



## El uso de tableros de diagnóstico para detectar imperfecciones en el cableado eléctrico de un equipo de prueba

Ing. Tomás Alejandro Jaramillo Rodríguez

[M20261183@matamoros.tecnm.mx](mailto:M20261183@matamoros.tecnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-4416-4464>

Tecnológico Nacional De México Campus Matamoras

Dr. Alan León González Almaguer

[alan.ga@matamoros.tecnm.mx](mailto:alan.ga@matamoros.tecnm.mx)

Tecnológico Nacional De México Campus Matamoras

Dr. Jorge Alberto Orrante Sakanassi

[jorge.os@matamoros.tecnm.mx](mailto:jorge.os@matamoros.tecnm.mx)

Tecnológico Nacional De México Campus Matamoras

Dra. Ileana Guzmán Prince

[ileana.gp@matamoros.tecnm.mx](mailto:ileana.gp@matamoros.tecnm.mx)

Tecnológico Nacional De México Campus Matamoras

H. Matamoras Tamaulipas México

### RESUMEN

El siguiente estudio se realizó en una empresa dedicada a la manufactura de dispositivos de iluminación, con el fin de reducir tiempos en la búsqueda de desperfectos del cableado de un equipo de prueba, para ello, se utilizó un banco de resistencias denominado “Tablero de diagnóstico”, el cual con ayuda de un equipo de alto potencial (HIPOT), se miden fugas de corriente, las cuales se obtienen mediante la aplicación de alto voltaje en el tablero de diagnóstico, en base a los resultados, se determina si el cableado tiene o no imperfecciones o desperfectos. Para la creación del tablero de diagnóstico, los valores de resistencias y voltajes que se utilizaron durante el estudio se seleccionaron a través de cálculos matemáticos.

Para medir la factibilidad del uso del tablero de diagnóstico y se utilizó el software estadístico denominado Minitab.

Se demostró que, si se aplica un voltaje determinado a través de una resistencia generando una fuga de corriente se determinar si existe o no imperfecciones en el cableado eléctrico de un equipo de prueba. Y así confirmar mediante evidencia estadística, que los tableros de diagnóstico son una herramienta de soporte confiable para su uso dentro de una empresa privada.

**Palabras clave:** corriente eléctrica; gage R&R; hipot; prueba eléctrica; resistencia electrónica.

Correspondencia: [tomasjaramillo6@gmail.com](mailto:tomasjaramillo6@gmail.com)

Artículo recibido: 02 mayo 2022. Aceptado para publicación: 25 mayo 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Como citar: Jaramillo Rodríguez, T. A., González Almaguer, A. L., Orrante Sakanassi, J. A., & Guzmán Prince, I. (2022). El uso de tableros de diagnóstico para detectar imperfecciones en el cableado eléctrico de un equipo de prueba. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 2991-3005. DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i3.2433](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2433)

## The use of diagnostic tables to detect imperfections in the electrical wiring of an equipment of prueba

### ABSTRACT

The following study, it was carried out in a company dedicated to the manufacture lighting devices, in order to reduce times in the search for faults in the wiring of a test equipment, for this, a bank of resistances called "Diagnostic board" was used , which with the help of a high potential equipment (HIPOT), current leaks are measured, which are obtained by applying high voltage on the diagnosis board, based on the results, it is determined if the wiring has or not has imperfections or damage. For the creation of the diagnostic board, the values of resistances and voltages that would be used during the study were selected through mathematical calculations. To measure the feasibility of using the diagnostic board, the statistical software called Minitab was used.

It was shown that applying a given voltage across a resistor generating a current leak will determine whether or not there are imperfections in the electrical wiring of a test set.

And thus confirm through statistical evidence that "Diagnostic board" are a reliable support tool for use within a private company.

**Keywords:** *electric current; gage R&R; hipot; electrical test; electronic resistor.*

## INTRODUCCIÓN

Una prueba eléctrica se realiza para asegurar que un producto este dentro de sus especificaciones, las necesidades de realizar pruebas se presentan en diferentes etapas del producto, como lo es el desarrollo, la manufactura y vida operacional. (Bolton, 1995)

La mayor parte de las pruebas paramétricas implican mediciones de corriente contra voltaje o capacitancia contra voltaje. (Wadsworth, 2018)

Una prueba eléctrica de vital importancia es la prueba hipot también conocida como prueba de alto potencial, es utilizada para confirmar que los cables tengan un aislamiento mínimo capaz de soportar el estrés eléctrico para el cual fue construido. (Gupta et al., 2009) El procedimiento de esta prueba es el estresar el aislamiento de un producto, estresándolo a un punto que nunca encontraría durante su uso normal.(SCI, 2019)

Usualmente los fabricantes y usuarios de cualquier tipo de embobinado, aplican este tipo de prueba periódicamente (Nuñez, 2020), esto para la búsqueda de imperfecciones en el sistema de aislamiento, de igual forma la prueba de hipot se puede considerar una prueba rutinaria para la verificación del aislamiento durante el proceso de manufactura.(“IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage”, 2002)

Las pruebas de hipot se pueden aplicar a cualquier producto electrónico que contenga embobinados, y al tomarse en cuenta como una prueba rutinaria, se debe validar su correcta aplicación durante el proceso de manufactura, y en caso de ser necesario aplicarse algún tipo de mantenimiento.

Recordando que se le puede llamar mantenimiento a todo tipo de acción que se realiza para que cualquier maquina o componente este en condiciones aptas para su funcionamiento.(Pérez, 2021)

Uno de los tipos de mantenimientos más importantes es el mantenimiento preventivo, el cual se basa en un conjunto de acciones previamente programadas para realizarse en un periodo de tiempo determinado, se realizan con el propósito de garantizar que los equipos o maquinas cumplan con su propósito evitando cualquier inconveniente, de esta forma se previene y se anticipan a las posibles fallas que puedan aparecer en los diferentes activos de una empresa determinada. (Zhu y Guo, 2017)

Podemos decir que el realizar pruebas eléctricas, enfocadas en alto voltaje como lo son las pruebas de HIPOT, requieren un constante monitoreo, validación y mantenimiento de

ser necesario, todas estas acciones pueden considerarse o interpretarse como obstaculización en los tiempos enfocados a producción, o visto de otra forma se le puede llamar tiempos muerto, también conocido como tiempo de inactividad, se le da este término cualquier situación que genere un paro total traducido como reducción de la rentabilidad. (Garcés y Castrillón, 2017)

Lo que busca este proyecto es la comprobación de una correcta validación de los equipos de prueba que usan el instrumento denominado HIPOT, ya que al realizarse un correcto proceso de validación de equipos de prueba se puede mejorar la confiabilidad producida por los equipos de prueba; Cuando se habla de confiabilidad se habla de la probabilidad de que un producto opere correctamente de acuerdo a sus especificaciones de diseño dentro de un periodo de tiempo establecido (Acuña, 2003).

Cabe destacar que, en la industria maquiladora, más conocidos como fábricas (Boroski, 2019), algunas de estas validaciones y/o procesos se realizan de forma manual y susceptible a un error.

Por tal motivo esta investigación involucra la creación y diseño de lo que a partir de aquí llamaremos “Tablero de diagnóstico”.

Existen diferentes herramientas de diagnóstico dentro de la industria manufacturera, algunas veces se suelen llamar tableros de control, tableros de mando o simplemente tableros eléctricos.

Mientras que los tableros de control son herramientas diagnóstico con indicadores que permiten un seguimiento (CONSTEC, 2017); A cualquier programa de computadora que genere gráficos y evaluaciones se le considera tablero de mando.

Al mismo tiempo los tableros eléctricos pueden ser un gabinete o una caja que contenga dispositivos de medición o conexiones para cumplir una tarea determinada en un sistema eléctrico. (Rodríguez, 2012)

Una vez aclarado esto, lo que en esta investigación consideramos tableros de diagnóstico es una especie de dispositivo que en su interior contenga componentes electrónicos los cuales con ayuda de un equipo de medición denominado HIPOT nos determine el estado del cableado eléctrico de un equipo de prueba.

Estableciendo que el objetivo de esta investigación es el crear tableros de diagnóstico que permitan detectar desperfectos en la conexión de un equipo de prueba.

Cabe destacar que en la locación donde se realiza este proyecto, no se ha implementado un método automático para la validación de los equipos de prueba, previamente antes de la implementación de este proyecto las validaciones se realizaban de manera manual por un técnico de mantenimiento.

Resaltando que existen registros del uso del instrumento llamado HIPOT para la determinación de las condiciones en terminales eléctricas, en su tesis de posgrado el Ing. Jesús Roberto Martínez, nos muestra una investigación donde utiliza el instrumento HIPOT para generar curvas de fugas de corriente y con un sistema matemático determinar el estado en el que se encuentran las terminales eléctricas instaladas.(Martínez, 2002)

Considerando que ya hay evidencia del uso del instrumento HIPOT para la ayuda de la búsqueda de imperfecciones en un sistema eléctrico o electrónico, se puede establecer que la orientación de este proyecto cuenta con antecedentes.

Se espera que este con el diseño, creación e implementación de los tableros de diagnóstico, se detecte mínimo el 80% de la continuidad en el cableado eléctrico de los equipos de prueba.

## **METODOLOGÍA**

Se realizó un estudio de tipo explicativo donde se buscó encontrar las razones o causas que ocasionan una mala verificación a los equipos de prueba, se observó la oportunidad de mejora en dicho proceso de validación.

Con estas mejoras, el proceso de validación del equipo de prueba cambio a un método más eficiente.

El nuevo método involucra un estudio de repetibilidad y reproducibilidad, donde se observan los cambios en los valores de medición en ciertas condiciones (Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, 2010), en este método estadístico se evaluarán los tableros de diagnóstico, para asegurarnos que cualquier persona que realice el nuevo proceso obtenga el resultado que buscamos.

De esta manera, analizaremos los datos estadísticos obtenidos para compararlas con nuestras hipótesis, evaluando resultados.

Al utilizar métodos estadísticos para determinar la eficiencia del proyecto se establece que la metodología a utilizar es de carácter cuantitativo, ya que se medirán unidades y

magnitudes numéricas de la unidad experimental que se está evaluando.(Beaver et al., 2010)

Como se ha mencionado previamente, este estudio se realizó en una empresa privada y por tal motivo para la delimitación de la población y muestra, se tomaron en cuenta los productos de alto volumen, así como las líneas de producción donde se manufacturan; recordemos que los productos de alto volumen son considerados los de mayor rendimiento para fabricar y vender, lo que se traduce como mayor demanda.(Baldwing, 2019)

Una vez determinados los modelos “alto volumen”, se inició la construcción de los tableros de diagnóstico.

### **Cálculos matemáticos**

El tablero de diagnóstico fue construido para evaluar el cableado eléctrico de un equipo de prueba, se determinó que la mejor forma de evaluar si existen imperfecciones en el cableado eléctrico era mediante fugas de corriente, recordemos que la corriente eléctrica es el flujo de una carga eléctrica que recorre un material conductor (Purcell, 2013), concluyendo que cualquier desperfecto en un cable generaría un cambio en la corriente eléctrica que pasa atravesada dicho cable.

Basados en la “Ley de Ohm”, para generar una corriente eléctrica se necesitan 2 cosas, un voltaje y una resistencia. (Torrente, 2016)

Al considerar eso, se determinó que para que el tablero de diagnóstico funcione debe utilizarse en conjunto con un instrumento de medición que genere altos voltajes, de igual manera se determinó que el tablero de diagnóstico es solamente un banco de resistencias.

El instrumento de medición que genera voltajes y que a su vez mide fugas de corriente es un equipo de alto potencial denominado “HIPOT” (Gupta et al., 2009),este equipo puede medir hasta una corriente de 10mA.

Al delimitar la corriente máxima a poder medir, se delimito que el voltaje que se usaría sería 300V, esto debido a que los productos que se manufacturan en la empresa donde se realizó este estudio operan funcionalmente en voltajes como 120Vac y 277Vac; por lo tanto, al realizar el estudio en 300 volts cubriría los voltajes usados en los productos de la empresa.

Al tener definidos la corriente máxima a medir y el voltaje de operación; se determinó el valor de resistencia adecuado para el estudio mediante la aplicación de la ley de Ohm como se muestra en la ecuación 1.

**Ecuación 1: Ley de Ohm aplicada para determinar valor resistivo considerando voltaje y corriente**

$$R = \frac{V}{I} = \frac{300V}{.009A} = 33,333\text{ohm}$$

De acuerdo al resultado obtenido en la Ecuación 1 se determina que el valor ideal resistivo a utilizar es de 33,333 Ohm, pero al no ser un valor comercial, se optó por el valor comercial más cercano a este, el cual es 33,000 Ohm. Definiendo el valor resistivo a utilizar se vuelve a utilizar la ley de ohm como se muestra en la ecuación 2, para determinar que el nuevo valor de resistencia cumpla con el límite que puede medir nuestro instrumento de alta tensión (HIPOT).

**Ecuación 2: Ley de Ohm aplicada para determinar valor de corriente considerando voltaje y resistencia**

$$I = \frac{V}{R} = \frac{300V}{33,000\Omega} = .009090A = 9.0909mA$$

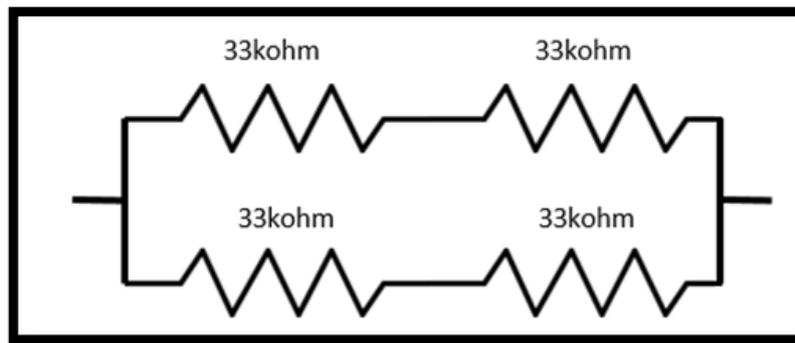
Un factor importante para considerar es la potencia máxima que puede pasar por la resistencia, aplicando la “Ley de Watt” (Torrente, 2016), se calculó que la potencia máxima, como se observa en la ecuación 3.

**Ecuación 3: Ley de Watt aplicada para obtener la potencia que pasara a través de una carga considerando voltaje y corriente del circuito**

$$P = V * I = 300V * .009090A = 2.727W$$

Las resistencias que se tenían a disposición son de 3 watts, por tal motivo de acuerdo a la ecuación 3, están aptas para usarse, pero considerando que están en el límite superior del valor calculado y por seguridad, se realizó un arreglo de un circuito en paralelo el cual su resistencia equivalente es de 33Kohm, como se muestra en el diagrama esquemático de la figura 1, la cual, se puede interpretar como un mapa que indica el ensamblaje de ciertos componentes electrónicos. (Hernández, 2022)

Figura 1: Paralelo de 2 resistencias en serie.



Fuente: Elaboración propia

De esta manera se realiza un arreglo de un circuito en paralelo el cual nos da una resistencia equivalente de 33Kohm.

#### Características del equipo de prueba

El equipo de prueba realiza pruebas funcionales eléctricas a fuentes de corriente, donde paramétricamente evalúa si son piezas buenas o malas. En el equipo de prueba se utilizan 6 cables (Tabla 1), los cuales son los que se evaluarán con los tableros de diagnóstico.

Tabla 1: Cables de los equipos de prueba.

Cables del equipo de prueba	
Cables	Terminal del producto
1	Linea
2	Neutro
3	Output +
4	Output -
5	Control +
6	Control -

Fuente elaboración propia.

Debido a la cantidad de cables, se utilizarían un total de 24 resistencias por tablero de diagnóstico y se realizarían 6 pruebas (una para cada cable).

Por tal motivo para reducir el uso de múltiples resistencias por terminales, se consideró que la secuencia de medición de fuga de corriente sea por pareja de terminales.

De esta manera la secuencia de pruebas eléctrica para medir las fugas de corriente queda de la siguiente manera (Tabla 2).

**Tabla 2:** Secuencia de prueba del tablero de diagnóstico

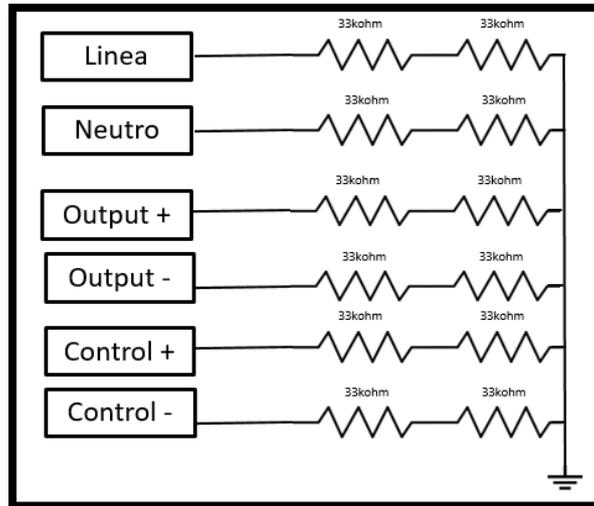
Secuencia de prueba del tablero de diagnóstico		
Prueba	Terminal (+)	Terminal (-)
1	Linea & Neutro	Tierra
2	Output + & Output -	Tierra
3	Control + & Control -	Tierra

*Fuente: Elaboración propia*

### Elaboración del tablero de diagnóstico

Teniendo definidos los equipos de medición a utilizar y las variables matemáticas definidas se procedió a la realización de tableros de diagnóstico, quedando su circuito esquemático de la siguiente manera (Figura 2).

**Figura 2:** Diagrama esquemático del tablero de diagnóstico.



*Fuente: Elaboración propia.*

Se procedió a pasar del diagrama esquemático a la realización del circuito físico, colocando 2 resistencias por terminal como se aprecia en la figura 3 y en la figura 4.

**Figura 3:** Terminal de línea (negro) y neutro (Blanco) con sus respectivas resistencias.



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 4:** Terminal de Output + (roja), output - (azul), control + (violeta) y control- (gris) con sus respectivas resistencias.



*Fuente: Elaboración propia*

Al concluir con la parte de la elaboración se pasó a identificar los tableros de diagnósticos mediante etiquetas (Figura 5) para que cualquier persona pueda diferenciarlas.

**Figura 5:** Vista final del tablero de diagnóstico.



*Fuente: Elaboración propia.*

### **Realización del estudio de Repetibilidad y reproducibilidad**

Se realizó un estudio de repetibilidad y reproducibilidad para demostrar estadísticamente que los prototipos funcionan y cumplen con su propósito en los equipos de prueba.

La metodología empleada para el análisis de datos del estudio fue a través del software denominado "Minitab", el cual es un software estadístico muy comercial con una velocidad y precisión increíble.(Beaver et al., 2010)

Los datos fueron tomados de la línea de producción con previa anticipación (Tabla 3), para poderlos introducirlos en el software estadístico.

**Tabla 3:** Datos del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

#	Parte	Operadores	Serial	Modelo en curso	Línea	Tester ID	Fecha	Status	Voltaje Pri	Corriente Pri
1	4	1	HP_DIAG_009	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:37:49#	PASS	0,3	9230
2	3	1	HP_DIAG_008	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:38:30#	PASS	0,3	9250
3	2	1	HP_DIAG_007	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:39:09#	PASS	0,3	9220
4	1	1	HP_DIAG_006	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:39:47#	PASS	0,3	9220
5	5	1	HP_DIAG_001	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:40:26#	PASS	0,3	9260
6	1	2	HP_DIAG_006	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:44:51#	PASS	0,3	9220
7	3	2	HP_DIAG_008	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:45:38#	PASS	0,3	9250
8	4	2	HP_DIAG_009	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:46:17#	PASS	0,3	9220
9	5	2	HP_DIAG_001	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:46:57#	PASS	0,3	9250
10	2	2	HP_DIAG_007	DD15CC55UNVPW-C010C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 12:48:10#	PASS	0,3	9220
11	2	3	HP_DIAG_007	DD15CC55UNVPW-CK10C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 14:58:29#	PASS	0,3	9220
12	5	3	HP_DIAG_001	DD15CC55UNVPW-CK10C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 14:59:03#	PASS	0,3	9250
13	3	3	HP_DIAG_008	DD15CC55UNVPW-CK10C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 14:59:19#	PASS	0,3	9240
14	1	3	HP_DIAG_006	DD15CC55UNVPW-CK10C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 14:59:35#	PASS	0,3	9210
15	4	3	HP_DIAG_009	DD15CC55UNVPW-CK10C	C9	MAMXD-271YV12	#2021-12-08 14:59:53#	PASS	0,3	9220

Fuente: Elaboración propia

Se introdujeron los datos en Minitab, teniendo previamente la plantilla para el estudio de reproducibilidad y repetibilidad, con las características de 4 operadores, 5 piezas y 4 réplicas por pieza (Tabla 4).

**Tabla 4:** Plantilla de datos en software Minitab.

RunOrder	Parts	Operators	Medicion corriente
1	4	1	9230
2	3	1	9250
3	2	1	9220
4	1	1	9220
5	5	1	9260
6	1	2	9220
7	3	2	9250

Fuente: elaboración propia

Teniendo los datos ya colocados en la hoja de trabajo de Minitab, se procedió a realizar el análisis de reproducibilidad y repetibilidad, la opción utilizada en el software fue “Estudio R&R del sistema de medición cruzado”.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el “Estudio R&R del sistema de medición cruzado” el software nos arroja gráficas y tablas, las cuales dependiendo a los resultados determinaran si el equipo de medición tiene buenos índices de repetibilidad y reproducibilidad.

Como se aprecia en la figura 6, uno de los datos estadísticos del estudio fue el parámetro “Gage R&R total” en el cual se obtuvo un 22.55%, y debido al enfoque que tiene nuestro proyecto y basado en los rangos de aceptabilidad de la AIAG como se muestra en la figura

7, es un porcentaje aceptable; La AIAG es una organización mundial donde se comparten los desarrollos e información de la industria automotriz, muchas empresas toman en cuenta la información de la AIAG para establecer estándares(Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, 2010).

**Figura 6:** Resultados "Evaluación del sistema de medición".

Evaluación del sistema de medición			
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	3.4548	20.7289	22.55
Repetibilidad	3.3799	20.2793	22.06
Reproducibilidad	0.7156	4.2939	4.67
Operators	0.7156	4.2939	4.67
Parte a parte	14.9279	89.5671	97.42
Variación total	15.3224	91.9345	100.00

Número de categorías distintas = 6

Fuente: Elaboración propia

**Figura 7:** Porcentajes de aceptabilidad de la AIAG.

Porcentaje de variación del proceso	Aceptabilidad
Menos de 10%	El sistema de medición es aceptable.
Entre 10% y 30%	El sistema de medición es aceptable dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de la reparación u otros factores.
Más de 30%	El sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado.

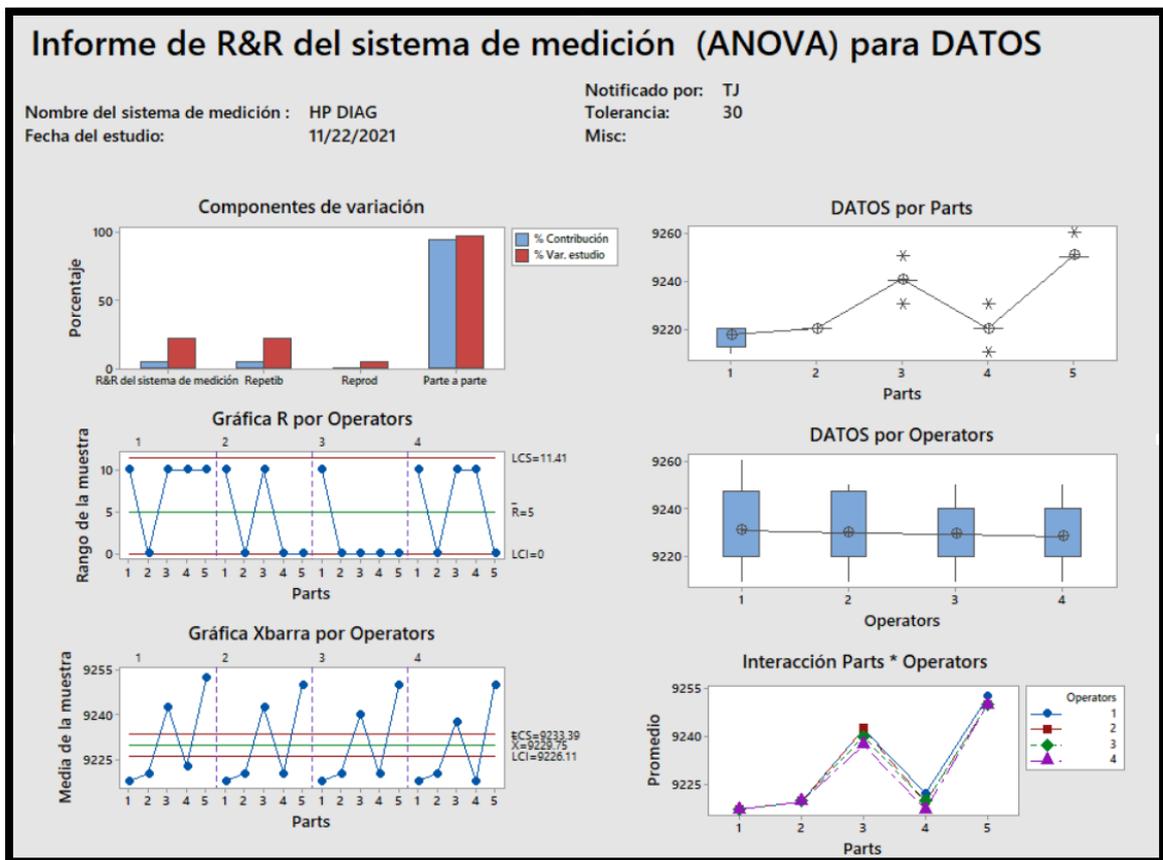
Fuente: Soporte Minitab 18(Minitab, 2018)

Como informe general, el software Minitab nos proporciona un resumen gráfico de los datos obtenidos (Figura 8), con este informe podemos afirmar lo siguiente:

- En la gráfica Componentes de la variación, el porcentaje de contribución de "parte a partes" es mayor que el del R&R total del sistema de medición. Por lo tanto, gran parte de la variación se debe a las diferencias entre las partes involucradas en el estudio.
- La "Gráfica R por operador" no nos muestra un patrón significativo en las mediciones, esto debido a que todos son operadores diferentes.

- En la “Gráfica Xbarra por operador”, la mayoría de los puntos se encuentran fuera de los límites de control. Por lo tanto, la mayor parte de la variación se debe a las diferencias entre las partes involucradas en el estudio.
- La gráfica “datos por parte” muestra la dispersión entre los rangos de medición, lo cual indica que las partes usadas son total mente diferentes.
- La “grafica datos por operador” nos indica las medias de las mediciones agrupadas por operador.
- En la gráfica Interacción parte\*operador, las líneas están aproximadamente paralelas entre ellas, por lo tanto, no existe una interacción significativa entre cada parte y operador.

Figura 8: Resumen de resultados del estudio Gage R&R.



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Al crearse con éxito tableros de diagnóstico diseñados específicamente para detectar desperfectos en conexiones eléctricas en equipos de prueba, se realizó un estudio estadístico donde se comprueba que el diseño y su implementación de este dispositivo

en las líneas de producción es factible y funcional como una herramienta de soporte para mantenimientos tanto preventivos como correctivos.

Gracias a su funcionalidad se comprueba que la aplicación de voltajes en resistencias para generar fugas de corriente es un método factible, rápido y sencillo en la búsqueda de imperfecciones en el cableado de un equipo de prueba.

Debido a la versatilidad en el diseño como en el uso de los tableros de diagnóstico se observa una reducción de tiempos empleados en diferentes tipos de mantenimientos.

#### LISTA DE REFERENCIAS

Acuña, J. (2003). *Ingeniería de confiabilidad*.

Baldwing, G. (2019). *What is a High-Runner Strategy?*  
<https://www.omniaretail.com/blog/what-is-a-high-runner-strategy>

Beaver, B., Beaver, R., y Mendenhall, W. (2010). Introducción a la probabilidad y estadística. En *Cengage Learning*. Cengage Learning.

Bolton, W. (1995). *Mediciones y pruebas electricas y electronicas*. MARCOMBO.

Boroski, A. (2019). *¿Qué es una maquiladora en México?*  
<https://www.shiplilly.com/es/blog/que-es-una-maquiladora-en-mexico/#:~:text=Una de las principales ventajas,se exporta a los EE.>

Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, G. M. C. (2010). Measurement Systems Analysis: Reference Manual. En *Automotive Industry Action Group (AIAG)* (Vol. 4).  
<https://www.aiag.org/store/publications/details?ProductCode=MSA-4>

CONSTEC. (2017). *Lo que no se mide, no se puede controlar*.  
<https://tablerosdecontrol.com.ar/tableros-de-control/>

Garcés, D. A., y Castrillón, O. D. (2017). Diseño de una técnica inteligente para identificar y reducir los tiempos muertos en un sistema de producción. *Informacion Tecnologica*, 28(3), 157–170. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300017>

Gupta, B. K., Stone, G. C., y Stein, J. (2009). Stator winding hipot (high potential) testing. *2009 IEEE Electrical Insulation Conference, June*, 409–413.  
<https://doi.org/10.1109/EIC.2009.5166381>

Hernández, K. (2022). *Diagramas esquemáticos en la reparación de celulares*.  
[aprende.com/blog/oficios/repuracion-de-celulares/diagramas-y-planos-esquematicos-en-reparacion-de-celulares](https://aprende.com/blog/oficios/repuracion-de-celulares/diagramas-y-planos-esquematicos-en-reparacion-de-celulares)

- IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage. (2002). *IEEE*, 1–56.  
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2002.93574>
- Martínez, R. (2002). *Método para evaluar la calidad del aislamiento en terminales de media tensión a partir de pruebas de HIPOT*. UANL.
- Minitab. (2018). *¿Es aceptable mi sistema de medición?* [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/is-my-measurement-system-acceptable/#fntarg\\_1](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/is-my-measurement-system-acceptable/#fntarg_1)
- Núñez, O. (2020). *Prueba De Alto Potencial ( Hi-Pot ) Para La Evaluación Del Bobinado En Máquinas Eléctricas Rotativas*.
- Pérez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*.
- Purcell, E. (2013). *Electricidad y magnetismo* (3rd ed.). Cambridge university press.
- Rodríguez, A. (2012). Instrumentos para tableros. En *Diciembre*.  
[https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Invstigacion/IF\\_DICIEMBRE\\_2012/IF\\_RODRIGUEZ ABURTO\\_FIEE/LIBRO INSTRUMENTOS PARA TABLEROS.pdf](https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Invstigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ ABURTO_FIEE/LIBRO INSTRUMENTOS PARA TABLEROS.pdf)
- SCI. (2019). *Guide to Electrical Safety Testing* (pp. 1–22). <http://go.hipot.com/rs/414-IRJ-976/images/Guide-To-Electrical-Safety-Testing.pdf>
- Torrente, O. (2016). *Arduino Curso Practico De Formacion*. ALFAOMEGA.
- Wadsworth, A. (2018). *The Parametric Measurement Handbook 4th Edition. Keysight Technologies White Paper*. <https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-2508EN.pdf?id=2941515>
- Zhu, Y., y Guo, L. (2017). Sequential preventive maintenance interval determination based on Monte Carlo method for deteriorating systems. *2017 Second International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE)*, 1–5.  
<https://doi.org/10.1109/ICRSE.2017.8030777>