0%
Sin datos		0	77.78%	0.0%
Navaja quemada		0	77.78%	0.0%
Prueba de insulación		0	77.78%	0.0%
Corto Circuito		6	100.00%	0.0%
	Total	27	100.00%	0.0%

n = 50 piezas X orden.

Figura 26. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

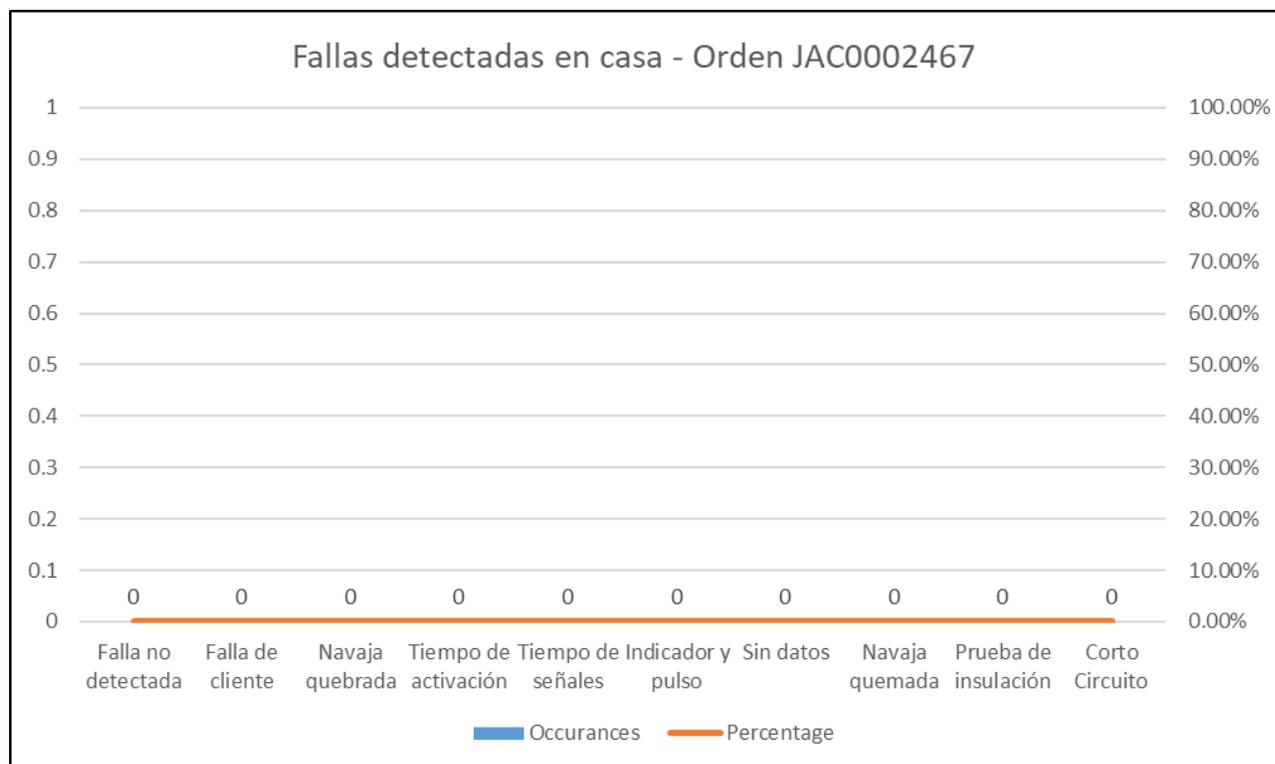


Figura 27. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

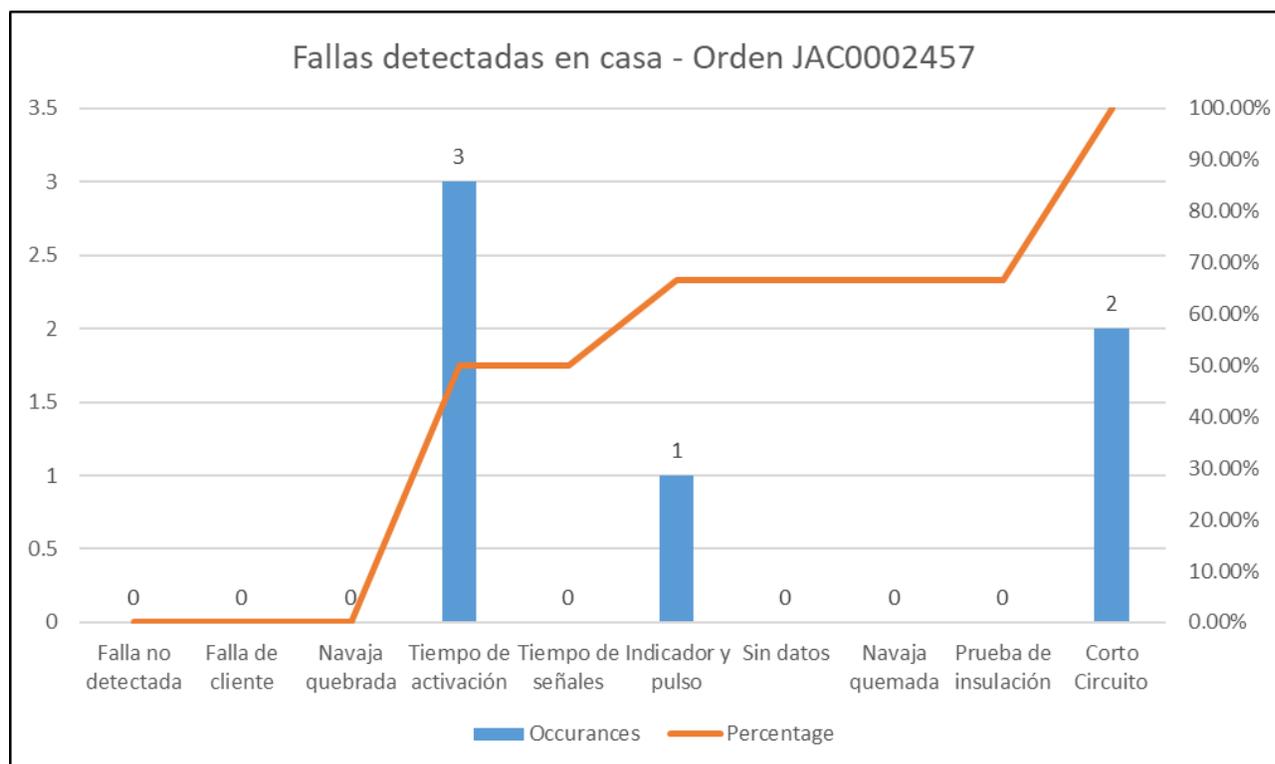


Figura 28. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

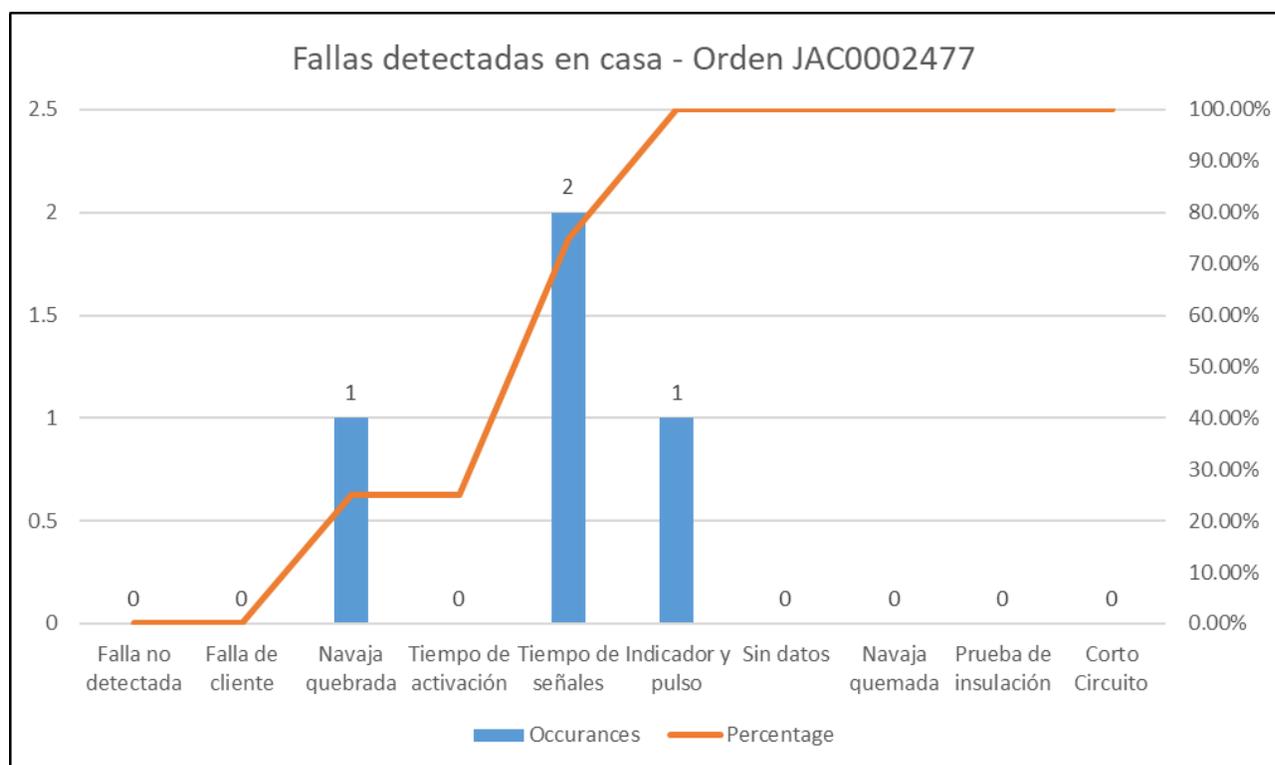


Figura 29. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

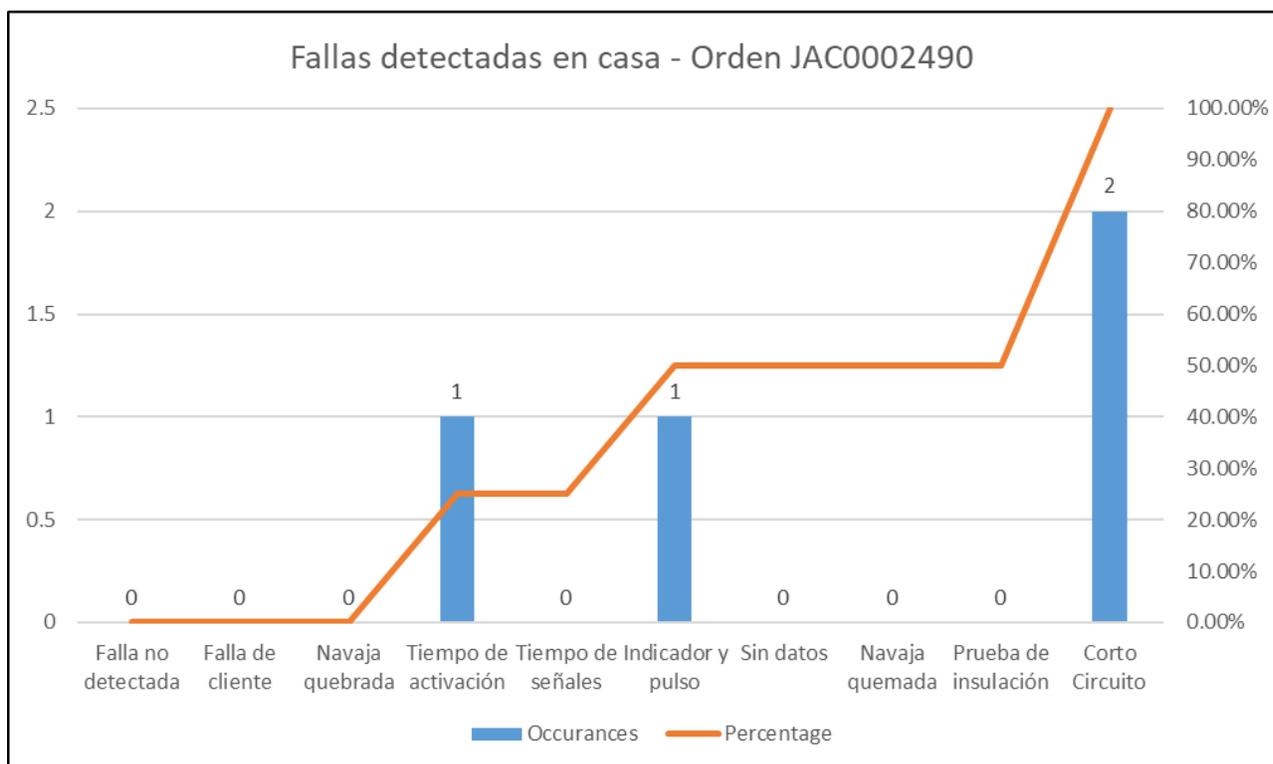


Figura 30. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

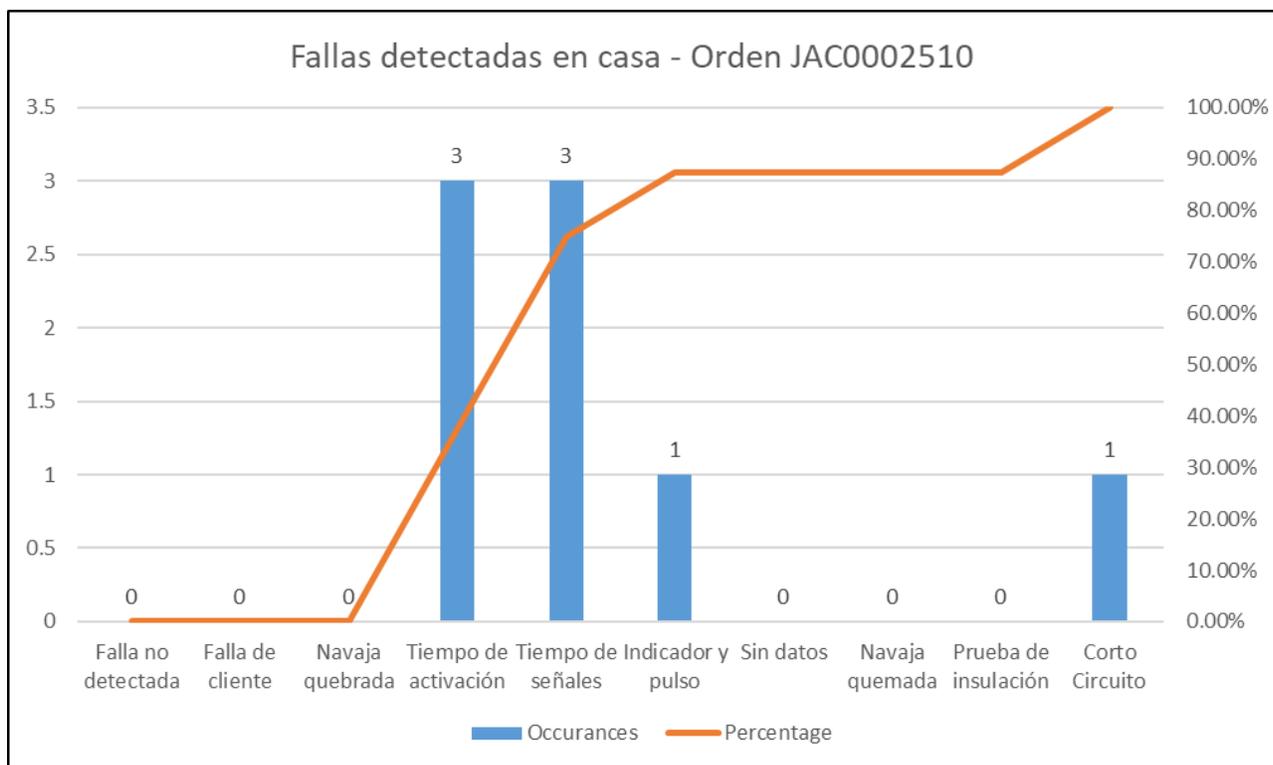


Figura 31. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

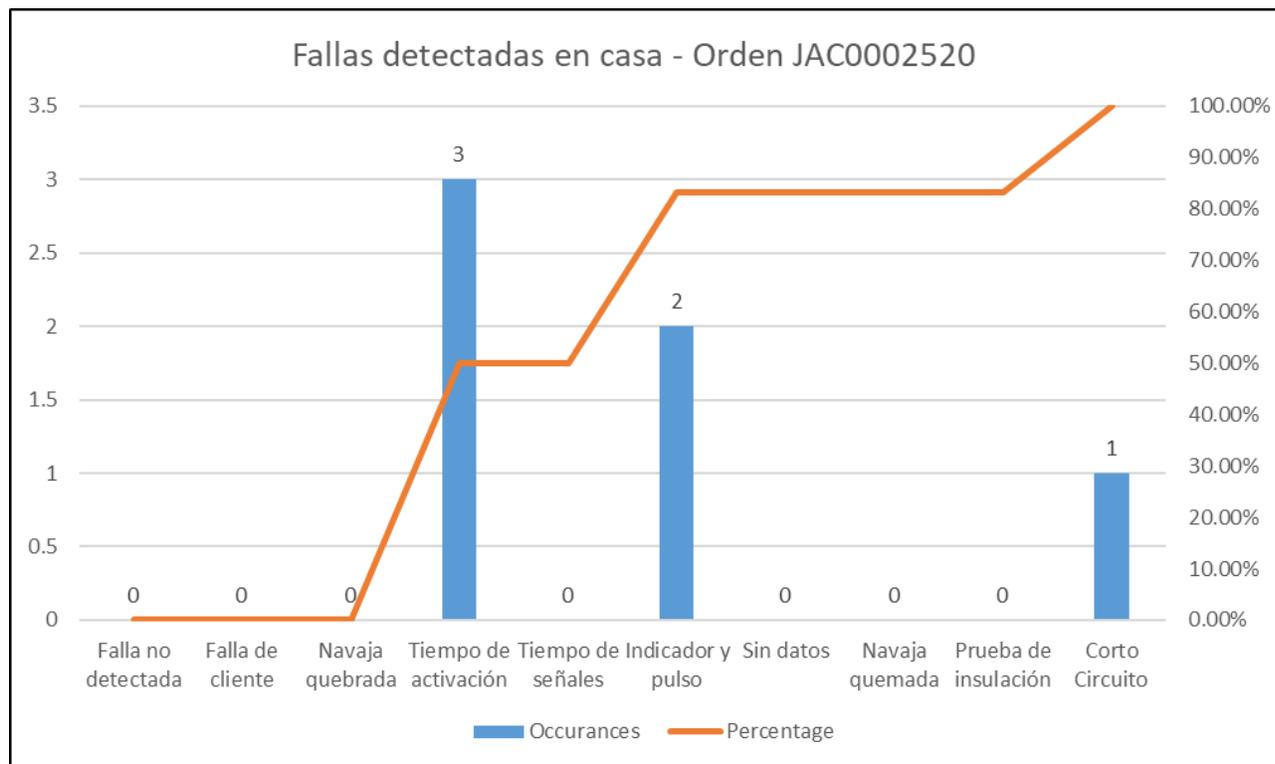


Figura 32. Datos documentados. Fuente: elaboración propia (2020)

6. Discusión de resultados

El resultado de los modos de falla detectados con la prueba implementada, muestra un índice de detección positivo, esto refleja en el área de ensamble y procesos de manufactura, escapes producidos por este tipo de dolencias en proceso, una vez activado el relevador. Como se muestra en las gráficas, las fallas por corto circuito son el pico de rechazo, esto representa imperfectos en la circuitería eléctrica implementada para dicha prueba o aún peor, áreas de mejora de oportunidad, pues no controlamos procesos internos, exponiendo carencias en el área de control de calidad en proceso o dudoso criterio.

Debido a la contingencia COVID – 19, no fue posible realizar la comparación de fallas detectadas entre una prueba y otra, por la falta de personal, sentido de urgencia en las órdenes y la nula accesibilidad de gerencia en la matriz de la compañía situada en Buena Park, CA.

Las tablas 16 a 18 hacen referencia a la validación y capacidad de proceso, pues se genera un ahorro de 450 Segundos por pieza, representando un 36 % de ahorro, es apresurado asegurar

el ahorro monetario representado para LEACH INTERNATIONAL, pues se está produciendo de manera mínima, cada orden se fabrica al 50 % de su capacidad e impide explotar la prueba a máxima carga y asegurar si esto provoca reacciones inesperadas.

Podemos mostrar en las figuras 21 y 26 la eficacia de la nueva prueba, mayor a los métodos anteriores, pues estamos detectado en lotes de producción, defectos mínimos, y no pueden ser captados en líneas de producción, solo en el modo de falla “Tiempo de activación” se detectaron 15 piezas de 580 sometidas a prueba (2.58 %), siendo este modo de falla el más inesperado, pues representa un problema de concientización por parte de personal, el cual puede ser reducido e incluso eliminado dando el seguimiento apropiado con el asociado involucrado.

Los resultados plasmados en las gráficas 27 – 32, reflejan después de haber aplicado cambios en los componentes de la nueva maquinaria, se aminoraron las fallas derivadas del modo “corto circuito”, reflejando la necesidad de documentación para tener control de donde se producen y cuáles son los modos de falla con mayor repetitividad y atacar el problema de raíz, pretendiendo alcanzar las metas: cero defectos y nulo índice de rechazo por temas eléctricos y de ajuste mecánico.

7. Conclusión

La prueba eléctrica de ciclado logró detectar como mínimo el 90 % de las fallas funcionales de campo en casa, reduciendo el tiempo de ciclo en el proceso de prueba en un 36 %, equivalente a 450 Segundos.

Dado el reducido tamaño de población, es prematuro plasmar una cifra monetaria capaz de expresar el ahorro logrado con la reducción de tiempo aplicando el método de prueba eléctrica.

La implementación de la prueba eléctrica de ciclado ha reflejado una reducción en retornos de cliente, generando ahorro, evitando el reemplazo de producto por pieza defectuosa.

La investigación futura recomendada es, llevar acabo el estudio del cálculo monetario real generado por la reducción de tiempo en proceso, así como también modificar la circuitería interna de la estación de prueba para reducir el tiempo de respuesta.

8. Referencias Bibliográficas

- 1, David Wright. (Marzo, 2012). *Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications*, Londres, Reino Unido. Trilateral Resear & Consulting.
2. YA. Z. Tsyarkin. (1984), *Relay Control System*, New York, USA. Cambridge Unirversity Press.
3. Edgar Ramirez-Laboreo, Carlos Sagues, Sergio Llorente (2013), *A New Model of Electromechanical Relays for Predicting the Motion and Electromagnetic Dynamics*, Espana, Ministerio de educacion, Cultura y deporte, Gobierno de Espana.
4. Jun Shen, (2009), *Electromechanical Latching Relay and method of operating time*, AZ, USA.

5. Diana Carolina Bejarano, (2014), *Análisis de la responsabilidad civil del transportador en accidentes aéreo*, Bogotá, Colombia, Universidad Militar Nueva Granada.
6. David Owen, (2002), *Air accident Investigation*, USA, Emerald Group Publishing Limited.
7. Airfleets. (2002-2020). Airfleets.net: USA. Obtenido de https://www.airfleets.es/crash/crash_year_2018.htm
8. LEACH INTERNATIONAL ASIA PACIFIC LTD. (Septiembre de 2019). AADdesk makes your business go worldwide®: China. Obtenido de <http://www.aaddesk.com/goods/company.htm?com=companygoods&goods.pid=1799&goods.companycode=9FEE46B9B20B478DAB63EFABE969BB8B>
9. Ltd, Pickering Interfaces. (2018). Pickering Interfaces Ltd: USA. Obtenido de <https://www.pickeringtest.com/en-mx/kb/hardware-topics/relay-reliability/finding-relay-failures>
10. obs bussines school. (2020). obs business blog: USA Obtenido de <https://obsbusiness.school/es/blog-investigacion/direccion-general/lean-management-metodologia-origenes-y-principios>
11. Pinterest. (marzo de 2015): USA. Obtenido de <https://www.pinterest.com/pin/804244445935721199/?d=t&mt=login>
12. Software Testing Fundamentals. (2019). Software Testing Fundamentals: Reino Unido. Obtenido de <http://softwaretestingfundamentals.com/acceptance-testing/>