



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis y evaluación de un
sistema de medición por
medio de un estudio R & R**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniero Industrial

P R E S E N T A

Iván Colín Villeda

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Octavio Estrada Castillo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería** por darme la oportunidad de tener una gran experiencia de vida ya que en sus aulas y espacios conocí la gran importancia de la ingeniería en la sociedad.

A todos Aquellos que estuvieron involucrados en este proyecto y que pusieron todo su empeño y dedicación para ser el comienzo de algo importante en la compañía.

A mi asesor el **MI Octavio Estrada Castillo** que estuvo al pendiente del avance y conclusión de este proyecto tan importante en mi carrera.

A mis **familiares y hermanos** que siempre me tendieron la mano cuando lo necesitaba, sin su aliento y apoyo no hubiera logrado esta empresa.

A **Minerva Ramírez Santiago** que llegó en el momento indicado para levantarme y que ahora se ha vuelto en un motor en mi vida para seguir creciendo como persona.

Y el más importante de todos, a **mi Madre Aurora Villeda Martínez** que siempre será mi inspiración para salir adelante en cada reto que me proponga.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	2
Alcance.....	2
Metas a alcanzar con este proyecto:	2
Capítulo 1. Descripción de la Empresa	3
1.1 Historia y Mercado	3
1.2 Estrategias corporativas	5
1.2.1 Misión.....	5
1.2.2 Visión.....	5
1.2.3 Valores corporativos	5
1.3 Sistema productivo de la compañía	5
1.3.1 Organización de la empresa y el departamento de calidad.....	8
1.3.2 Departamento de Calidad	12
1.4 Facilitador de procesos (Fac-pro).....	14
Capítulo 2. Marco teórico	18
2.1 Sistema de medición.	18
2.1.1 Aplicaciones de la medición	21
2.1.2 Rastreabilidad de las mediciones.....	21
2.2 Análisis del Sistema de medición	23
2.2.1 Aspectos clave en las mediciones	24
2.2.2 Errores de medición	25
2.2.3 Propiedades estadísticas de los sistemas de medición.....	26
2.3 Análisis de la variación	27
2.3.1 Principios fundamentales de la variación	28
2.3.2 Variación del proceso de medición	30
2.3.3 Métodos comunes para estudios R&R.....	36
2.3.4 Habilidad, desempeño e incertidumbre de los sistemas de medición	37
2.4 Efectos de las decisiones en los productos	40
Capitulo 3. Metodología de trabajo.....	45

3.1 Descripción y contexto del proyecto.....	46
3.2 Acción correctiva a una no conformidad	49
3.3 Procedimiento de las ocho disciplinas (Proceso y formato 8 D's)	51
3.4 Análisis de Modos y Efectos de Falla de Procesos (AMEFP).....	56
3.4.1 Características comunes del AMEF	57
3.4.3 Requerimientos básicos para un AMEF.....	61
3.4.4 Ventajas y limitaciones de un AMEF	63
3.5 Lineamientos y etapas para un estudio de Repetibilidad & Reproducibilidad (GageR&R)..	64
3.5.1 Aspectos claves y generales para el desarrollo de un procedimiento de evaluación.....	64
3.6 Preparación para una evaluación de sistema de medición.....	65
3.6.1 Criterios de aceptación.....	69
3.7 Conducción de un estudio R & R.....	71
3.7.1 Condiciones del área de pruebas	71
3.7.2 Instrumentos de medición utilizados:	72
3.7.3 Fase de toma de mediciones.....	73
3.7.4 Cálculo de muestra de equipos electrógenos	75
3.8 Costos asociados a los estudios R & R en grupos electrógenos.....	77
3.9 Prueba de normalidad de los datos	78
3.9.1 Prueba de normalidad para intensidad de corriente eléctrica [A].....	78
Corriente (A) para la línea 1	78
Resultados:.....	79
Corriente (A) para Línea 2	82
Resultados:.....	84
Corriente (A) para Línea 3	87
Resultados:.....	88
3.8.2 Prueba de normalidad para la diferencia de potencial [V]	91
DIFERENCIA DE POTENCIAL [V] ENTRE L1-L2.....	91
Resultados:.....	92
DIFERENCIA DE POTENCIAL [V] ENTRE L2-L3.....	95
Resultados:.....	96
DIFERENCIA DE POTENCIAL [V] EN L1-L3.....	99
Resultados:.....	100

3.9 Análisis ANOVA para medias aritméticas en la evaluación del proceso de medición con el uso de más de un instrumento de medición	103
3.9.1 Análisis ANOVA de un factor para la intensidad de corriente eléctrica (A) en la línea 1	104
3.9.2 Análisis ANOVA de un factor para la intensidad de corriente eléctrica (A) en la línea 2	106
3.9.3 Análisis ANOVA de un factor para la intensidad de corriente eléctrica (A) en la línea 3	109
3.9.4 Análisis ANOVA de un factor para la diferencia de potencial (V) entre líneas 1 y línea 2	111
3.9.5 Análisis ANOVA de un factor para la diferencia de potencial (V) entre líneas 2 y línea 3	114
3.9.6 Análisis ANOVA de un factor para la diferencia de potencial (V) entre líneas 1 y línea 3	116
Capítulo 4. Resultados del estudio de Repetibilidad & Reproducibilidad	119
4.1 Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L1. Método promedio-rangos.	119
Análisis.....	120
4.2 Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L1. Método ANOVA.....	123
Análisis.....	123
4.3 Estudio R & R para la diferencia de potencial [V] entre L2 y L3. Método promedio-rangos.	128
Análisis.....	128
4.4 Estudio R & R para la diferencia de potencial entre L2 y L3. Método ANOVA.....	130
Análisis.....	131
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	136
Anexo A.....	139
Resultados de estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica [A]	139
Resultados para Línea 2. Gage R&R Study - XBar/R Method	139
Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L2. Método ANOVA	140
Resultados para Línea 3. Gage R&R Study - XBar/R Method	143
Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L3. Método ANOVA.....	144
Anexo B.....	147
Resultados de estudio R & R para la diferencia de potencial eléctrica [V]	147
Resultados entre Línea 1 y Línea 2. Gage R&R Study - XBar/R Method.....	147

Estudio R & R para la diferencia de potencial entre L1 y L2. Método ANOVA.....	148
Resultados para la diferencia de potencial eléctrica [V] entre las Líneas 1 y 3	151
Estudio R & R para la diferencia de potencial entre L1 y L3. Método ANOVA.....	152
Anexo C	
Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (AMEFP)	155
Anexo D	
Diagrama de Causa - Efecto (Ishikawa) para la variación del estudio R & R	157
Anexo E	
Análisis y registro de Acción correctiva en el Formato 8 D's.....	158
Bibliografía	160

INTRODUCCIÓN

Por más de dos décadas diversas industrias han venido implementando una serie de herramientas de calidad adicionales a las que ya se conocían (histogramas, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, etc), las llamadas Core Tools de la AIAG (Automotive Industry Action Group) por sus siglas en inglés, las cuales tienen como finalidad planear, controlar, validar y anticipar posibles fallas en un proceso de manufactura así como mejorar los productos y servicios, estas 5 Core Tools son: el APQP (Advanced Product Quality Planing), el PPAP (Product Part Approval Process), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), SPC (Statistical Process Control) y MSA (Measurement System Analysis).

En este proyecto se implementan dos de estas herramientas para determinar la variabilidad de un sistema de medición en las pruebas de arranque de grupos electrógenos, las cuales son: el análisis del sistema de medición (MSA) en donde se implementó un estudio de Repetibilidad & Reproducibilidad (R & R), la repetibilidad está asociada con la variación que genera un instrumento de medición cuando se realizan mediciones repetitivamente en condiciones de repetibilidad: mismo instrumento de medición, mismo operario, misma pieza a medir, mismo procedimiento, así mismo la reproducibilidad está definida como la variación asociada con los operarios quienes realizan las mediciones en condiciones de reproducibilidad, las cuales pueden ser: distintos técnicos, diferentes procedimientos, mismos instrumentos y piezas a medir. Otro de los análisis utilizado es el análisis de modo y efecto de falla para proceso (FMEA) así como herramientas clásicas de calidad como diagramas Ishikawa, método 8 D's, gráficas de control entre otros. También se recurre a los análisis estadísticos para determinar variabilidad significativa entre los promedios de las mediciones realizadas durante los ensayos como las pruebas de normalidad, los análisis ANOVA (análisis de la varianza) y análisis gráficos que incluyen gráficos de caja, corridas de valores individuales y gráficos de control.

Objetivo

Analizar y evaluar un sistema de medición en una empresa dedicada a la manufactura de grupos electrógenos para la generación de energía eléctrica por medio de un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R & R) con el fin de determinar si el sistema de medición es apto para la evaluación de la calidad del producto.

Alcance

El estudio R & R está enfocado al cálculo y análisis de la variación de un sistema de medición del laboratorio de pruebas de Grupos electrógenos para generación eléctrica, considerando la diferencia de potencial eléctrico y la intensidad de corriente eléctrica como las variables a medir.

Metas a alcanzar con este proyecto:

- Usar herramientas de calidad para la solución de una acción correctiva derivada de una auditoria al sistema de gestión de calidad.
- Determinar la variación de un sistema de medición por medio un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad comparando dos de los métodos más comunes para el análisis de un estudio R & R (método de Rangos-Promedio y Análisis ANOVA).
- Brindar un panorama de los elementos que conforman un estudio R & R.
- Realizar una estimación de costos asociados a un estudio de repetibilidad y reproducibilidad para un sistema de medición de grupos electrógenos que funcionan como plantas de respaldo para generación eléctrica.
- Analizar por medio de un diagrama Ishikawa las posibles fuentes de variación en el sistema de medición.
- Elaborar una propuesta para eliminar o reducir las fuentes de variación.
- Elaboración de un AMEFP para la propuesta de solución de la eliminación de fuentes de variación.

Capítulo 1. Descripción de la Empresa

Generac Ottomotores S.A. de C.V. forma parte del corporativo de Generac Power System una compañía estadounidense que está formada por un grupo de empresas dedicadas a la manufactura y servicios eléctricos. Se encuentra ubicada en la Av. San Lorenzo # 1150 Col. Cerro de la Estrella delegación Iztapalapa C.P. 09860 Ciudad de México.

1.1 Historia y Mercado

Generac Ottomotores ensambla y comercializa equipos de respaldo eléctrico para los sectores comercial e industrial. La compañía Ottomotores México fue fundada en el año de 1950 siendo una empresa familiar, en 1981 la empresa Dale Electric adquiere el 49% de Ottomotores México. Para 1994 el grupo financiero inglés TT group PLC compra a la empresa Dale Electric y con ello Ottomotores también pasa a ser parte de TT group PLC.

En el año 2012 Generac Power System obtiene el 100% de los activos de Ottomotores para formar parte del grupo de empresas dedicadas a la manufactura, distribución y servicios de equipos de soporte eléctrico para los sectores doméstico, comercial e industrial.

Generac Ottomotores fabrica plantas de respaldo eléctrico con operación manual y automático a diferentes capacidades de potencia Standby y Prime que van de los 20 kW hasta los 2500 KW (equipos electrógenos a diesel) donde el sector comercial predominante es el industrial y de servicios como la industria manufacturera, hospitales, escuelas, bancos, centros comerciales, y comunicaciones. Estas plantas pueden estar protegidas por casetas acústicas que reducen el ruido aproximadamente de 72 dB a 80 dB a una distancia de 7.0 metros cuando la máquina se encuentra trabajando, en la imagen 1.1 se muestra una de las plantas abiertas y otra con caseta acústica así como una gama de productos donde Generac power System es líder comercial en los Estados Unidos de Norte América.

Para cumplir con las necesidades del mercado y diversificar las soluciones del campo eléctrico, otro de los productos comercializados son: plantas eléctricas a gas, torres de luz, tableros de control así como unidades de transferencia. Para brindar confiabilidad y seguridad en el suministro de energía eléctrica con calidad se distribuyen sistemas de energía ininterrumpibles (UPS's), supresores de transitorios (SPD's) y tableros de distribución inteligentes (PDU's, PDR, RPP's).

Dentro de la gama de equipos de respaldo eléctrico se comercializa el sistema dual Bi-fuel que es capaz de usar dos tipos de combustible, esto quiere decir que una planta eléctrica que normalmente trabaja con gas puede también utilizar diesel y seguir generando cuando exista algún desabasto de gas.

En los diferentes sistemas productivos la necesidad del uso de la energía eléctrica es eminente y cuando hay una ausencia de infraestructura eléctrica en algún sitio se puede solucionar el problema con las unidades móviles (equipos con remolque).



Imagen 1.1 En la imagen se muestra una planta de respaldo eléctrico denominada “abierta” y otra con caseta acústica así como otros productos como plantas eléctricas domésticas y unidades móviles.

1.2 Estrategias corporativas

En Generac Ottomotores han trabajado para definir los objetivos y estrategias que ayudaran a la empresa a ser una entidad competitiva, capaz de adaptarse a los cambios económicos y tecnológicos globales; siguiendo premisas que contribuyan al desarrollo social y económico así como definiendo el rumbo que toma esta compañía por medio de una planeación estratégica donde se definen la misión, la visión y los valores.

1.2.1 Misión

La principal prioridad de nuestro equipo es cumplir las expectativas de los clientes y asegurar su tranquilidad entregando un producto de calidad y experiencia de propiedad a un valor excelente. Al cumplir las necesidades de nuestros clientes, continuamos prosperando y creciendo, construyendo un futuro más seguro para nuestra gente y creando valor para nuestras partes interesadas.

1.2.2 Visión

Ser una compañía global innovadora, líder en la industria, que diseña, fábrica, distribuye productos, servicios y soluciones eléctricas altamente confiables y accesibles.

1.2.3 Valores corporativos

- Personas.
- Cuidado al medio ambiente.
- Excelencia.
- Innovación.
- Integridad.
- Agilidad.

1.3 Sistema productivo de la compañía

La producción de plantas de emergencia de Generac Ottomotores está fundamentada en un sistema basado en procesos con el objetivo de obtener un producto de calidad que cumple con los requisitos del cliente interno o externo por lo cual, el producto tiene un flujo productivo que va pasando por diversas etapas del sistema en donde se va agregando valor a cada insumo que la empresa

adquirió y para lograrlo se requiere de un flujo de información eficaz en cada uno de los procesos establecidos en Generac Ottomotores.

La información dentro de un sistema productivo representa un pilar fundamental para el sostenimiento de una organización tal como el recurso humano que es la parte más importante de una empresa por lo que debe tener una organización bien definida y estructurada para obtener los mejores resultados y elaborar productos competitivos que generen la calidad que alcance las expectativas del cliente con el menor costo posible y en el menor tiempo que la competencia. Esto se puede establecer con la recopilación de los requerimientos del cliente en la actividad de venta de una planta, pasando por el lanzamiento de una orden de trabajo de producto (OTP) para luego seguir con el proceso de diseño del producto; esta información generada y recabada por los agentes de ventas e ingenieros del producto es enviada a los departamentos encargados de la fabricación y manufactura de piezas que conforman una planta generadora por medio de ordenes de fabricación (OF).

La documentación procesada por el departamento de ingeniería de producto (OTP, OF, planos y listas de materiales) llega al departamento de planeación y control de la producción quienes asignan los seriales (número de identificación) de los elementos más importantes de una planta para que sean ensamblados (generador-motor-radiador) de acuerdo a las características especificadas en la OTP. Todo este conjunto de información debe estar coordinada y controlada por todos los departamentos involucrados en la manufactura de una planta de emergencia y es por eso que, el flujo de información es fundamental y esencial para lograr las metas y objetivos planteados por la alta dirección.

Una de las metas de la organización es la manufactura y distribución de plantas de respaldo eléctrico que cumplan con la calidad que espera un cliente para satisfacer sus necesidades; la manufactura es la actividad fundamental para una empresa del sector industrial que fabrica y ensambla partes que después se convertirán en un sistema para la generación de energía eléctrica y para lograrlo,

es necesario establecer qué tipo de producción debe tener la compañía. Generac Ottomotores ha establecido una estructura física (Layout) que permite una producción por lotes; este tipo de producción es una combinación de las dos principales formas de producción definidas como: intermitente y continua. En el entorno competitivo en la que se encuentra inmersa la industria manufacturera de plantas de respaldo eléctrico no se puede limitar a sistemas de producción rígidos y tradicionales por lo tanto, es necesario diseñar sistemas productivos flexibles capaces de producir productos estándar a bajo costo y en un tiempo razonable pero también deben de ser capaces de manufacturar equipos que satisfagan las necesidades específicas del cliente, como a veces son nombrados los proyectos especiales “trajes a la medida”. En la siguiente imagen 1.2 se muestran los principales procesos que agregan valor a la materia prima en el proceso de manufactura de Generac Ottomotores.

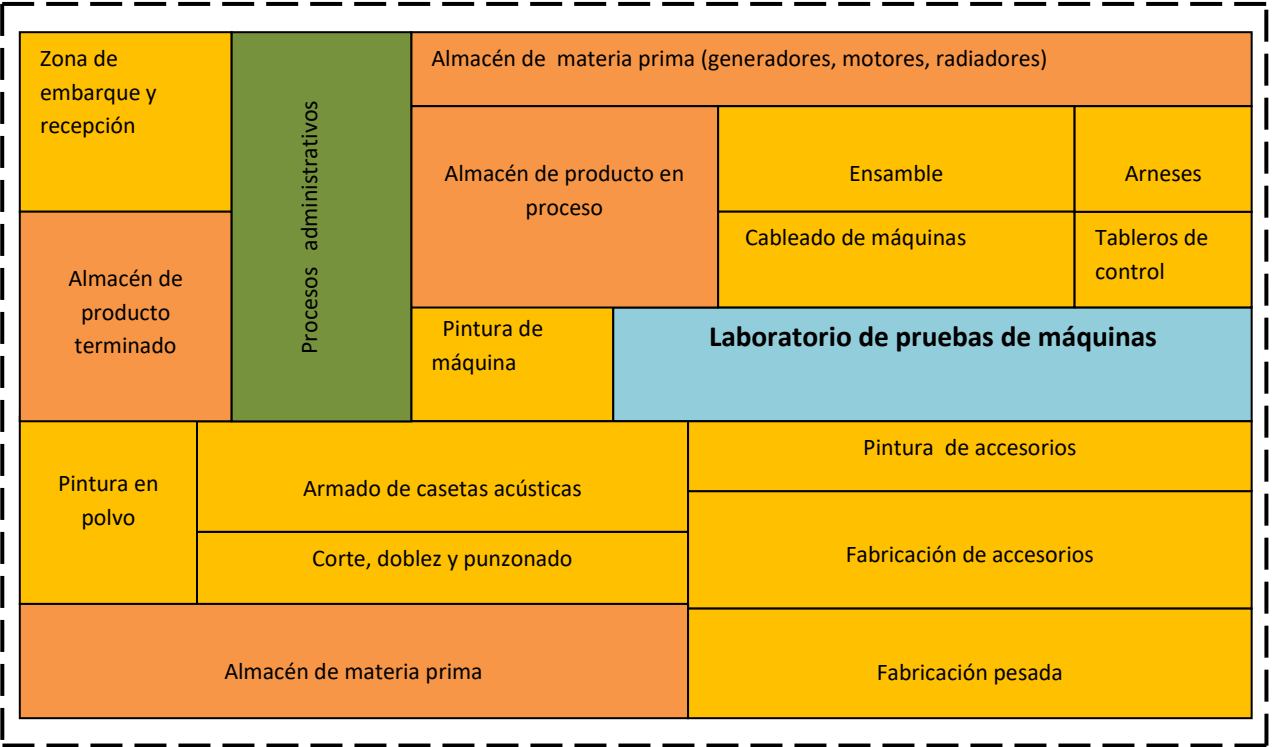


Imagen 1.2. Layout de la planta de manufactura de los procesos más relevantes.

1.3.1 Organización de la empresa y el departamento de calidad

Para Generac Ottomotores la organización y la calidad son estrategias corporativas fundamentales para lograr los objetivos planteados anteriormente en la misión y visión por eso esta empresa ha trabajado en el desarrollo de sus recursos humanos para conseguir estructurar y administrar su sistema productivo certificado en ISO 9001-2008 e ISO 14000-2008 entre otras normas aplicables que deben de cumplir los productos para ser comercializados en sectores específicos.

Continuando con la pauta del proceso administrativo (planeación, organización, dirección y control), la empresa Generac Ottomotores generalmente fundamenta sus actividades productivas en este proceso administrativo en donde la etapa de la organización es básicamente la combinación del trabajo que los individuos o grupos deben de efectuar con los recursos necesarios para transformar un insumo; la actividad de organización es fundamental para estructurar y jerarquizar los diversos puestos y actividades que se requieren para cumplir con metas y objetivos ya que la importancia de la organización va dirigida en la reducción o eliminación de la duplicidad de esfuerzos haciendo al sistema más productivo, esta etapa normalmente se representa por medio de los organigramas.

La organización de Generac Ottomotores utiliza una jerarquización de funciones del tipo Lineo-Funcional que asigna las responsabilidades a un solo jefe para una función determinada (área) así como la colaboración de un equipo de trabajo para el cumplimiento de los procesos necesarios. La imagen 1.3 muestra el organigrama general donde se jerarquizan las principales áreas administrativas que conforman a Generac Ottomotores, posteriormente en la imagen 1.4 se visualiza el organigrama específico de la administración de operaciones donde se encuentra referido el departamento de calidad y para efectos de este informe también se muestra la estructura organizacional del departamento de pruebas encargado de realizar la mediciones para el estudio R & R y que es necesario incorporarlo para rastrear las funciones y

responsabilidades que el departamento de pruebas (laboratorio) tiene a cargo ya que esta área es importante en la organización para la verificación del funcionamiento del equipo y el control de la calidad del producto.

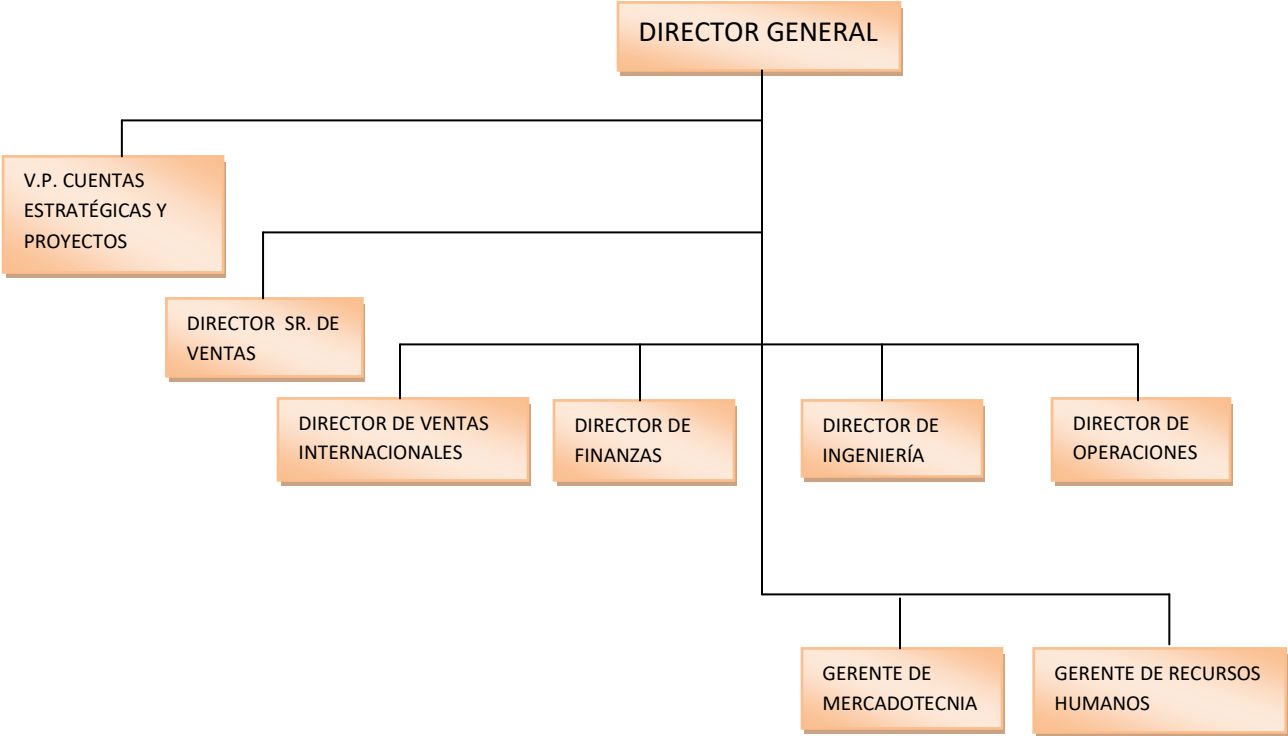


Imagen 1.3 Organigrama general de Generac Ottomotores.

En los siguientes organigramas relacionados a la dirección de operaciones se encuentran subdivididos los departamentos de Calidad y producción que están bajo el mando de esta dirección. Como se mencionó anteriormente, el laboratorio de pruebas queda bajo la dirección del departamento de Producción quien controla el flujo y coordina el número de máquinas a probar con el apoyo de la gerencia de manufactura por lo cual, cada departamento relacionado con el estudio R & R tienen su propia estructura organizacional que distribuye las diversas funciones y que ayudan a la organización a obtener un desempeño apropiado para alcanzar los objetivos de la producción y calidad, esto se muestra en los siguientes organigramas con más detalle.

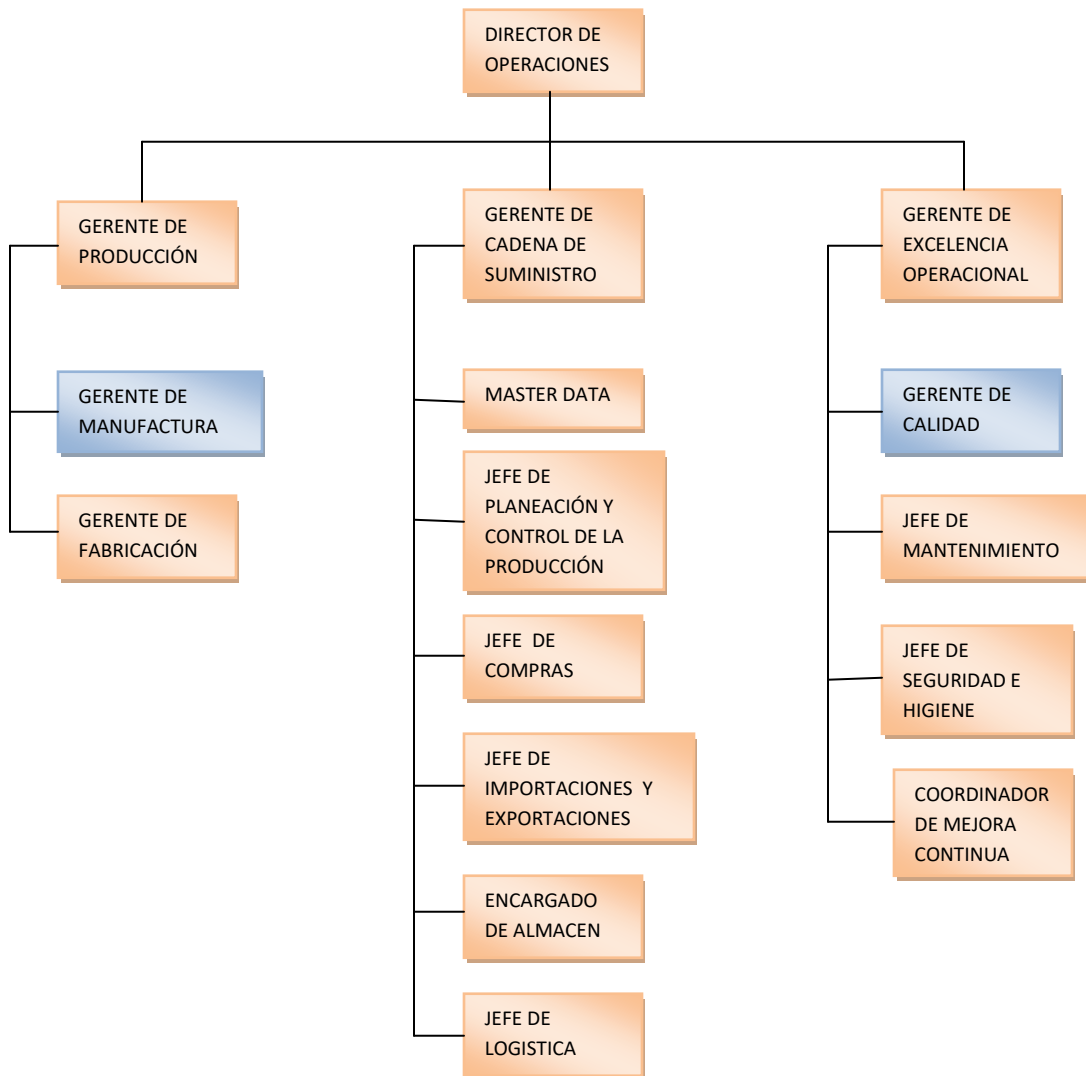


Imagen 1.4. Organigrama general de la dirección de Operaciones.

En la imagen 1.5 hace referencia al puesto de Facilitador de procesos que más adelante se hará una descripción de este puesto de trabajo el cual es el asignado para la realización del estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

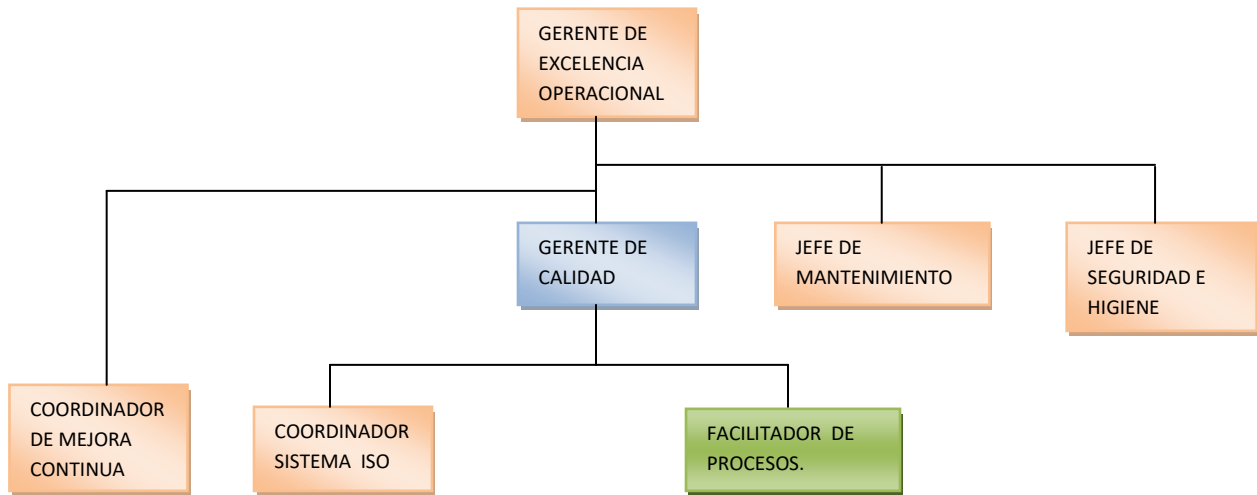


Imagen 1.5. Organigrama general de la gerencia de excelencia operacional quien tiene a cargo al departamento de Calidad y haciendo referencia al puesto de facilitador de procesos quien es encargado de realizar el estudio R & R.

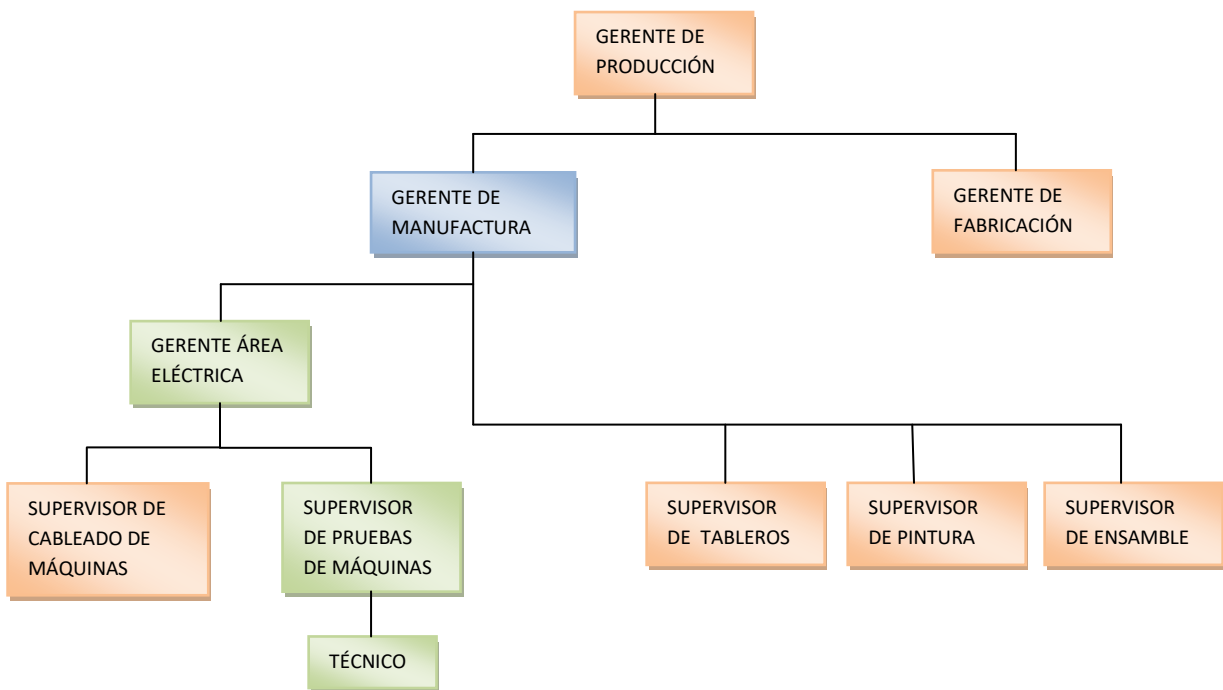


Imagen 1.6. Organigrama general de la gerencia de producción donde se liga el área de pruebas de máquinas, área donde se realizó el estudio R & R.

1.3.2 Departamento de Calidad

Como se vio anteriormente, una estructura organizacional ayuda a las empresas a delegar responsabilidades y definir actividades que llevan a la consecución de objetivos específicos, un ejemplo de ello es el aseguramiento de la calidad del producto donde, el departamento de calidad además de llevar el control de la calidad de los productos bajo especificaciones técnicas y criterios de aceptación así como los requerimientos del cliente, también lleva la gestión documental de los procesos administrativos y de manufactura como lo es el manual y políticas de calidad, procedimientos, diagramas de flujo e instructivos de trabajo además de los registros de procesos que impactan directamente con la calidad del producto, esto conforme a una estructura documental que el sistema de gestión de calidad requiere para efectos de un buen control en la documentación del sistema productivo, este control documental es necesario para conseguir certificaciones y así cumplir con las normatividades aplicables.

Con lo especificado en el párrafo anterior donde el departamento de calidad evalúa las características de un producto de acuerdo a las especificaciones técnicas y requerimientos del cliente se deduce que estas evaluaciones de atributos y variables se realizan por medio de la inspección visual, mediciones y pruebas destructivas y no destructivas con instrumentación y herramientas que normalmente son relacionados con la metrología.

El departamento de calidad está sumamente relacionado con muchos de los departamentos y proveedores para asegurar que los procesos estén controlados y por lo tanto los productos (materia prima, productos en proceso y producto terminado) cumplan con las especificaciones y requisitos de los clientes internos y externos por lo cual, la comunicación efectiva entre las áreas es fundamental para lograr el cumplimiento de entrega de un producto con calidad. En la siguiente imagen 1.7 se muestra la relación que tiene del departamento de calidad y otros departamentos como un proceso de apoyo y así cumplir con los requerimientos y especificaciones.

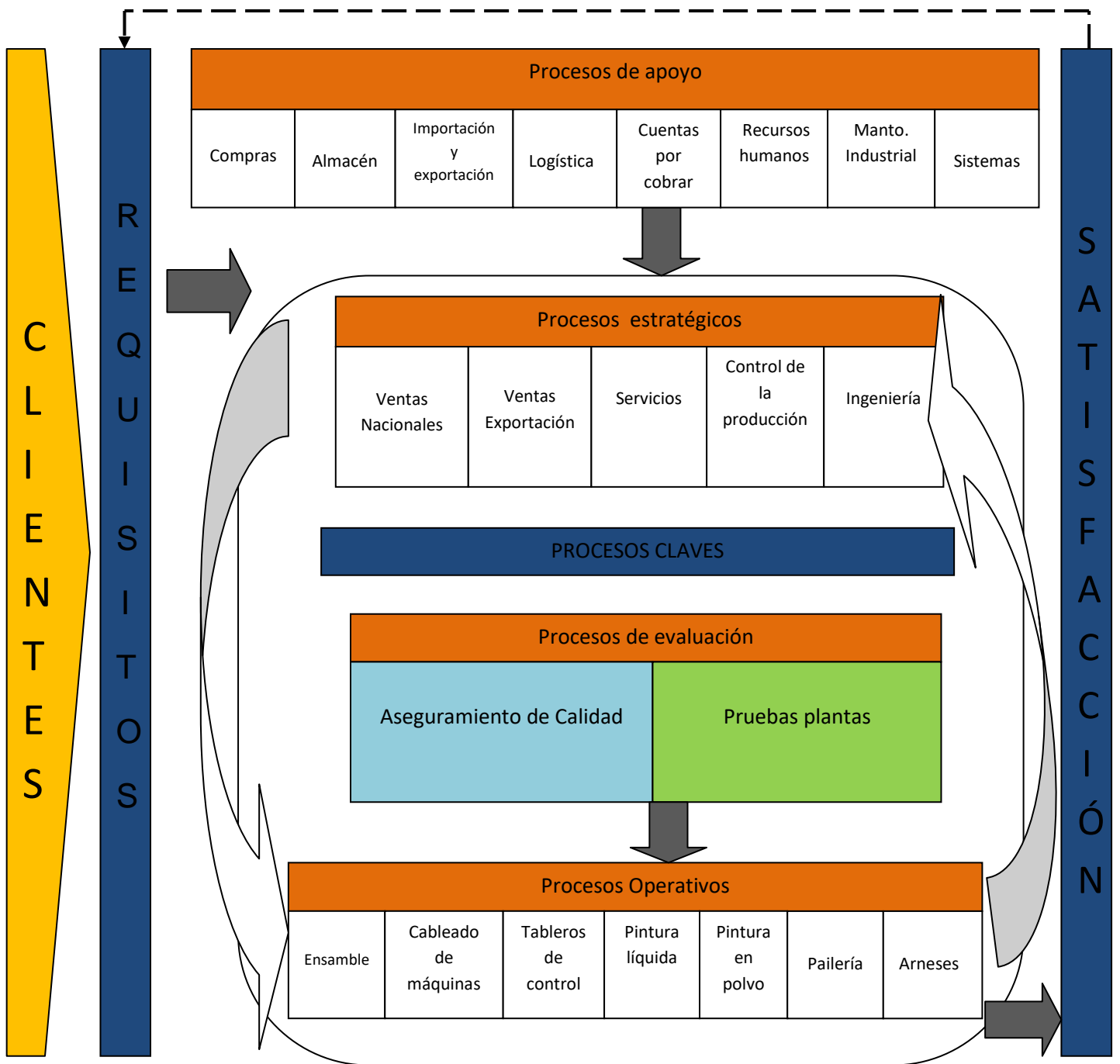


Imagen 1.7 Esquema que describe un ciclo de información entre los procesos claves relacionados al departamento de calidad y que sirven de apoyo para el cumplimiento de la satisfacción de los requisitos del cliente.

1.4 Facilitador de procesos (Fac-pro)

Un enfoque de sistemas nos permite comprender los elementos clave que afectan la calidad de un producto o servicio y en cualquier empresa existen estos elementos clave; quien administra este aspecto de la organización (calidad) debe ser capaz de identificar estos elementos los cuales incluyen a las personas, las instalaciones, los procesos, las herramientas y los materiales.

En las diversas etapas del proceso de manufactura de Generac Ottomotores se realizan inspecciones visuales y pruebas físicas del proceso para verificar que se encuentra en control y de estas inspecciones se obtiene una evaluación del producto con el fin de liberarlo a la siguiente etapa e incidir directamente con la calidad del producto por medio de las alertas y propuestas de mejora del producto o proceso por lo cual, el objetivo principal del facilitador de procesos es brindar un soporte a los procesos de transformación y de administración para que estos agreguen valor a la materia prima de manera que en cada etapa del proceso se cumplan con requisitos del cliente; aquí toman relevancia las herramientas estadísticas de calidad como el control estadístico del proceso (CEP), determinación de muestra, estadística descriptiva y estudios de repetibilidad y reproducibilidad.

En la solución a problemas que se presentan en los procesos o productos, los métodos administrativos de calidad son esenciales e imprescindibles por lo que, en el departamento de calidad se utilizan las siguientes herramientas:

- Diagramas Ishikawa.
- Tormentas de ideas.
- Diagramas de afinidad.
- Diagramas y análisis Pareto.
- Metodología Porqué-porqué. (5 W's).
- Metodología ocho D's (reporte de las 8 disciplinas).
- Análisis AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla).

Para dar seguimiento y solución a las no conformidades o anomalías detectadas en los productos o procesos, el perfil de un Fac-pro debe contar con los conocimientos técnicos-científicos adquiridos en la universidad ya que son esenciales dentro de esta organización para determinar las variables que pueden llegar a afectar la calidad del producto, esto para tomar acciones correctivas o preventivas y asegurarnos que el producto o servicio llegue a las manos del cliente con las características que necesita y satisfaga sus necesidades.

Desde que ingresé como Fac-pro al departamento de Calidad en Julio del 2015 he desarrollado diversas actividades que están relacionadas con lo aprendido en la facultad de ingeniería de la UNAM. La inspección de productos en sus diversas etapas basándose en las especificaciones es una de las actividades principales que realiza un facilitador de procesos pero el puesto no se limita únicamente a la inspección de productos ya que también se realizan pruebas físicas a materiales y a productos en proceso de acuerdo a normas como la ASTM, UL, NEMA, AWS y SAE. Nombraré como ejemplo algunas de las pruebas que el Fac-Pro debe desempeñar para la evaluación del producto y proceso con su referencia normativa:

- Pruebas de adherencia de pintura con cinta adhesiva (ASTM D-3359).
- Protocolo de prueba neumática a tanques para combustible (UL 142).
- Pruebas de resistencia a ingresos de diversos agentes en gabinetes para tableros de control (NEMA e IP según sean las especificaciones).
- Evaluación de uniones con soldadura (AWS D 1.1/D 1.1 M).
- Pruebas de ruido a equipos con caseta acústica (SAE J-1074).

En Septiembre del 2015 me asignaron las áreas de fabricación de accesorios (pailería), fabricación pesada (estructuras) y pintura en accesorios donde realizo inspecciones de materia prima y producto terminado usando métodos de muestreo como la Military estándar E105 o cálculo de muestra por el método de poblaciones finitas. En estas áreas brindo soporte a los procesos generando indicadores de desempeño de calidad del producto %FPY (First Pass Yield) así como la elaboración de gráficos de control por variables y atributos para

monitorear el proceso y analizar las posibles causas que generaron productos no conformes.

El uso de los conocimientos adquiridos en la facultad de ingeniería de la UNAM son vastos ya que para realizar pruebas físicas a materiales como a los recubrimientos de pintura aplicados en los accesorios o a las soldaduras (GMAW) depositadas en las uniones de cada pieza es necesario tener los fundamentos teóricos de los cursos de tecnología de materiales y procesos de manufactura ya que se toman como referencias las normas ASTM y AWS aplicables en cada proceso. Para verificar conexiones en elementos mecánicos y eléctricos de un equipo electromecánico se ocupan los conocimientos adquiridos en los cursos de máquinas térmicas, electricidad y magnetismo así como las bases sólidas de electrónica básica e instrumentación y control para el uso de instrumentos de medición como los amperímetros y multímetros.

El sistema productivo de Generac Ottomotores abarca muchas áreas del conocimiento de la carrera de ingeniería industrial y para el área de calidad las bases de los cursos como ingeniería industrial, estudio del trabajo, sistemas productivos, planeación y control de la producción, logística, estadística aplicada, seguridad industrial, investigación de operaciones y por supuesto sistemas de calidad son aplicables ampliamente en esta empresa por lo que, las áreas de oportunidad en estas áreas del conocimiento son inmensas para el desarrollo profesional e implementación de mejoras en los procesos por medio de herramientas como el Kaizen donde el Fac-Pro trabaja activamente y en equipo con otras áreas para brindar propuestas de mejora a los procesos y la calidad del producto y servicio.

Otro de los servicios que un Fac-pro realiza y que son importantes para el cumplimiento de la norma ISO 9001 es la participación en auditorías internas como auditor, desarrollando todo un esquema y proceso para la elaboración de estas auditorías a los distintos departamentos de Generac Ottomotores esto con la finalidad de evaluar el SGC y corroborar que el sistema esté trabajando correctamente según lo estipulado en su política de calidad y procedimientos de

trabajo tomando como referencia la norma ISO 9001:2008. Estando dentro del departamento de aseguramiento de calidad la participación en auditorías externas por parte de casas certificadoras es activa ya que se brinda la información necesaria a los auditores externos. De manera similar a las auditorías internas y externas el Fac-pro participa también en evaluaciones o auditorías a proveedores para evaluar y calificar las cualidades del producto y/o servicio que un proveedor puede brindar a Generac Ottomotores.

Las actividades de un Fac-pro son diversas y multidisciplinarias como anteriormente se vio, esto genera una relación de apoyo con diversas áreas para desarrollar las evaluaciones de los procesos y productos en sus distintas etapas, en la siguiente imagen 1.8 se muestra la relación de un Fac-pro con otros actores de los procesos dentro del sistema, con ellos se trabaja conjuntamente para el cumplimiento de los objetivos establecidos en la organización:



Figura 1.8. Diagrama de relación multidisciplinaria de un Fac-Pro con otros actores del sistema productivo en las diversas actividades del Fac-Pro encaminadas al cumplimiento de los objetivos.

Capítulo 2. Marco teórico

La norma ISO/IEC 17025:2005 que trata sobre los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración establece en sus numerales 5.4.6.2 y 5.9 que un laboratorio de ensayos debe establecer los procedimientos para la estimación de la incertidumbre de las mediciones y el aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayos y calibraciones respectivamente. Para cumplir con estos numerales de dicha norma, el departamento de aseguramiento de calidad determinó que el procedimiento sería un análisis del sistema de medición por medio de un estudio de Repetibilidad & Reproducibilidad (Gage R & R) por la facilidad de implementación y cálculo del estimativo de la variación.

2.1 Sistema de medición

Una premisa para realizar un estudio Gage R & R es conocer y comprender las definiciones asociadas a los sistemas de medición así como las fuentes de variación que afectan a estos sistemas y que se ve reflejado en la calidad de las mediciones.

El término de *medición* se puede entender como la asignación de números o valores a cosas materiales que representen relaciones entre ellas con respecto a propiedades particulares (físicas o químicas). El proceso de asignar números es definido como proceso de medición y el valor asignado está definido como valor de medición. De acuerdo al vocabulario internacional de metrología (VIM) referido en la norma NMX-Z-055-2006 la definición de medición es el proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud por lo tanto, una magnitud es la propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia.

Un *sistema de medición* es el conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal y medio ambiente usados

para cuantificar una unidad de medida o preparar la evaluación de una característica o propiedad a ser medida, en otras palabras, es el proceso completo establecido para obtener mediciones.

El *instrumento de medición o gage* es cualquier dispositivo usado para obtener mediciones; frecuentemente usado para referirse específicamente a dispositivos que se encuentran en piso de producción; incluye dispositivos para o no para. En la imagen 2.1 se muestran algunos ejemplos de algunos instrumentos de medición y gages que sirven para evaluar las características de los productos.



Imagen 2.1 Ejemplos de algunos instrumentos de medición o gages para medir características particulares en distintos procesos.

Estos instrumentos como los mostrados en la imagen anterior arrojarán valores los cuales nos darán un resultado de cada medición hecha en los distintos ensayos definidos para la evaluación del proceso, esto nos conduce a que los

valores observados de un mensurado (longitud, peso, tensión, intensidad de corriente, etc) deben de partir de una referencia establecida por la organización llamada *valor de referencia aceptado* que sirve como referencia consensuada para la comparación, obtenido a partir de:

- a) Un valor teórico o establecido, con base en principios científicos.
- b) Un valor asignado o certificado, con base en trabajos experimentales de alguna organización nacional o internacional.
- c) Un valor certificado o consensuado, con base en trabajos de colaboración experimental bajo los auspicios de algún grupo científico o técnico.
- d) Valores legales que son definidos y obligados por la ley.
- e) Cuando no se dispone de a), b), c) o d), el valor supuesto de la magnitud (medible); por ejemplo, la media de una población especificada de mediciones.

El *valor verdadero* es la medida “actual” de una parte (en el instante que se mide una parte con el instrumento de medición). Normalmente este valor es desconocido e irreconocible, es la meta del proceso de medición. Cualquier lectura individual debe de estar lo más cerca y económicamente posible a este valor. Existe un problema con el valor verdadero y es que nunca puede ser conocido con certeza. El valor de referencia es usado como el mejor aproximado del valor verdadero en todos los análisis.

Muchas veces este valor de referencia lo proporciona un *estándar/patrón de referencia* de medida que nos servirá para la verificación de los instrumentos usados en la planta o taller, el cual es definido como cualquier cosa que se tome por consenso general como una base de comparación, un modelo aceptado. Puede ser un artefacto conjunto (instrumentos, procedimientos, etc) ajustado y establecido por una autoridad como una regla de medición de una variable o comparación de atributo. Este estándar generalmente es de la más alta calidad metrológica disponible en una cierta localización.

2.1.1 Aplicaciones de la medición

Las mediciones han jugado un importante papel en la construcción de la civilización humana a lo largo de la historia, el impacto más evidente es la tecnología. Las aplicaciones actuales de los instrumentos de medición pueden clasificarse en tres áreas principales:

- Utilización del comercio reglamentado, donde el uso de instrumentos que miden cantidades físicas como longitud, volumen, masa, tiempo, etc en términos de unidades patrón son comercializados y distribuidos para diversas aplicaciones.
- Funciones de monitoreo. Estas proporcionan información que permite a los seres humanos tomar en consecuencia alguna acción predeterminada. La mayoría de las funciones de supervisión existen para ofrecer información necesaria y controlar alguna operación o proceso industrial. Otra de las aplicaciones asociadas al monitoreo es la calibración de los instrumentos de medición por medio de la verificación y calibración que consiste en la comparación con un instrumento patrón.
- Uso de sistemas de control automático, donde los procesos automatizados forman parte ya de los sistemas productivos actuales. La demanda por grandes cantidades de productos con calidad han llevado a la implementación de sistemas de manufactura flexibles donde la automatización y robótica incorporan a los sistemas de medición como parte de su estructura de control siendo la línea de retroalimentación en un sistema de control de lazo cerrado.

2.1.2 Rastreabilidad de las mediciones

Las mediciones que son rastreables con los mismos patrones o similares acuerdan estrechamente en el tema de las negociaciones de bienes y servicios. Esto ayuda a reducir la necesidad de repetir pruebas, el rechazo de producto bueno y la aceptación de producto malo.

La rastreabilidad es definida por el vocabulario internacional de ISO de términos básicos y generales de metrología (VIM) como:

“Como la propiedad de las mediciones o valores de un estándar o patrón, el cual puede ser relacionado con referencias establecidas, usualmente patrones nacionales o internacionales y a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones y todas con incertidumbres establecidas” (JCGM 200:2008 VIM).

Las organizaciones de gobierno y de industrias privadas usan entonces sus patrones para ofrecer calibraciones y servicios de medición a los laboratorios de metrología o gages de sus clientes. Esta liga o cadena de eventos determina finalmente la forma en la cual se llega al piso de producción y ofrece por lo tanto las bases para la rastreabilidad de las mediciones.

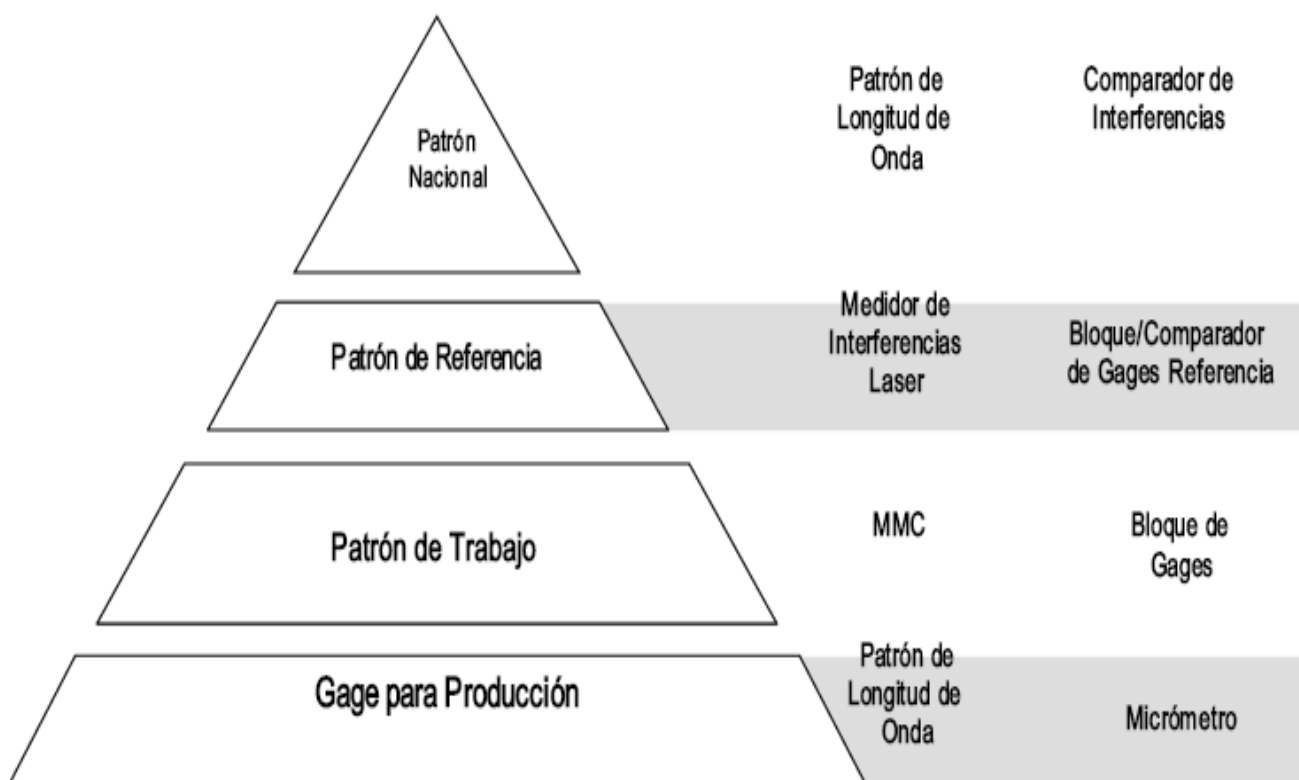


Imagen 2.2 Ejemplo de una cadena de rastreabilidad para una medición de una longitud¹.

¹ Imagen Obtenida del manual de referencia MSA 4ta adición de la AIAG.

Empresas especializadas ofrecen servicios de calibración y pruebas tanto destructivas como no destructivas con el fin de brindar una referencia rastreable a las empresas que no cuentan con algún laboratorio de metrología y/o calibración.

Las calibraciones es parte del sistema de administración de calidad de una organización y por lo tanto esta actividad debe estar incluida en los programas de auditorías internas y externas lo cual debe haber un control de los equipos de seguimiento y medición.

Un sistema de **calibración** es un conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre un dispositivo de medición y un estándar o patrón rastreable con un valor de referencia e incertidumbre conocida. La calibración incluye pasos para detectar, correlacionar, reportar o eliminar por ajuste alguna discrepancia por exactitud y precisión.

2.2 Análisis del Sistema de medición

En un laboratorio de pruebas para plantas eléctricas se conjuntan diversas fuentes de variación que afectan la calidad de las mediciones por lo que son necesarios los análisis de sistemas de medición para comprobar que las mediciones tomadas con los gages son lo más cercanas al valor de referencia y que se encuentran dentro de la tolerancia establecida por la organización, por lo tanto, un *análisis del sistema de medición* se define como un método para determinar si un sistema de medición es aceptable. Específicamente, el análisis del sistema de medición determina cuánto de la variación total en un proceso proviene del sistema de medición y no de las partes que están siendo medidas.

Con el fin de administrar efectivamente la variación de cualquier proceso se requiere tener el conocimiento de:

- Lo que el proceso debiera estar haciendo.
- Lo que puede estar mal.
- Lo que el proceso está haciendo.

Para un análisis de un sistema de medición es muy recomendable elaborar un *AMEFP* (Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso) que define los riesgos asociados con fallas potenciales del proceso mismo y propone acciones correctivas antes de que estas fallas puedan ocurrir. En la imagen 2.2 muestra la representación gráfica de un proceso de medición en donde se debe de evaluar tal proceso con propiedades estadísticas para la toma de decisiones.

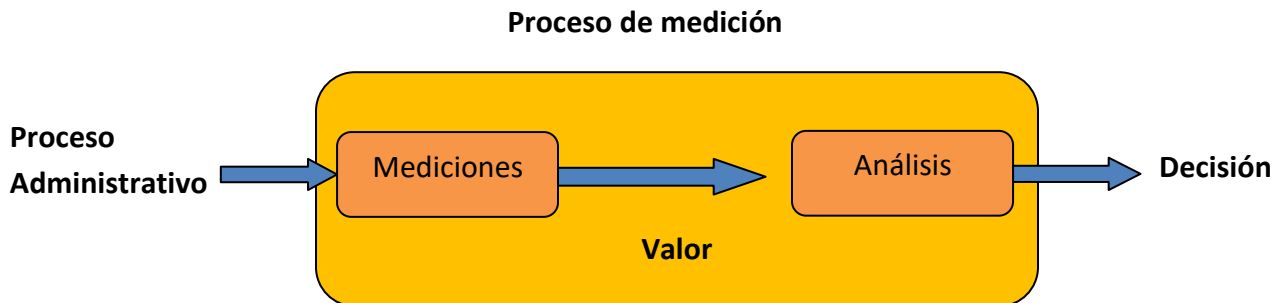


Imagen 2.3 Representación del proceso de medición².

2.2.1 Aspectos clave en las mediciones

En la evaluación de un sistema de medición hay tres aspectos claves que deben de abordarse:

- 1) El sistema debe demostrar sensibilidad adecuada.
 - Primero, el instrumento debe de contar con una discriminación adecuada. La discriminación (o clase) es arreglada por diseño y sirve como punto inicial básico para seleccionar un sistema de medición; una forma típica para poder determinar la discriminación de un instrumento es usando la regla de 10 donde, se divide la tolerancia o variación del proceso en diez partes o más.
 - Segundo, el instrumento debe demostrar una resolución efectiva adecuada para el proceso. En relación a la discriminación, determina si el instrumento de medición tiene la sensibilidad para detectar cambios en la variación del producto o proceso para la aplicación y condiciones dadas.

² Imagen Obtenida del manual de referencia MSA 4ta adición de la AIAG.

- 2) El sistema de medición debe ser estable.
 - Bajo condiciones de repetibilidad, la variación del sistema de medición es debida solo a causas comunes y no a causas especiales (caóticas).
 - En los ensayos de un estudio el analista de las mediciones debe de considerar siempre significancias prácticas y estadísticas.
- 3) Las propiedades estadísticas son consistentes sobre un rango esperado y adecuadas para el propósito de las mediciones (control del producto o proceso).

2.2.2 Errores de medición

Un proceso de medición es susceptible a errores que ocasionarán la variación en las mediciones, a estos errores se les puede dividir en dos categorías: *errores sistemáticos* y *errores aleatorios*.

Una manera de distinguir a los **errores sistemáticos** en el proceso de medición es registrando las mediciones y analizando su localización con respecto al valor de referencia, estos valores se pueden encontrar consistentemente arriba o abajo del valor de referencia, en otras palabras pueden ser errores negativos o positivos. Existen diversas fuentes que causan los errores sistemáticos, algunas son:

- Perturbaciones del sistema durante la medición.
- El efecto que causa modificar las entradas.
- Modificaciones de los elementos del instrumento por el desgaste en el momento de la medición.
- Falta de calibración del instrumento.
- Errores que son inherentes a la manufactura de un instrumento.

Los **errores aleatorios** son perturbaciones de la medición que pueden localizarse en cualquier lado del valor verdadero y son generados por efectos aleatorios e impredecibles, de modo que tienen una ocurrencia aproximadamente igual tanto arriba como abajo del valor de referencia en una serie de la misma

cantidad de mediciones, a menudo llegan a ser pequeñas estas perturbaciones pero existe la probabilidad de que las perturbaciones sean grandes e impredecibles; algunas de las fuentes comunes que producen estos errores:

- Observación humana en un medidor analógico (error de paralaje).
- Ruido eléctrico y transitorios.

Los errores aleatorios tienen la posibilidad de reducirlos o eliminarlos en gran parte calculando la media de las mediciones hechas de forma repetida. Debido a lo impredecible de los errores aleatorios, cualquier límite de error impuesto en las mediciones podrá cuantificarse únicamente en términos probabilísticos.

2.2.3 Propiedades estadísticas de los sistemas de medición

En un sistema de medición ideal produciría mediciones “correctas” en cada ensayo. Cada medición concordaría siempre con alguna norma o estándar; un sistema de medición que pudiera producir mediciones como tales sería aquel que tuviera propiedades estadísticas de varianza cero, sesgo cero y probabilidad cero de clasificar incorrectamente un producto medido. Esto es complicado de encontrar en los procesos productivos ya que las fuentes de variación dentro del sistema no permiten tales mediciones. La calidad de un sistema de medición es generalmente determinada solo por propiedades estadísticas de los datos que produce en el tiempo. Otras propiedades, tales como costo, facilidad de uso, etc, son también importantes y contribuyen a un buen sistema de medición global.

La administración de los sistemas de medición tiene la responsabilidad de identificar las propiedades estadísticas más importantes para el uso final de los datos y aunque cada sistema puede requerir contar con diferentes propiedades estadísticas, existen ciertas propiedades fundamentales que definen un buen sistema de medición, estas incluyen:

- 1) Discriminación y sensibilidad adecuadas. Los incrementos en la medición debieran ser pequeños, relativos a la variación del proceso o límites de especificación para propósitos de mensurados.

- 2) El sistema de medición debe de estar en control estadístico. Esto significa que bajo condiciones repetidas, la variación en el sistema de medición es debida solo a causas comunes y no a causas especiales. Esto puede asociarse con la estabilidad estadística y es mejor evaluado por métodos gráficos.
- 3) Para el control del producto. La variabilidad del sistema de medición debe ser pequeña comparada con los límites de especificación. Esto conlleva a evaluar el sistema de medición con respecto a las tolerancias de la característica.
- 4) Para el control del proceso. La variabilidad del sistema de medición debe demostrar una resolución efectiva y ser pequeña comparado con la variación del proceso de manufactura, por lo cual el sistema de medición es evaluado con la variación de un proceso six – sigma (6σ) y/o la variación total del análisis del sistema de medición.

2.3 Análisis de la variación

En todo proceso de manufactura y sistemas de medición existirán fuentes de variación que afecten a la calidad del producto. La variación es la causa fundamental de las diferencias en la confiabilidad en los sistemas de medición encargados de evaluar las características de un proceso o producto. Las fuentes de variación son debidas a causas *comunes o especiales* y para controlar estas fuentes de variación en los sistemas de medición es fundamental:

- 1) Identificar las fuentes potenciales de variación.
- 2) Eliminar (cuando sea posible) o monitorear estas fuentes de variación.

Las fuentes de variación especiales van a depender de la situación en el momento de realizar los ensayos (mediciones) y son complicadas en predecir en que instante pudieran afectar al ensayo; las causas típicas pueden identificarse y analizar con diferentes métodos, estas se pueden categorizar y presentar con, diagramas de causas y efectos, diagramas de árbol de falla, diagramas Pareto, diagramas de dispersión, etc.

2.3.1 Principios fundamentales de la variación

- 1) No existen dos cosas exactamente iguales. Siempre existirá una mínima diferencia en las características de un producto que lo hará distinto a su semejante por efectos del tiempo y condiciones en las que se encuentra, por lo cual se establecen los rangos de tolerancia para tratar de conseguir productos (mediciones) los más semejantes posibles.
- 2) En un producto o proceso se puede medir la variación. Cuando se fabrican dos pernos, dos piezas de fundición o dos cables conductores de energía eléctrica del mismo calibre, pueden parecer semejantes, pero, ¿En realidad lo son? La diferencia se puede medir con diferentes instrumentos de medición adecuados para distintas propiedades; si la unidad de medida es suficientemente pequeña, se puede determinar la diferencia que existe entre una parte y la que le sigue. Esta diferencia o variación es importante cuando ejerce algún efecto sobre la parte que se está produciendo.
- 3) Los resultados individuales no son predecibles. La predicción del comportamiento de un proceso con una cantidad de datos históricos pequeña, puede ser engañosa y se pueden cometer errores graves al tomar decisiones si sólo se examinan una o dos partes.
- 4) Grupos de cosas forman modelos con características definidas. Se miden partes supuestamente idénticas obtenidas de un proceso, y se arreglan en orden de tamaños, se manifestará un modelo definido. Las características generales de este modelo también se repetirán con otro grupo del mismo proceso productivo y todo va a depender de las condiciones y características del proceso en el tiempo.
- 5) Fuentes de variación. La variación se atribuye a dos fuentes diferentes. Una, llamada azar, que resulta de cambios inherentes a un proceso, como la variación del material en bruto, el cambio en las condiciones atmosféricas, las vibraciones del cuarto, y la repercusión en el equipo. La otra llamada *corregible*, que está formada por errores sujetos a corrección, estos pueden ser, cambios básicos en los materiales, temperatura de

proceso o velocidad incorrecta de las herramientas, errores del operador o daños en el equipo. Las variaciones debidas al azar, se encuentran fuera de control y dan lugar al modelo característico en forma de campana. Las variaciones debidas a fuentes susceptibles de corrección tienden a distorsionar este modelo. En un proceso de fabricación existe un gran número de fuentes de variación sujetas a corrección, sin embargo, se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Hombre.
- Máquinas.
- Material.
- Medidas.

En los sistemas de medición (medidas) se podría subcategorizar otras fuentes de variación que se relacionan directamente con las variaciones del proceso de fabricación estas son:

- Patrón.
- Pieza de trabajo (parte a medir).
- Instrumento de medición.
- Procedimiento/método.
- Medio ambiente.

Los factores que afectan a estas cinco áreas deben ser atendidos y en medida de lo posible sean controlados o eliminados, también estos factores que afectan al sistema deben ser evaluados en periodos de tiempo cortos y largos. La combinación de errores son cuantificados con la *linealidad*, *uniformidad*, *repetibilidad* y *reproducibilidad*. El desempeño tanto de un sistema de medición como el de un proceso es el efecto de todas las fuentes de variación en el tiempo por lo cual, el desempeño se logra determinar por medio del análisis estadístico, analizando si el sistema se encuentra en control estadístico (estable y consistente) o si el sistema presenta un sesgo cercano a cero y tiene una variación aceptable (repetibilidad y reproducibilidad).

2.3.2 Variación del proceso de medición

En el amplio campo de los sistemas de medición es muy común que los análisis de la variación total de las mediciones se basen en la distribución normal, cuando existen datos de mediciones que no están distribuidos normalmente, el estudio R & R pueden llegar a sobre estimar los errores causados en el proceso.

Los términos que son utilizados para realizar estudios R&R resultan imprescindibles en los análisis de variación y que forman parte de los sistemas de medición, las funciones y características de los instrumentos deben ser bien conocidas para realizar dichos análisis y descartar diversas fuentes de variación que resultan propios del instrumento y método de medición, estas pueden ser características estáticas o dinámicas. Las *características estáticas* describen los parámetros del instrumento en estado estable (ejemplo, sesgo, exactitud, precisión, resolución) y estas características tienen un efecto muy importante en la calidad de las mediciones que se obtienen. Por otro lado, las *características dinámicas* describen la respuesta dinámica de un instrumento entre el tiempo en que cambia la magnitud y el tiempo que necesita la salida del instrumento para obtener un valor constante.

La **exactitud** se puede definir como la proximidad entre un valor medido y el valor de referencia, en la práctica, la medición es más exacta cuando más pequeño es el error de medida, donde el *error de medida* es definido como la diferencia entre un valor medido (resultado de una medición) y el valor de referencia.

Muchas veces los operarios o técnicos suelen confundir los términos de exactitud y precisión pero la **precisión** es definida como la proximidad entre los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto o de objetos similares bajo condiciones especificadas. Para cuantificar la precisión se puede utilizar estadísticas como las medidas de dispersión tales como la desviación estándar, la varianza o el coeficiente de variación. Las “condiciones especificadas” pueden ser, condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia o condiciones de reproducibilidad las cuales se explicaran más adelante. En la imagen 2.4 se explica gráficamente la diferencia entre exactitud y precisión.

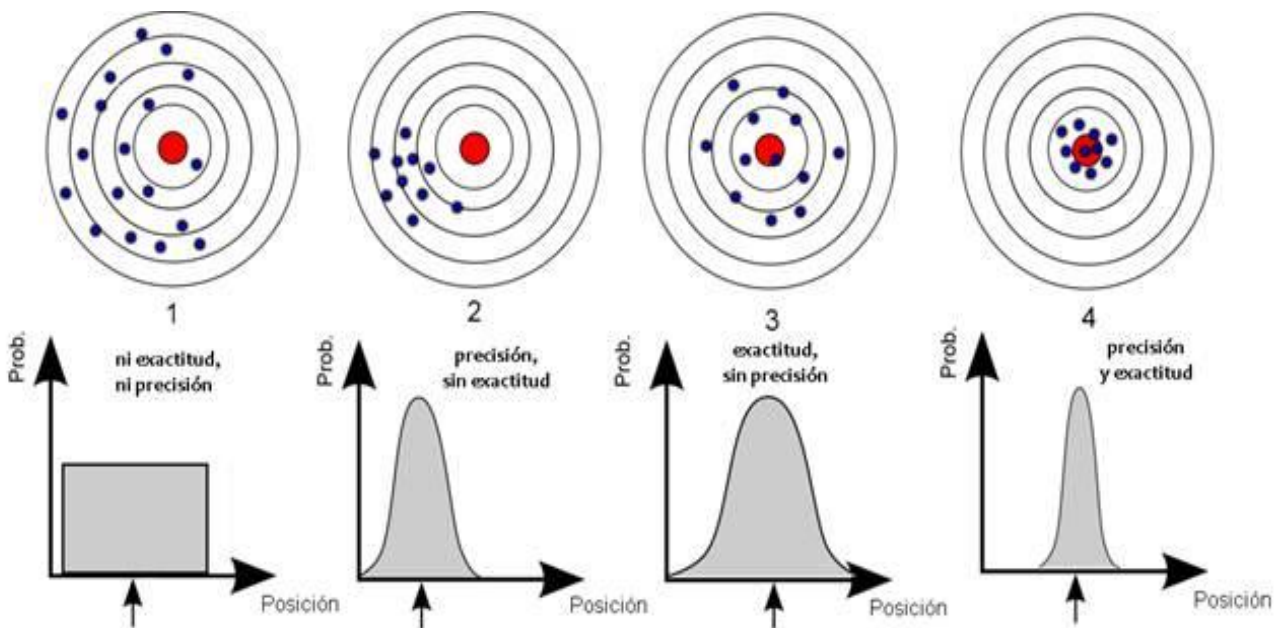


Imagen 2.4 Diferencia entre exactitud y precisión en una serie de mediciones repetidas en condiciones especificadas.

Otras de las características que cuentan los instrumentos o sistemas de medición es el **sesgo** (*bias*) y se entiende como la diferencia entre el valor de referencia y la media de los valores obtenidos durante la medición. El vocabulario internacional de metrología (VIM) lo define como “el valor estimado de un error sistemático” recordemos que el error sistemático es un error de medida que en un ensayo de mediciones repetidas este permanece constante y resulta predecible.

En la siguiente imagen se representa gráficamente al sesgo, por otra parte muchas organizaciones como ISO y la ASTM llegan a utilizar el término de sesgo para hacer referencia a la exactitud lo cual no es recomendable.



Figura 2.5 Representación gráfica del sesgo (bias) en un sistema de medición.

La **estabilidad** o cambio es la variación total en las mediciones realizadas en un ensayo a las partes (cosas a medir) por un sistema de medición en un periodo de tiempo largo, en otras palabras, es el cambio del valor del sesgo en el tiempo; si el proceso de medición es estable entonces se encuentra en control estadístico con respecto a la localización. En la siguiente imagen se plasma una representación gráfica de la estabilidad.

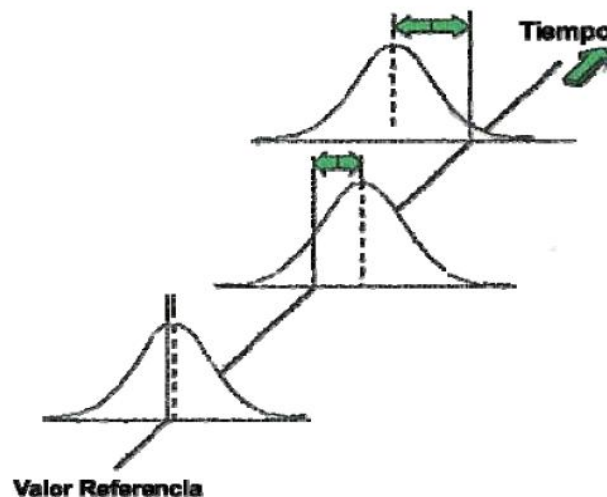


Imagen 2.6 Representación gráfica de la estabilidad del proceso de medición.

La **linealidad** es otro de los términos utilizados en los ensayos y análisis de los sistemas de medición para evaluar el proceso, en términos simples la linealidad es el cambio del sesgo en la amplitud del rango de operación normal, esta característica también es considerada como un error sistemático. Es deseable que las lecturas de salida del instrumento sean linealmente proporcionales a la cantidad que se mide (imagen 2.7). La falta de linealidad suele expresarse como un porcentaje de la lectura de máxima escala, una linealidad inaceptable puede venir en diversas formas como se muestra en la imagen 2.8.

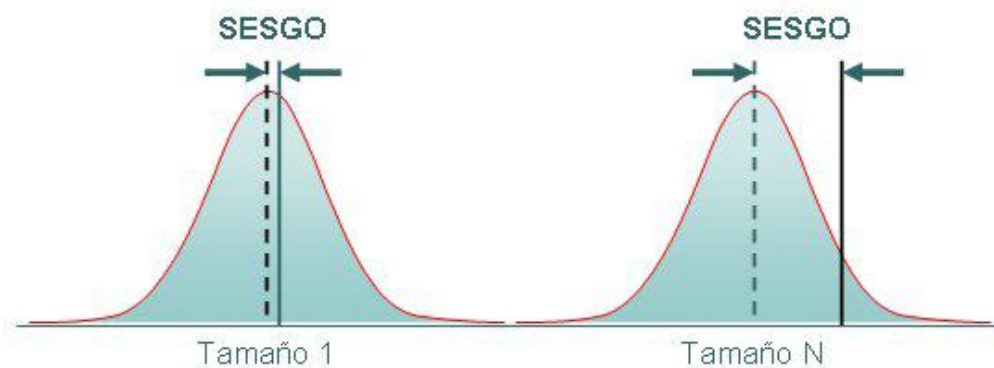


Imagen 2.7 Referencia gráfica de linealidad del proceso de medición.

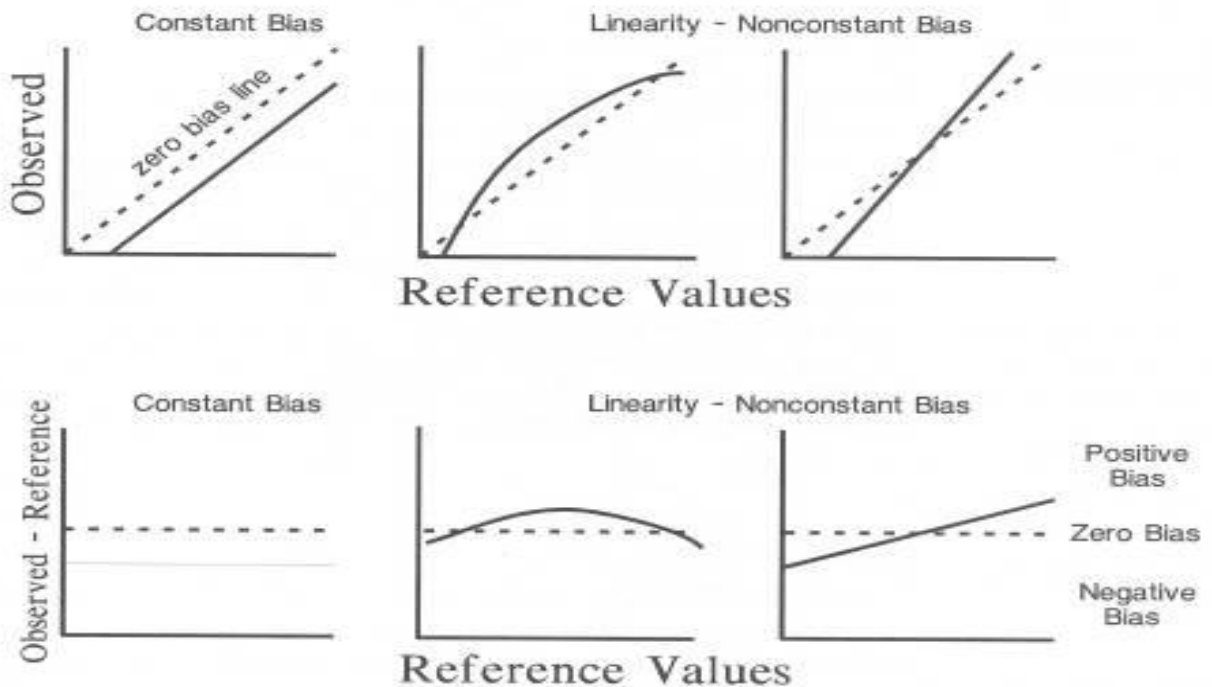


Imagen 2.8 Gráficas del comportamiento lineal del sesgo.

Un estudio de repetibilidad y de reproducibilidad (R&Rgage) en las mediciones nos sirve para evaluar el desempeño de las mediciones en un proceso de medición y es una forma común para determinar la dispersión y calidad de las mediciones obtenidas en los ensayos de medición por lo que definiremos los términos de repetibilidad y reproducibilidad en los siguientes párrafos.

La **repetibilidad** comúnmente está asociada a la variación que puede generar los instrumentos de medición en los ensayos así como ser una variación de causa común (error aleatorio) de intentos sucesivos en condiciones definidas. De acuerdo a la norma ISO 5725-1:1994 y el VIM la repetibilidad es la “precisión de medida bajo condiciones de repetibilidad”, siendo las *condiciones de repetibilidad* definidas por estas organizaciones como “condiciones bajo las que se obtienen resultados independientes, con el mismo método, sobre muestras idénticas, en el mismo laboratorio, por el mismo operador y utilizando los mismos equipos de medición durante un corto intervalo de tiempo”. En la siguiente imagen se muestra la representación gráfica de la repetibilidad.

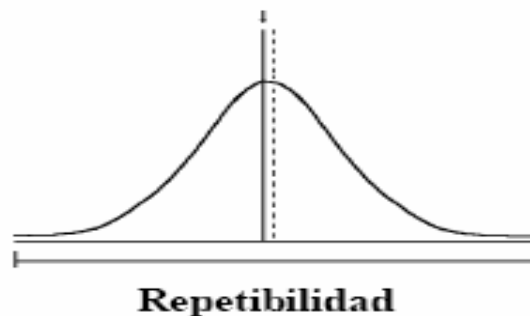


Imagen 2.9 Representación gráfica de la repetibilidad, donde las mediciones en condiciones de repetibilidad presentan una distribución normal.

De igual forma en la **reproducibilidad** el factor importante para definir este término son las condiciones con que se llevan a cabo las mediciones ya que la variación del proceso está asociada comúnmente a los errores que pueden cometer los evaluadores (variación entre operadores) quienes toman las mediciones, pero esto no es totalmente cierto ya que el principio aplicaría sólo a

instrumentos de medición manuales o gages donde la influencia de la habilidad del operador alteraría el resultado de las mediciones. En los sistemas automatizados no existe una intervención humana cuando el sistema está evaluando (comparando valores en un sistema de control de lazo cerrado) las características del proceso por lo que la reproducibilidad se refiere más a la variación promedio entre sistemas de medición y condiciones de reproducibilidad.

De acuerdo a la norma ISO 5725-1:1994 la *reproducibilidad* se define como “la precisión de las mediciones bajo condiciones de reproducibilidad” donde las *condiciones de reproducibilidad* son definidas como “condiciones bajo las cuales los resultados de ensayo se obtienen con el mismo método, sobre muestras idénticas, en laboratorios diferentes, con operadores distintos, utilizando equipos distintos”. En el VIM establece que se puede usar diferentes procedimientos de medición dentro de las condiciones de reproducibilidad y en el MSA 4ta edición establece que se debe usar un mismo instrumento de medición y procedimiento. Esto define la complejidad de la evaluación de la reproducibilidad por la gran diversidad de procesos y sistemas de medición. En la siguiente figura se muestra la gráfica de la reproducibilidad.

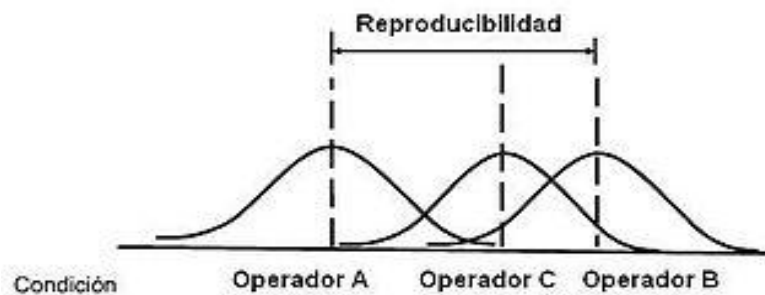


Imagen 2.10 Representación gráfica de la reproducibilidad.

Como anteriormente se mencionó un **estudio de repetibilidad & reproducibilidad** (R&Rgages) nos sirve para evaluar el desempeño y calidad de las mediciones que se realizan en un laboratorio de pruebas, el MSA 4ta edición

define al R&R de gages como un “estimado de la variación combinada de la repetibilidad y reproducibilidad”³ esto es:

$$\sigma_{RRG}^2 = \sigma_{Repetibilidad}^2 + \sigma_{Reproducibilidad}^2$$

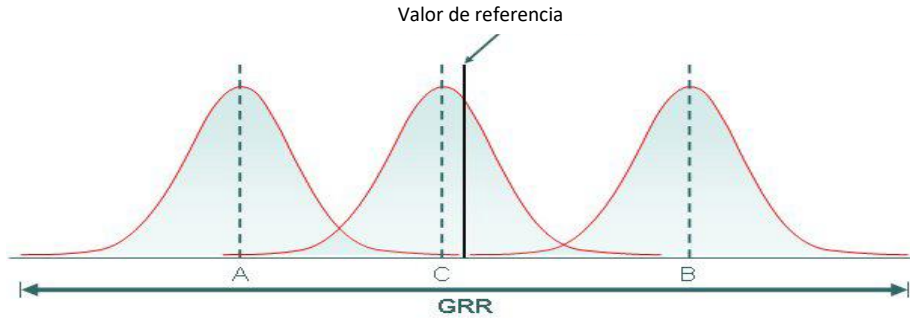


Imagen 2.11 representación gráfica de R&Rgage

2.3.3 Métodos comunes para estudios R&R

Existe una diversidad de métodos para realizar análisis y estudios de repetibilidad vs reproducibilidad tanto para variables como atributos, en la siguiente imagen se muestran los métodos más usuales para realizar estos estudios y los recomendados por la AIAG (Automotive Industry Action Group):

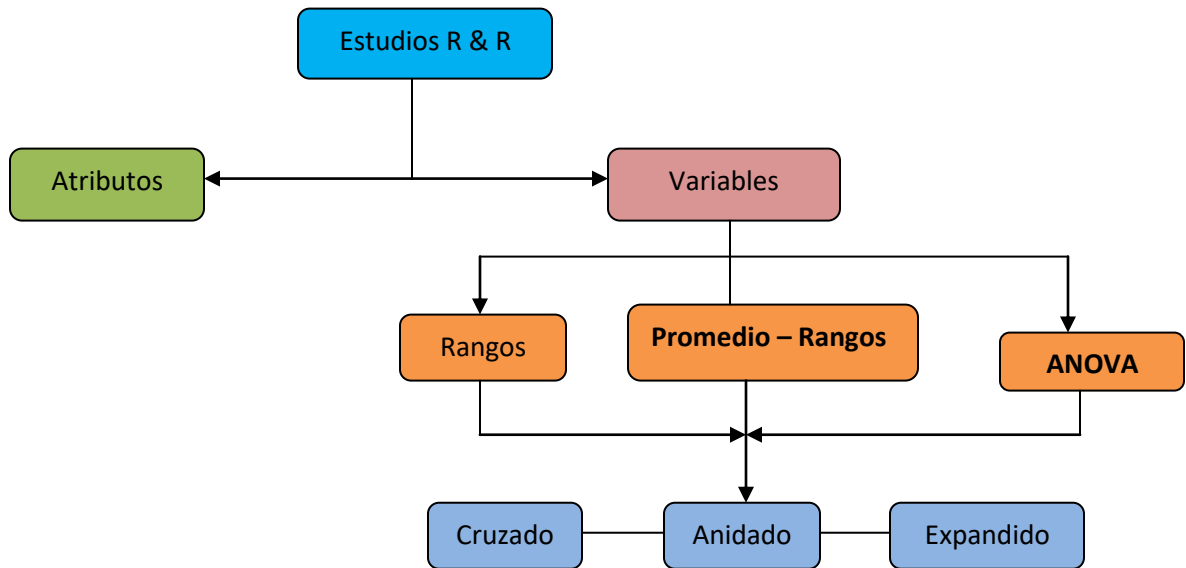


Imagen 2.12 Métodos comunes para la realizar estudios R & R.

³ Expresión obtenida del MSA 4ta Ed.

- El método de rangos es apropiado cuando se requiere una aproximación rápida de la variabilidad del sistema, el método muestra solo una gráfica global del sistema de medición. No secciona la variabilidad en repetibilidad y reproducibilidad.
- El método de promedio-rango brinda un estimativo de la repetibilidad y reproducibilidad, resulta sencillo el cálculo manual y la evaluación del sistema se obtienen relativamente rápido.
- El método de ANOVA es más completo, ya que no sólo ofrece un estimativo de la repetibilidad y reproducibilidad si no que a su vez puede determinarse la interacción entre el instrumento de medición o la parte y el evaluador. Con el método ANOVA (Análisis de la Varianza) puede seccionar la varianza en cuatro categorías: partes, evaluadores, interacción entre partes y evaluadores así como el error por replicación debido al instrumento de medición.
- El método de evaluación del sistema de medición por atributos puede llegar usar gages pasa-no pasa o patrones visuales y los resultados tendrían de 5 hasta 7 categorías tales como: muy bueno, bueno, aceptable, pobre y muy pobre. Los análisis de riesgos de decisión se pueden evaluar con: análisis de pruebas de hipótesis y teoría de detección de señales (para este proyecto no se consideran estos métodos ya que se evaluaron variables).

2.3.4 Habilidad, desempeño e incertidumbre de los sistemas de medición

Las características asociadas con el tiempo son de suma importancia en los análisis de sistemas de medición, el tiempo es una de las variables que no se pueden controlar ya que los datos recabados en los ensayos pueden tomar cualquier valor que se encuentre dentro del rango de operación mientras transcurre el tiempo, también el factor del tiempo por el uso del instrumento puede afectar la calidad de los datos por desgaste y disminución de vida útil de los componentes.

En esa dirección, la consistencia y la uniformidad de los sistemas de medición son importantes porque todo sistema de medición debe estar en control estadístico con respecto a los rangos de operación por lo cual, la consistencia y uniformidad están ligadas a esta propiedad estadística. La *consistencia* puede ser entendida como la repetibilidad en el tiempo basándose en una evaluación a corto plazo, por lo tanto la habilidad⁴ del sistema establece que la varianza de los datos debe de cumplir con aleatoriedad e independencia y este estimativo puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{Habilidad}^2 = \sigma_{sesgo}^2 + \sigma_{RRG}^2$$

Las condiciones de la habilidad están relacionadas directamente con condiciones definidas (rango de operación y tiempo estipulado para completar un estudio R&R o los periodos de las calibraciones de los instrumentos).

De manera similar a la habilidad del sistema de medición el **desempeño** del sistema es el efecto total de todas las fuentes de variación significativas y determinables en el tiempo. El desempeño es el estimativo de evaluación de los errores aleatorios y sistemáticos a largo plazo, dicho en otras palabras es la variabilidad de las mediciones en un periodo de tiempo extenso. La condición de tiempo largo se puede entender tal como:

- El promedio de evaluaciones de varias habilidades en un periodo extenso.
- El error promedio a largo plazo de una grafica de control.
- Una evaluación de registros de calibraciones o estudios de linealidad.
- Un promedio del error de varios estudios R&R en periodos extensos (vida útil del instrumento).

⁴ Expresión obtenida del MSA 4ta ed. AIAG 2010.

La expresión del desempeño⁵ tomando en cuenta lo anterior para un análisis de la variación donde los datos son aleatorios e independientes se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{Desempeño}}^2 = \sigma_{\text{Habilidad}}^2 + \sigma_{\text{Estabilidad}}^2 + \sigma_{\text{Consistencia}}^2$$

Donde la estabilidad o cambio se entiende como un cambio del sesgo en el tiempo. Este cambio está asociado con la sensibilidad del instrumento, esto quiere decir que cuando una pieza cambie una de sus características en lo más mínimo, el instrumento es capaz de detectar el cambio y arrojar el valor asociado en dicho ensayo.

En los procesos de análisis de la variación y calibración, el cálculo de la *incertidumbre* resulta esencial para identificar los posibles errores causados por el proceso de medición, en el vocabulario internacional de metrología JCGM 200:2008 (VIM traducción al español) la incertidumbre de medida se define como sigue:

La ***incertidumbre*** es un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

NOTA 1 — La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociados a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.

NOTA 2 — El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica, en cuyo caso se denomina incertidumbre típica de medida (o un múltiplo de ella), o una semiapertura con una probabilidad de cobertura determinada.

NOTA 3 — En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que

⁵ Expresión obtenida del MSA 4ta ed. AIAG 2010.

proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.

NOTA 4 – En general, para una información dada, se sobrentiende que la incertidumbre de medida está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.

2.4 Efectos de las decisiones en los productos

En los procesos de medición se toman decisiones para determinar el estatus de un producto “fuera de especificaciones” y “dentro de especificaciones”, pero dentro de estos procesos se pueden tomar malas decisiones debido a los errores que el sistema arroja durante los ensayos (mediciones repetidas y reproducibles). Uno de los objetivos de un análisis de sistemas de medición es evaluar al proceso de medición y verificar e identificar las categorías y tipos de errores que se pueden cometer durante los ensayos para tomar acciones correctivas y eliminar o reducir las fuentes de variación, en la siguiente imagen 2.13 se describen las regiones de decisión.



Imagen 2.13 regiones de decisión en el proceso de medición.

La meta del sistema y proceso de medición es obtener las mediciones que se encuentren en la región 3 y región 1, donde:

- Región 1 es la zona donde las partes no conformes siempre serán declaradas no conformes.
- Región 2 es la zona donde se tiene una probabilidad alta de cometer una decisión equivocada.
- Región 3 es la zona donde las partes conformes siempre serán declaradas como conformes.

Como se puede observar en la imagen 2.13 la región dos es el área susceptible de cometer errores de decisión en donde los productos que están fuera de especificación pueden ser declarados como un producto que está dentro de especificaciones o tomar una decisión contraria, también equivocada. Los tipos de errores se describen a continuación con base en el MSA:

- **Error tipo 1.** Riesgo del productor o falsa alarma es cuando una parte que se encuentra dentro de especificaciones se puede declarar como una parte que no cumple con las especificaciones, en la siguiente imagen 2.14 se muestra gráficamente esta decisión:



Imagen 2.14 Error tipo 1 (decisión que cae en la zona sombreada).

- **Error tipo 2.** Riesgo del consumidor o proporción perdida es cuando una parte que no es conforme con las especificaciones se le puede dar un estatus de parte que es conforme a las especificaciones, en la siguiente imagen 2.15 se muestra gráficamente esta decisión:

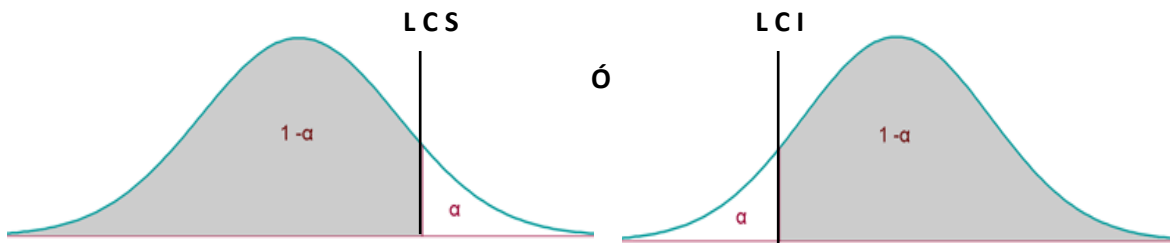


Imagen 2.15 Erro tipo 2 (decisión que cae en la zona sombreada).

En este contexto podemos inferir los resultados de un estudio R&R para poder encontrar las posibles fuentes de variación y eliminar o reducir los dos tipos de errores descritos anteriormente. Dado que el objetivo del proceso de medición es obtener las mediciones que se encuentren en la región 3 representada en la figura 2.13 pueden existir dos posibilidades para lograr este objetivo:

1. Mejorar el proceso de producción: ajustar y eliminar las posibles fuentes que afecten la capacidad del proceso para fabricar partes buenas y evitar que estas partes se encuentren en la zona 2 representada en la imagen 2.13.
2. Mejorar el sistema de medición: Eliminar o reducir las fuentes de variación en el sistema de medición tratando de llegar al valor verdadero durante las mediciones mejorando el sistema o proceso de medición para reducir el área de la región 2 y evitar decisiones erróneas.

La evaluación incorrecta a un producto durante el proceso de medición en los ensayos para determinar la variabilidad del sistema puede tener un impacto en la identificación de las causas que provocan la variación en las medidas, en otras palabras es:

- Llamar a una causa común como una causa especial.
- Llamar a una causa especial como una causa común.

La variabilidad de los sistemas de medición puede afectar las decisiones en la evaluación del producto en relación de la estabilidad, la meta y la variación del proceso. La relación básica entre la variación del proceso actual y la variación observada⁶ es:

$$\sigma_{Obs}^2 = \sigma_{Actual}^2 + \sigma_{MSA}^2$$

Donde:

σ_{Obs}^2 = Varianza observada del proceso.

σ_{Actual}^2 = Varianza del proceso actual.

σ_{MSA}^2 = Varianza del sistema de medición.

Por lo tanto el índice de habilidad⁷ está definido como:

$$Cp = \frac{\text{Rango de tolerancia}}{6 \sigma}$$

Asumiendo que el sistema de medición está en control estadístico y en meta (valor del sesgo prácticamente nulo) el valor de Cp actual del proceso puede compararse gráficamente con el Cp observado.

⁶ Expresión obtenida del MSA 4ta ed. AIAG 2010.

⁷ Expresión obtenida del MSA 4ta ed. AIAG 2010.

Con relación a los capítulos previos, los errores se pueden eliminar o reducir identificando las fuentes de variación (causas comunes y especiales) para realizar las debidas correcciones de las fallas y eliminar la dispersión e inexactitud entre las mediciones. Entre estas fuentes de variación en el producto el mejoramiento del proceso de manufactura resulta esencial para obtener productos con mejor calidad cumpliendo con las especificaciones del cliente, esto conlleva a que en el proceso de medición las mediciones tengan la menor variación entre el valor obtenido y el valor de referencia especificado.

Para los procesos de medición la elección del instrumento adecuado es fundamental para evitar o en gran medida reducir los errores descritos en esta sección. Una de las reglas entorno a la elección del tipo de instrumento radica en la vinculación de los requerimientos del proceso de fabricación del producto; es importante saber las características del instrumento como los parámetros de exactitud, resolución y sensibilidad para poderlos acoplar al proceso de manufactura y obtener un beneficio económico con relación al costo de realizar las mediciones. El costo se correlaciona muy estrechamente con el desempeño del instrumento, elegir un instrumento con características superiores a las indicadas en el desempeño y características del proceso de manufactura equivale únicamente a pagar más de lo necesario para un nivel de desempeño mayor a lo especificado. Es por eso que en un estudio R & R se hace la comparación de la variabilidad en los instrumentos de medición y la variación causada por quienes realizan las mediciones.

Capítulo 3. Metodología de trabajo

En Generac Ottomotores, los principios fundamentales en la fabricación de plantas de emergencia para la generación de energía eléctrica con calidad, están sólidamente fundamentados por el sistema de gestión de calidad que se encarga del control y aseguramiento de la calidad del producto en todas las etapas del proceso de manufactura. El aseguramiento de la calidad del producto requiere del control y la documentación de los procesos y en Generac Ottomotores cumple con estos principios expresados en el objetivo de calidad donde la normatividad juega un papel esencial en la consecución de los objetivos.

La norma ISO 9001:2008 hace referencia al control de los equipos de seguimiento y medición en su numeral 7.6 (7.1.5 en la versión 2015) en donde se establece que la organización debe asegurarse de proporcionar los recursos necesarios de seguimiento y medición para validar y dar fiabilidad del funcionamiento de los equipos de medición cuando se realicen las mediciones que corroboran la conformidad de los productos (parámetros eléctricos de las plantas de respaldo de energía eléctrica) con los requisitos. Como parte del cumplimiento de la normatividad a la que está sujeta la empresa, las auditorías internas y externas son una herramienta para monitorear si el sistema de gestión de calidad cumple con el papel de ser un sistema que trabaje para la empresa así como, asegurar que el producto cumpla con las expectativas del cliente y en el mejor de los casos estar orientado a la mejora del proceso y producto continuamente, y es precisamente que por medio de una auditoría externa para la recertificación de la norma RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) el auditor obtiene un hallazgo (no conformidad menor) en el área de pruebas de plantas.

3.1 Descripción y contexto del proyecto

En el primer capítulo se menciona que Generac Ottomotores está certificado por la norma ISO 9001:2008 estando en el proceso de transición a la nueva versión 2015 de dicha norma, pero no sólo es la única certificación con la que cuenta la empresa, una de las certificaciones que también debe contar para poder introducir el producto al país de Colombia es la certificación RETIE del ministerio de minas y energía del país de Colombia y para conseguir esta certificación las plantas de generación de energía eléctrica para respaldo deben cumplir con las especificaciones establecidas en este reglamento.

En el capítulo 3 del RETIE indica los requisitos del producto y dentro de estos requisitos hace mención de las pruebas de evaluación de funcionalidad a este tipo de productos en laboratorios certificados y/o avalados para realizar mediciones de características eléctricas (diferencia de potencial, intensidad de corriente, potencia, frecuencia, etc), por lo cual nos conduce al cumplimiento de los numerales 5.4.6.2 y 5.9 de la norma ISO/IEC 17025:2005 para la determinación de la variabilidad en el proceso de medición de las características eléctricas de los equipos electrógenos.

Durante la auditoria anual 2016 del RETIE en el mes de Febrero se levanta una no conformidad menor y distintas observaciones por no contar con un análisis de la variación del sistema de medición en el laboratorio de pruebas de Generac Ottomotores Esta no conformidad menor si no era atendida con prontitud se convertiría en una no conformidad potencial que en la próxima auditoría (2017) al no presentar evidencia de la acción correctiva pasaría a una no conformidad mayor incumpliendo con lo estipulado en el procedimiento interno acerca de las acciones correctivas y a su vez en el numeral 8.5.2 de la norma ISO 9001:2008.

Pero ¿porqué una no conformidad menor? A pesar de que la empresa no contaba con un análisis de la variabilidad de su sistema de medición en el área de prueba, si se cuenta con un procedimiento de equipos de seguimiento y medición como lo establece el numeral 7.6 de la ISO 9001:2008 donde todos los

instrumentos de medición se identifican, se verifican y se mandan a calibrar en un tiempo definido a un laboratorio externo certificado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación). Los certificados que emite el laboratorio de calibración forman parte de la evidencia que ratifica que los instrumentos usados en el laboratorio de pruebas son aptos para realizar las mediciones en el proceso de prueba de la planta eléctrica, pero a pesar de que los instrumentos estén verificados y/o calibrados de acuerdo al procedimiento la gran cantidad de las fuentes de variación que podrían afectar al sistema están latentes como se explicó en el capítulo 2 y de ahí la propuesta de realizar un análisis del sistema de medición por medio de un estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

En las siguientes imágenes se hace referencia a los tipos de hallazgos y no conformidades clasificados en una auditoría RETIE:

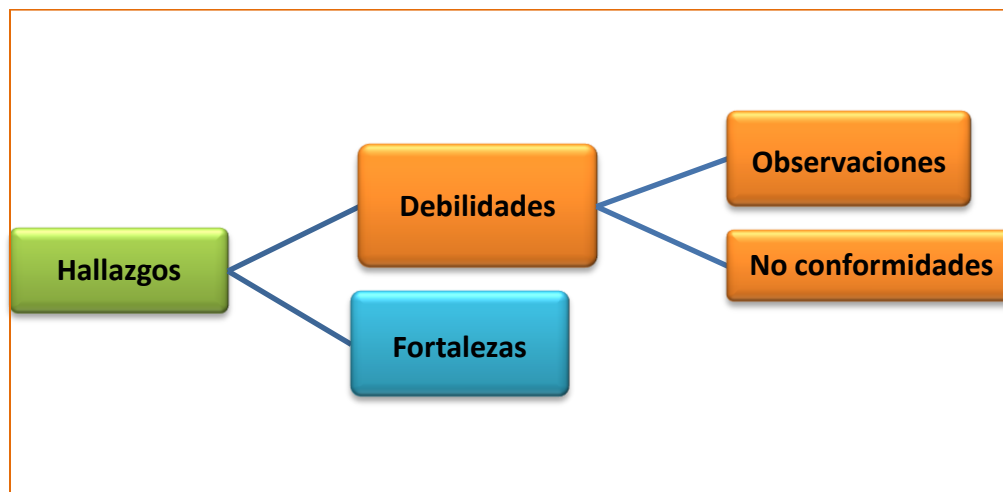


Imagen 3.1 Clasificación de hallazgos en una auditoría.

Los hallazgos son el resultado de evaluar la evidencia contra un criterio; las evidencias las proporciona quienes son auditados por el auditor o auditores que evalúan la información, esta información pueden ser registros, procedimientos, instructivos de trabajo, referencias normativas, manuales de operación o información técnica de algún producto.

Cuando se obtiene un resultado como una fortaleza quiere decir que la organización cumple con el criterio normativo plenamente y que el proceso se

encuentra controlado con la posibilidad de incrementar su eficiencia y eficacia (innovar). Por otra parte, cuando el resultado de la auditoría es una observación quiere decir que el proceso puede mejorarse significativamente, otra característica es que la solución a esta observación no es inmediata con respecto a las no conformidades.

Las no conformidades también tienen una clasificación como se muestran en la siguiente imagen:

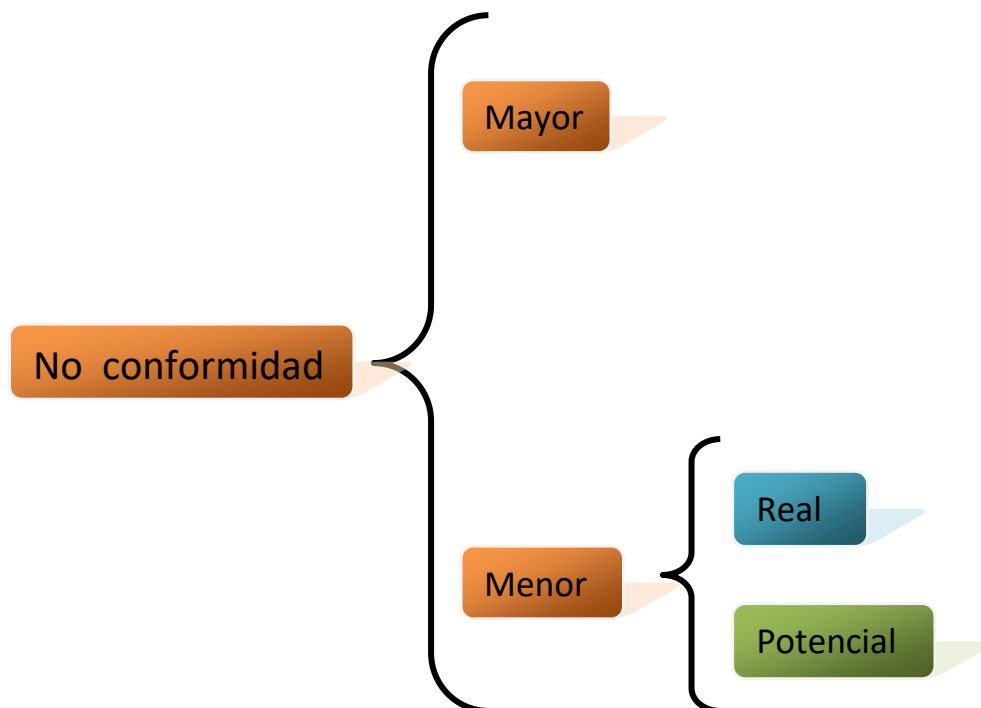


Imagen 3.2 Clasificación de la no conformidades

Conceptualmente la no conformidad se define como el incumplimiento de un requisito de:

- Leyes o reglamentos aplicables.
- Norma aplicable.

- Del cliente.
- Del propio sistema de calidad de la compañía.

Por lo tanto, una no conformidad mayor es un incumplimiento que ya ocurrió en el sistema de calidad (incumplimiento real) y que afecta a algún numeral de la norma aplicable. Por otra parte, la no conformidad menor pudo ya haber ocurrido (real) o aun no haber ocurrido (potencial) en el sistema de calidad que afecta parcialmente a un numeral de la norma aplicable.

3.2 Acción correctiva a una no conformidad

La acción correctiva es un proceso sistemático y documentado para dar solución a las no conformidades halladas en los procesos de un sistema productivo de una organización que cuenta con un SGC, también existen las acciones preventivas que tratan de evitar la ocurrencia de las no conformidades. Otro de los objetivos de las acciones correctivas es la no reincidencia de las no conformidades como se establece en la norma ISO 9001:2008⁸:

“La organización debe tomar acciones para eliminar las causas de las no conformidades con objeto de prevenir que vuelvan a ocurrir. Las acciones correctivas deben ser apropiadas a los efectos de las no conformidades encontradas”.

Durante el cierre de la auditoria se dan a conocer los hallazgos tanto negativos como positivos para determinar dónde la organización debe tomar las acciones y en qué nivel de prioridad, en la siguiente tabla se hace la relación entre la severidad de los hallazgos y la acción a tomar:

⁸ Numeral 8.5.2 Acción correctiva de la norma ISO 9001:2008.



Imagen 3.3 Relación entre hallazgos y el tipo de acción a tomar.

Al desarrollar una acción correctiva para una no conformidad (en este caso “menor real”) se debe de tener una estructura de solución donde se evalúan las causas del incumplimiento y el efecto que provocan estas causas; en el caso de las correcciones, las acciones son inmediatas como medida de contención al problema pero una acción correctiva tiene la característica de solucionar y prevenir la ocurrencia del incumplimiento. En el siguiente diagrama se visualiza el objetivo de ambas acciones el cual es, solucionar el efecto causado por el incumplimiento de un criterio.

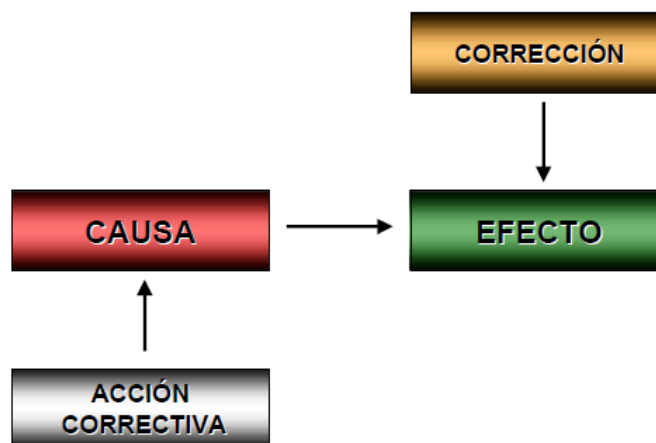


Imagen 3.4 Diagrama de relación entre el efecto y la accione correctiva y/o corrección.

Para que las acciones correctivas sean efectivas, estas deben ser:

- Consultadas con los involucrados.
- Coherentes, esto quiere decir que deben conservar coherencia con el análisis de causas.
- Estructuradas, identificarse con los objetivos de la unidad y tener en cuenta a los responsables, recursos, indicadores y tener el ciclo PHVA.
- Acotadas tanto en tiempo como en grado de cumplimiento.
- Flexibles, susceptibles de modificación ante contingencias no previstas sin apartarse del enfoque inicial.
- Realistas, viables en el contexto que se plantean.

3.3 Procedimiento de las ocho disciplinas (Proceso y formato 8 D's)

Para darle solución a las no conformidades encontradas en las auditorías externas e internas así como corregir deficiencias en el desempeño de los procesos que llegan a ser recurrentes, el departamento de calidad implementa la metodología de las 8 disciplinas para la resolución de problemas, contando con un formato que permite que el proceso de solución del problema quede registrado y documentado, esto para dar seguimiento a los resultados obtenidos de las acciones implementadas y también para cumplir con lo estipulado con la norma ISO 9001 relacionado con el control de documentos y registros.

La metodología 8 D's es un proceso sistemático que permite identificar, corregir y evitar la recurrencia de problemas. Estos ocho pasos nos ayudan a tener una ventaja competitiva para la solución rápida y efectiva a las acciones correctivas y preventivas, los cuales consisten en los siguientes ocho disciplinas:

D1-. Enfoque del trabajo en equipo (multidisciplinario). Se debe de formar un equipo de trabajo donde los integrantes deben tener la experiencia y liderazgo para la implementación de soluciones, es recomendable que los integrantes cuenten con diferentes competencias para tener distintos enfoques de solución. Este grupo debe existir un líder quien maneja la información y

administra los recursos proporcionados por los involucrados (evidencias), también es el responsable de hacer que se cumplan los objetivos trazados en la planeación de la acción correctiva por medio de la comunicación efectiva usando herramientas y los medios que ayuden a tener esta comunicación entre los miembros del equipo.

D2- Crear la descripción del problema. En este paso se hace la descripción del problema a solucionar siendo claros y concisos, la descripción debe proporcionar la información suficiente y contemplar varios aspectos para entender el problema. Es importante acercarse con las personas que se encuentran involucradas para recabar información acerca del proceso con el problema, por lo cual esta descripción se debe basar en hechos reales, esto quiere decir, ir al lugar real y ver que está sucediendo. Una forma para lograr esto es haciéndose preguntas como: ¿Cuál es el problema?, ¿Qué está pasando vs qué debería de estar pasando?, ¿Dónde está pasando?, ¿Cuándo está pasando?, ¿Quiénes están involucrados? Y ¿cuál es el alcance del problema en cuanto a costo, calidad, tiempo, limitaciones, etc?

D3- Desarrollar una solución temporal. Las medidas de contención al problema nos ayudan a obtener tiempo para encontrar la causa raíz del problema y dar una solución efectiva. Esta solución temporal debe ser evaluada y avalada por el equipo de trabajo que posteriormente será removida cuando se tenga la solución definitiva. A veces esta solución temporal llega a formar parte de las soluciones permanentes siempre y cuando sea evaluada y aprobada por el equipo para cumplir con tal fin.

D4- Análisis de causa raíz. En esta disciplina es donde se trata de encontrar y analizar la causa o causas raíz del problema, una forma de hacerlo es apuntando la descripción del problema (paso número 2) y realizar una lluvia de ideas, luego clasificar estas ideas y realizar un diagrama Ishikawa. La mayoría de las veces es necesario ir hasta el lugar y observar el proceso y obtener información de quienes tienen experiencia y datos reales del proceso. Cuando se tiene la causa o causas se debe utilizar la metodología de las 5 porqués

para obtener las causas iniciales. La causa raíz se identifica comprobando que cuando se elimine no debe tener recurrencia.

D5-. Desarrollar soluciones permanentes. Cuando se ha encontrado la causa raíz es momento de desarrollar y planear soluciones efectivas que ataquen directamente al problema asegurándose que esta solución dará resultados en la eliminación de las causas que provocan el problema. Estas soluciones también deben de estar bien documentadas para monitorear su efectividad posteriormente.

D6-. Implementar y validar soluciones. En este paso se realiza la implementación de la o las soluciones que se han planeado previamente y cada solución es evaluada para medir su efectividad y actuar cuando exista algún evento que no esté contemplado conforme a la planeado, por eso el proceso debe ser flexible para realizar modificaciones en el tipo de soluciones que tengan deficiencias y no brinden un resultado optimo.

D7-. Prevenir la recurrencia. Al evaluar las estrategias de solución se está monitoreando la recurrencia del problema, esta es una parte importante ya que la metodología está orientada a la no recurrencia del problema, las acciones tomadas para la solución efectiva del problema también deben evitar la recurrencia en mejor de los casos pero cuando el alcance de estas soluciones son rebasadas se puede usar un AMEFP, modificación de las especificaciones y/o procedimientos, revisión del flujo de trabajo (análisis de restricciones) y capacitaciones son algunos de los ejemplos que se pueden usar para evitar la recurrencia.

D8-. Cerrar el problema y reconocer contribuciones. Una vez que se ha auditado el problema y se ha aprobado el conjunto de soluciones que han resuelto el problema, se debe de cerrar el proceso oficialmente con una reunión con los miembros del equipo para analizar los beneficios obtenidos, lo aprendido, las limitaciones y problemas que se encontraron en el proceso, si el procedimiento se puede aplicar en otras áreas y procesos de la organización,

identificar áreas de oportunidad en el proceso de la acción correctiva con la finalidad de tomarlas en cuenta para mejorar la metodología. Es importante reconocer la contribución de cada uno de los miembros del equipo, ya que toda la organización se beneficia con las actividades que contribuyen a la mejora continua.

Esta metodología tiene como principio fundamental y conceptual el ciclo Deming y cada uno de los pasos está clasificado en los cuatro principios de este ciclo. En las siguientes imágenes se muestran los pasos de esta metodología que se relacionan con el ciclo Deming así como un diagrama de flujo que describe el proceso.

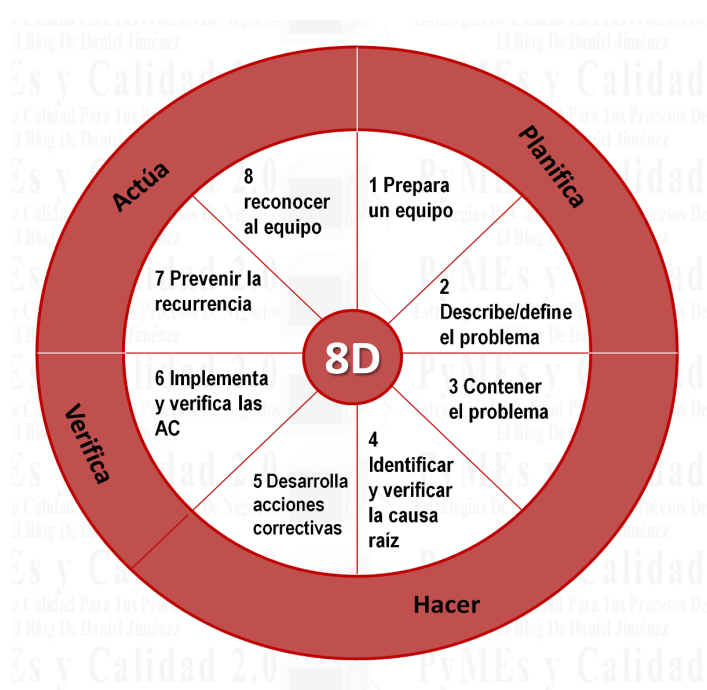


Imagen 3.5 Ciclo Deming para la metodología 8 D's

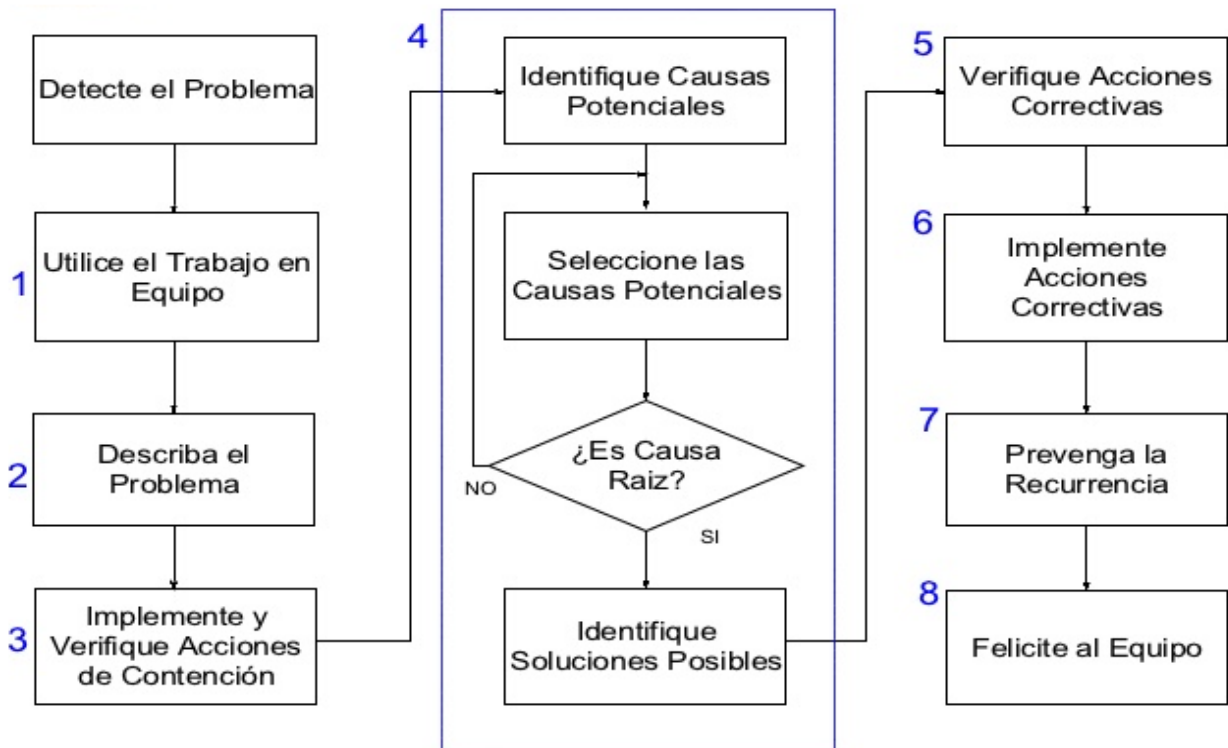


Imagen 3.6 Diagrama de flujo de la metodología 8 D's

En la imagen anterior (3.6) se muestra el diagrama de flujo para conducir una metodología 8 D's para la solución de un problema por medio de una acción correctiva y para documentar esta acción correctiva se implementa el formato 8 D's que es una guía de solución del problema en el anexo E se muestra el formato 8 D's con los datos recabados para la acción correctiva.

3.4 Análisis de Modos y Efectos de Falla de Procesos (AMEFP)

Otras de las herramientas utilizadas para este proyecto es la utilización del AMEFP como parte del análisis de los efectos que causa la variación del sistema de medición y el impacto que tiene en la calidad del producto definida por los requisitos del cliente, por otro lado contar con una justificación del análisis de riesgo de las fuentes de variación asociadas al laboratorio de pruebas de los equipos electrógenos fabricados por Generac Ottomotores permite tener un mayor control en el proceso.

Un AMEF es una metodología analítica que permite evaluar los modos y los efectos de una falla potencial en el diseño del producto o proceso que impactarían a la calidad del producto. Una de las premisas del AMEF es que se debe tomar acción antes de un evento y no un ejercicio después del hecho, esta premisa aplicaría para la elaboración de un análisis del sistema de medición donde se pretende analizar la variación de dicho sistema en donde podrían ocurrir distintas fallas que si no se corrigen el cliente acabaría pagando el costo asociado a las pérdidas por calidad de un grupo electrógeno que no cumple con las especificaciones.

Como una herramienta de evaluación de riesgos, el AMEF es considerado como un método para identificar la severidad de efectos potenciales de fallas y ofrece entradas para medidas de mitigación para reducir riesgos. En muchas de las aplicaciones del AMEF se calcula la probabilidad de ocurrencia de los modos y los efectos de las fallas que podrían ocurrir en el diseño del producto o en los procesos, esto hace al AMEF una herramienta para el mejoramiento de la confiabilidad.

3.4.1 Características comunes del AMEF

Las características comunes del AMEF permiten que se aplique en diversos procesos productivos, estas características comunes son:

1. El AMEF busca reducir la probabilidad de ocurrencia de una falla o minimizar el efecto de la falla.
2. Se efectúa previamente a la finalización del concepto (diseño) o previamente al inicio de la producción (proceso).
3. Es un proceso interactivo sin fin, donde todos participan y exponen sus ideas (tormenta de ideas), el proceso no termina ya que pueden salir fallas potenciales que no se contemplaron en la lluvia de ideas y se tendrá que analizar e incorporarlas en el documento, esto lo hace un documento vivo que todo el tiempo está cambiando.
4. Analiza la confiabilidad del sistema.
5. Se documenta tanto el diseño como el proceso.

Los beneficios que pueden obtenerse con un AMEF pueden ser a corto y largo plazo, los beneficios a corto plazo se traducen en la reducción de costos por retrabajos, paros en la línea, pruebas repetitivas y aunque los beneficios a largo plazo son más difíciles de identificarlos o llevar un registro de ellos por estar asociados con la percepción del cliente con respecto al producto este beneficio suele ser más importante ya que es el cumplimiento de las especificaciones que como mínimo un producto debe de tener.

El desarrollo de un AMEF de diseño o procesos se conduce por principios comunes los cuales son:

- Fallas potenciales del producto o proceso para cumplir con expectativas.
- Consecuencias potenciales.
- Causas potenciales de modos de fallas.
- Aplicación de controles actuales.
- Niveles de riesgo.
- Reducción de riesgo.

3.4.2 Estructura necesaria para el desarrollo del AMEF

La estructura necesaria para el desarrollo de un proyecto AMEF puede basarse en los siguientes elementos:

- Identificación del equipo de trabajo que participará en la elaboración del AMEF.
- Definición del alcance del AMEF (sistemas, subsistemas o componentes).
- Definición del cliente los cuales pueden ser: Usuario final, Centros de manufactura y ensamble, Productores en la cadena de suministro y Reguladores o instancias del gobierno que definen y monitorean el cumplimiento de seguridad y medio ambiente.
- Identificación de funciones, requerimientos y especificaciones. Esto es, clasificar la intención del diseño o proceso del producto.
- Identificación de modos de falla potenciales. Los cuales son la forma o manera que un producto o proceso podría fallar.
- Identificación de efectos potenciales. Estos efectos están asociados a los modos de falla y es la forma en que los percibe el cliente.
- Identificación de causas potenciales. Es una indicación de cómo una falla podría ocurrir, una relación directa entre una causa y su modo de falla resultante es: Si la causa ocurre, entonces el modo de falla ocurre.
- Identificación de Controles. Son las actividades que previenen o detectan las fallas o modos de fallas.
- Identificación y evaluación de riesgos la cual se evalúa en tres formas: Severidad, ocurrencia y detección.
- Acciones recomendadas y resultados. La intención de las acciones recomendadas es el reducir el riesgo global y la probabilidad de que el modo de falla ocurra.
- Responsabilidad de la Administración. Es el dueño del proceso AMEF.

En las siguientes imágenes se muestra un diagrama de flujo para llevar a cabo un AMEF de proceso.

Diagrama de fases de un AMEFP

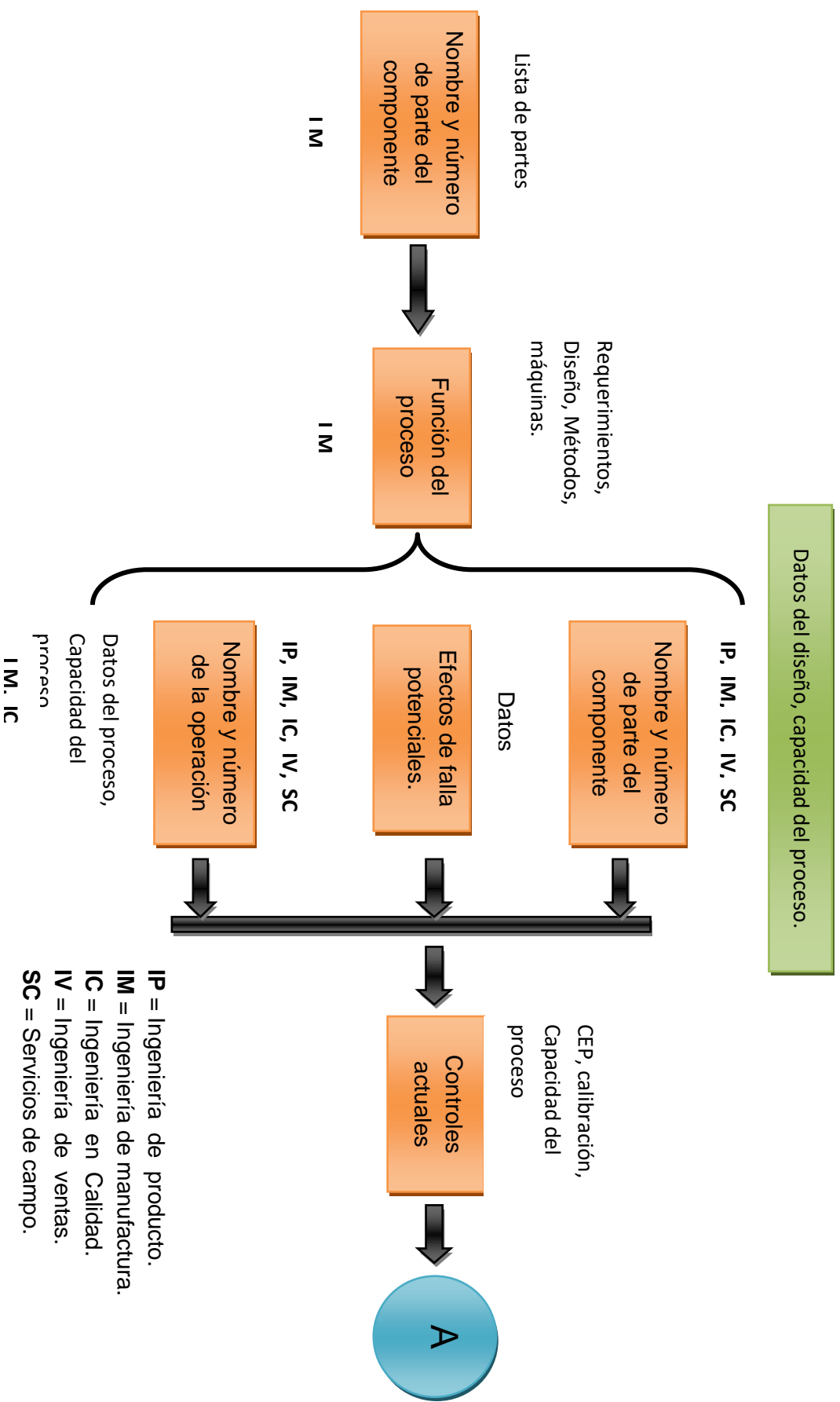


Diagrama de fases de un AMEFP

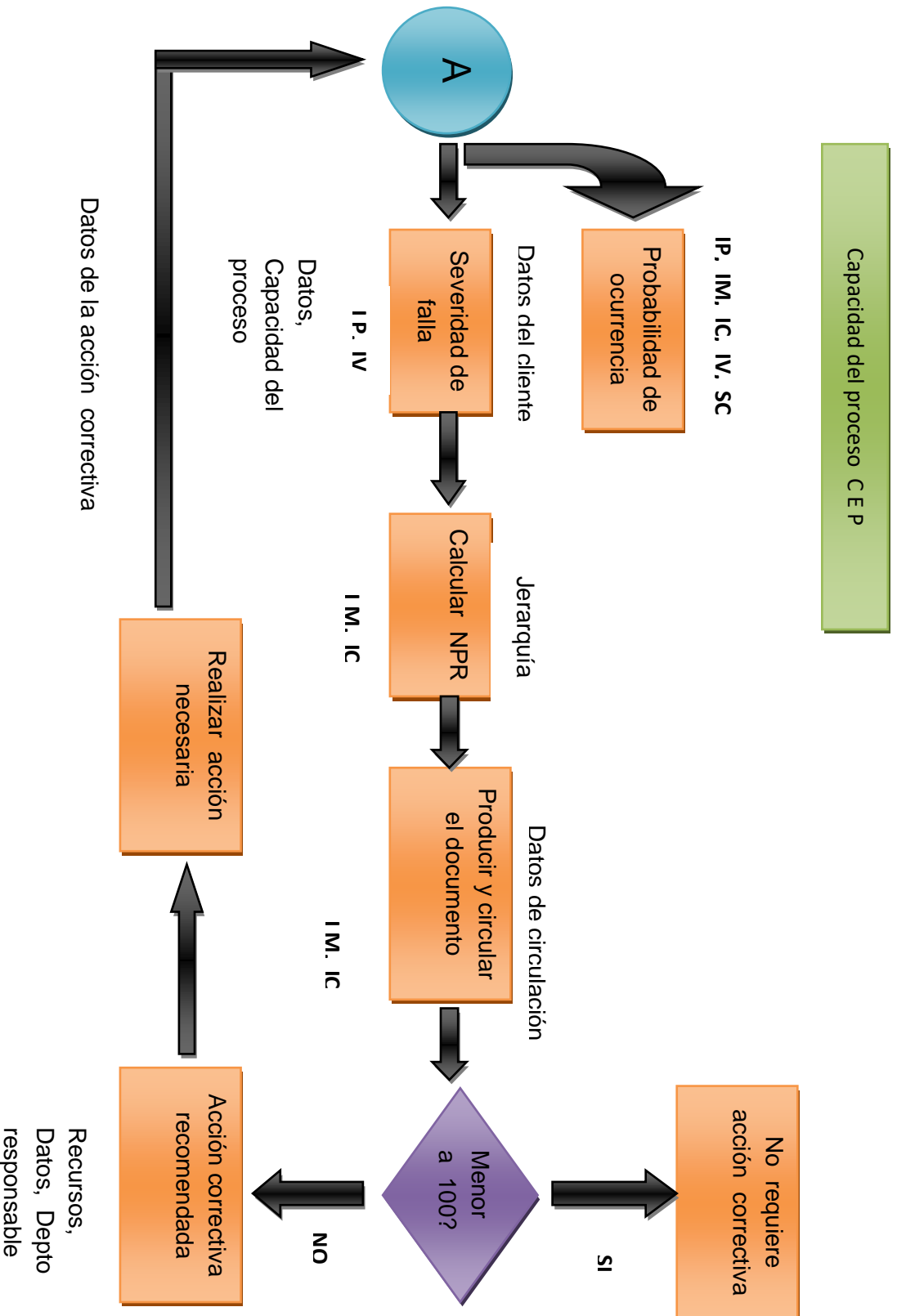


Imagen 3.7 Diagrama de flujo para la elaboración de un AMEFP⁹

⁹ Diagrama obtenido de la tesis de maestría (Cesar Alejandro Martínez Lugo, UANL 2004)

3.4.3 Requerimientos básicos para un AMEF

Para poder realizar un AMEF se requieren los siguientes elementos:

- Un equipo de personas dispuestas a brindar el servicio y el compromiso de mejorar la capacidad de diseño o proceso para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloques (diagramas de flujo) de cada nivel del sistema, desde los subensambles hasta el sistema completo.
- Especificaciones de los componentes, listas de piezas hasta datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, componentes, subensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formatos de AMEF en papel o electrónicos y una lista de consideraciones especiales que aplique en el producto.

El lenguaje a utilizar en un AMEF debe ser lo más explícito posible cuando se describa un ítem (ejemplo: modo de falla o causa) y no abordar temas que salgan fuera del alcance del AMEF y del entendimiento del equipo acerca de los efectos de falla. La redacción debe ser clara y la terminología concisa, teniendo un enfoque comprensible de los efectos ya que este enfoque es clave para la identificación y mitigación de los riesgos de falla.

La revisión de información histórica es esencial para la investigación y análisis de las causas, las áreas para la revisión deberían de incluir:

- Lecciones que se han aprendido de implementaciones previas de diseños de productos y procesos.
- Cualquier información disponible que establezcan mejores prácticas como lineamientos con guías y normas/estándares, ayudas visuales o proyectos Poka-Yokes.

En la siguiente imagen se muestra el formato con los elementos mínimos para la documentación de un AMEF de Diseño/Proceso.

ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA AMEF de Diseño / Proceso

Componente _____ Responsable del Diseño _____ AMEF Número _____
 Ensamble _____ Preparó _____ Pagina _____ de _____
 Equipo de Trabajo _____ FECHA (orig.) de FMEA _____ (rev.) _____

Función Proceso/ Requisitos	Modo Potencial de Falla	Efecto (s) Potencial (es) de falla	S e v e	C l a s e	Causa(s) Potencial(es) / Mecanismos de la falla	O c u r	Controles de Diseño/ Proceso Actuales Prevención	Controles de Diseño/ Proceso Actuales Detección	D e t e c	R P N	Acción (es) Recomenda da (s)	Responsable y fecha objetivo de Terminación	Resultados de Acción						
													Acciones Tomadas	S e v	O c c	D e t	R P N		

Imagen 3.8 Formato de elementos mínimos que un AMEF debe tener (Manual AMEF 4ta ed 2008).

Al ser un documento vivo, el AMEF debe ser revisado cuando haya un cambio en el diseño del producto o proceso y sea actualizado como sea requerido o en tiempos establecidos por la organización para una revisión periódica, esto para tener un control de los nuevos eventos de falla y riesgos causados por el constante cambio en los requerimientos del cliente.

En el anexo C se muestra el AMEFP para este proyecto, las tablas de criterios donde se evalúan los posibles modos de falla y sus se pueden obtener en el Manual AMEF 4ta ed 2008 de la AIAG.

3.4.4 Ventajas y limitaciones de un AMEF

Estas son algunas de las ventajas que podemos encontrar al realizar un AMEF de proceso:

- Una eficiente línea de manufactura.
- Disminuir las cargas de trabajo por cambios del proceso no previstos.
- Minimizar las fallas del proceso.
- Aumentar la confiabilidad en el proceso.
- Disminución de los costos por devoluciones.
- Añade satisfacción al cliente.

Las limitaciones que pudieran presentarse en el AMEFP por falta de seguimiento del equipo o un desinterés de la organización.

- Una mal elaboración por falta de entrenamiento de los miembros del equipo.
- Impacto inicial en el programa de manufactura.
- Impacto financiero en el requerimiento de herramienta, equipos y tecnología para una alta calidad en el proceso de manufactura.
- Incumplimiento a las fechas de cierre de las acciones a ser tomadas para la mejora del proceso.

3.5 Lineamientos y etapas para un estudio de Repetibilidad & Reproducibilidad (GageR&R)

Como se vio en el tema conceptual del capítulo 2 un estudio de repetibilidad & reproducibilidad nos sirve para identificar y establecer controles de las posibles fuentes de variación en un sistema de medición, esta evaluación nos ayuda a identificar cual es la contribución atribuible a la variación ocasionada por el instrumento de medición o la contribución atribuible al operador (técnico), así como posibles fuentes de variación por causas especiales. Para realizar este estudio se requieren ciertos lineamientos y etapas, las cuales son las siguientes:

- **Etapa 1.**
 - a. Verificar que se está midiendo la variable correcta.
 - b. Verificación del dispositivo, sujeciones si aplica.
 - c. Identificar cualquier aspecto clave y crítico ambiental de operación con el fin de detectar que estos aspectos no contribuyan significativamente a la variación global.
- **Etapa 2.**
 - a. Determinar las propiedades estadísticas de sistema de medición necesarias.
 - b. Importancia y conocimiento del uso de los datos obtenidos durante la prueba.
 - c. Evaluar el sistema de medición para saber si actualmente se cuenta con las propiedades estadísticas (monitoreo continuo de las fuentes de variación).

3.5.1 Aspectos claves y generales para el desarrollo de un procedimiento de evaluación

- El uso de estándares o normas como punto de referencia, esto es importante para verificar la exactitud y la credibilidad de las mediciones cuando se comparen el sistema de medición del fabricante y el sistema de medición del cliente.

- Monitoreo de las mediciones de prueba realizados durante el proceso de evaluación.
- Costo de la prueba.
- Tiempo necesario para realizar las pruebas.
- Comparación de mediciones entre dos sistemas diferentes para verificar si los dos sistemas trabajan bien juntos.
- Frecuencia para realizar replicas de estas pruebas.

3.6 Preparación para una evaluación de sistema de medición

Es importante para el desarrollo de un estudio R & R un enfoque de planeación antes de realizar cualquier medición para evaluar un sistema de medición tomando muy presente las etapas y aspectos claves mencionados en los puntos 3.5 y 3.5.1.

La selección del procedimiento para un proceso de evaluación de un sistema de medición debe de tomar en cuenta las limitaciones de dicho proceso y las condiciones actuales en las que se encuentra, se pueden realizar pruebas preliminares para corroborar que el procedimiento es el apropiado, las cuales deben ser parte integral de las pruebas de la etapa 1 como estudios de linealidad o sesgo.

El proceso de selección de la muestra es importante ya que se define la confiabilidad del estudio, para situaciones del control del producto el criterio de decisión es el cumplimiento o incumplimiento de las especificaciones de una característica, en este caso la muestra no necesita cubrir el rango completo del proceso y la evaluación se puede basar en las tolerancias de la característica. Por otra parte, en el control del proceso los criterios de decisión son la estabilidad del proceso, dirección y cumplimiento con la variación natural del proceso, aquí la muestra, debe cubrir el rango de operación completa y la variación del estudio puede basarse con la variación de proceso.

La aleatoriedad de los datos es de suma importancia por lo cual, la etapa de toma de lecturas (mediciones) debe conducirse por este principio como se explica a continuación:

1. Se obtiene una muestra de partes (piezas a medir) $n > 5$ que represente el rango actual o esperado de la variación del proceso (El número total de rangos generados debe ser mayor a 15 para obtener un nivel mínimo de confiabilidad en los resultados).
2. Se escogen los evaluadores quienes tomaran las mediciones que normalmente son 3 (A, B, C). Como recomendación y si así lo permite el proceso, para que un estudio de R&R no sea contaminado por la influencia del operador se recomienda que no sean advertidos ni que sean capaces de identificar las partes escogidas para el estudio, sólo quien realizará el análisis debe de identificar cuáles son las piezas sujetas al estudio.
3. Se debe de calibrar o ajustar el instrumento de medición antes de realizar las mediciones sólo si es parte del proceso de medición (puesta en cero por ejemplo). De acuerdo a la definición de un estudio R&R, las mediciones repetidas hechas por los evaluadores se deben realizar con el mismo instrumento de medición, pero esto puede cambiar según las condiciones y características del proceso de medición y producción.
4. Se determina la cantidad de mediciones repetidas con base en el costo, complejidad del proceso de medición y configuración de la parte o rangos de variación del proceso por ejemplo, si la parte a medir no es tan compleja, se puede escoger una cantidad grande de piezas y pocas repeticiones de mediciones (3 repeticiones) o si el proceso de medición es relativamente fácil pero la configuración de la parte es muy compleja se pueden usar pocas piezas y más intentos (5 repeticiones).
5. Realizar las mediciones por parte del primer evaluador de forma aleatoria y registrar las lecturas en un formato diseñado para este fin. Por ejemplo, evaluador A mide la parte número 1 (u otra) y se registra el primer intento en la casilla destinada a esta lectura en el formato, evaluador B mide la parte número 5 (u otra) y se registra el primer intento en la casilla destinada

a esta lectura en el formato, el evaluador C mide la parte 3 (u otra parte) y se registra el primer intento en la casilla destinada a esta medición. Posterior a esto el evaluador A toma la parte número 5 (u otra) y realiza la segunda medición y la registra en la casilla destinada a esta lectura. Esto pasa con los otros 2 operadores quienes realizarán las mediciones hasta completar el ciclo de las repeticiones determinadas en el paso 4 sin permitir que los operadores vean las mediciones obtenidas por los otros evaluadores.

6. El paso número 5 puede cambiar cuando el tamaño de las partes es grande o no hay disponibilidad de partes simultaneas, lo cual hace necesario lo siguiente:
 - Permita que el evaluador A efectúe la primera medición a la parte # 1 y que se registre la primer medición en la casilla correspondiente, luego el evaluador B toma la parte #1 y realiza su primera medición registrándola, terminando el evaluador B de realizar la medición de la parte #1, el evaluador C toma esta misma pieza (#1) y realiza su primera medición registrando la lectura.
 - Posterior a esto el evaluador A toma la pieza # 1 y realiza la segunda medición, se registra esta lectura en la casilla destinada a esta medición, esto pasa con los otros dos evaluadores hasta completar las repeticiones determinadas en el paso 4.
7. Un método alternativo es dejar que el evaluador A mida todas las partes de forma aleatoria o cuando vaya apareciendo alguna pieza elegida para el estudio hasta completar las repeticiones de mediciones y registrar los datos en el formato. Posterior a esto, permitir al evaluador B mida todas las piezas que anteriormente midió el evaluador A hasta completar las repeticiones en las mediciones y registrar los datos, para finalizar, repetir esta acción con el evaluador C.

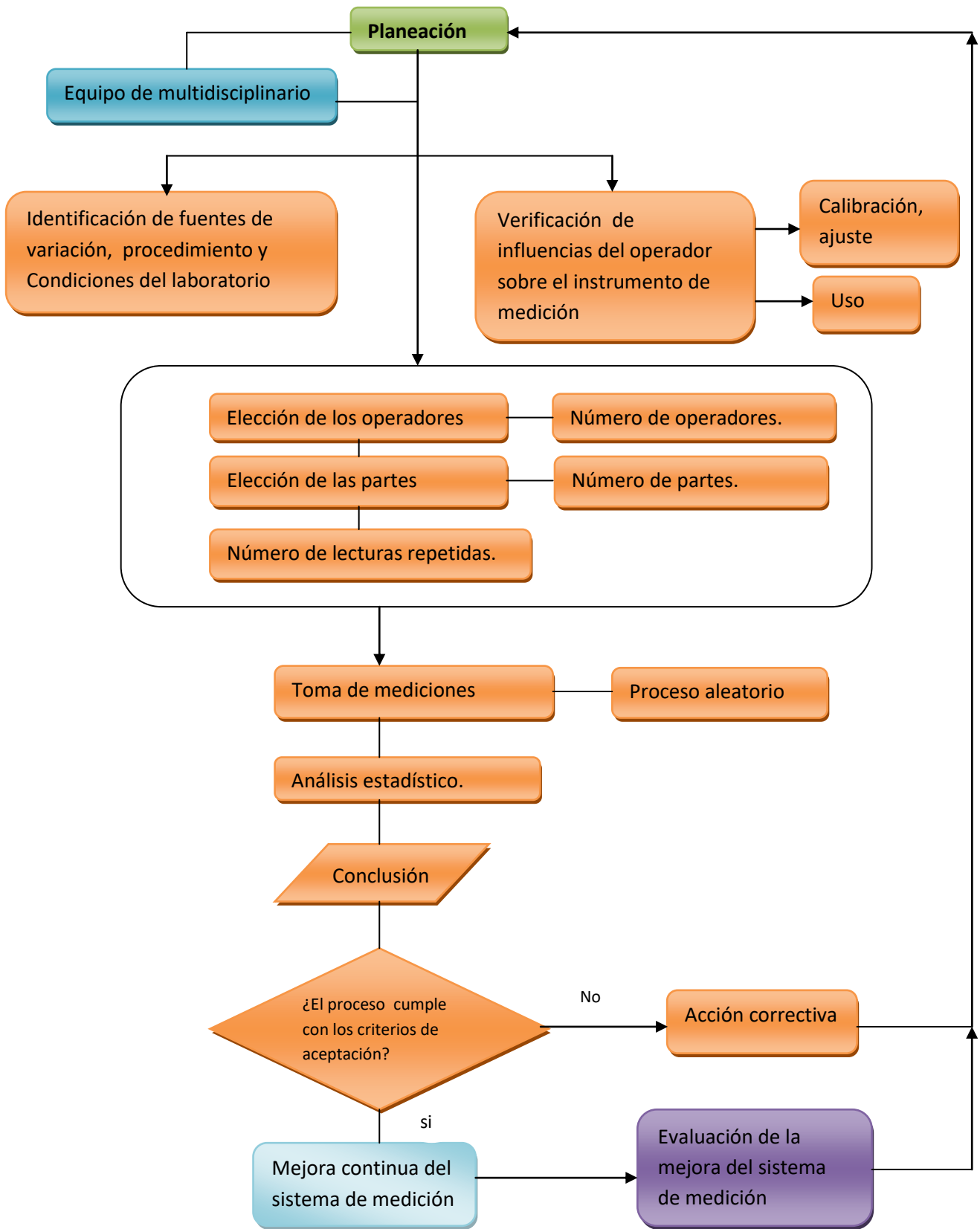


Imagen 3.9 Diagrama de proceso para el desarrollo de una evaluación de sistema de medición.

3.6.1 Criterios de aceptación

Como parte de la evaluación a los sistemas de medición los criterios de aceptación forman un punto medular para la toma de decisión y acciones correctivas que permitirán el mejoramiento de los sistemas productivos. El criterio de aceptación es como sigue:

G R&R	Decisión	Comentarios
Abajo del 10 %	Generalmente considerado un sistema de medición aceptable.	Recomendado, especialmente recomendado para separar o clasificar partes o cuando se requiere cerrar el control del proceso.
De 10 % al 30 %	Puede ser aceptable para algunas aplicaciones.	La decisión debiera basarse en, por ejemplo, importancia de las mediciones en la aplicación, costos de dispositivos de medición, costos de retrabajos ó reparaciones. Debiera ser aprobado por el cliente.
Arriba del 30%	Se considera inaceptable.	Debiera hacerse todo esfuerzo por mejorar el sistema de medición. Esta condición puede ser abordada por el uso de una estrategia de mediciones apropiada; por ejemplo, usando el resultado promedio de varias lecturas sobre la misma característica de la parte, a fin de reducir la variación final en las mediciones.

Tabla 3.1 Criterios de aceptación para un estudio R & R (Manual MSA 4ta ed. 2010).

Otro métrico adicional para el análisis del desempeño del sistema de medición y que nos sirve como parte de la evaluación y toma de decisión es el *número de categorías distintas*. Este estadístico nos indica el número de categorías en las cuales el proceso puede dividirse. En la siguiente tabla se muestra la descripción de estas categorías:

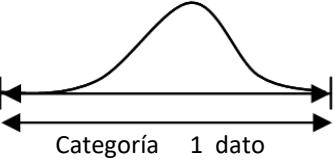
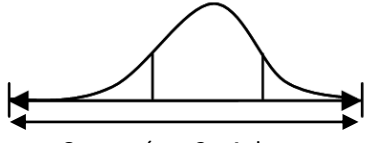

Número de categorías	Control	Análisis
 <p>Categoría 1 dato</p>	<p>Puede ser utilizado para control solo si:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La variación del proceso es pequeña al compararla a las especificaciones. - La función de pérdida es plana sobre la variación del proceso esperado. <p>La fuente principal de variación causa un cambio promedio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Inaceptable para la estimación de parámetros del proceso e índices <p>Sólo indica si el proceso está produciendo partes conformes o no conformes.</p>
 <p>Categoría 2 - 4 datos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser utilizado con técnicas de control semi-variables basadas en la distribución del proceso. <p>Puede producir cartas de control por variables insensibles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente no aceptable para estimación de parámetros de proceso e índices ya que sólo proporciona estimados gruesos.
 <p>Categoría 5 o más datos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser utilizado con cartas de control por variables 	<p>Recomendado</p>

Tabla 3.2 Número de categorías distintas para análisis de resultado (Manual MSA 4ta ed. 2010).

3.7 Conducción de un estudio R & R

El desarrollo del estudio esta referenciado a las prácticas recomendadas en el manual de análisis de sistemas de medición de la AIAG (Manual MSA 4ta Ed 2010), para el análisis estadístico y resultados nos apoyamos del software estadístico Minitab 17 y hoja de cálculo Excel en donde se siguen los mismos principios del manual MSA tomando en cuenta las condiciones y limitaciones del sistema y proceso de medición.

El estudio R & R realizado con el fin de determinar la variación del sistema de medición en el laboratorio de pruebas de Generac Ottomotores en el cual se registraron las mediciones de las variables: Intensidad de corriente eléctrica y voltaje en 9 equipos electrógenos a diesel para generación eléctrica de 100 KW a 220 Volts con 9 OTP's asignadas.

Los equipos electrógenos a los que se realizaron las pruebas están conformados por un generador Leroy-Somer modelo LSA 442VS.45, un motor de combustión interna Perkins a diesel modelo 1104C-44TAG y los módulos de control modelo DS 7320 para el encendido y control de las plantas.

3.7.1 Condiciones del área de pruebas

Las condiciones ambientales y de equipo con las que se contaban al momento de realizar las pruebas son las siguientes:

- Temperatura ambiental promedio: 25° C.
- Temperatura promedio del motor registrada desde los módulos de control: 85.3° C.
- Presión atmosférica (ciudad de México): 586 mm de Hg.
- Altura media de la ciudad de México: 2240 metros sobre el nivel del mar.
- Banco de carga resistiva: Avtron modelo LSH150-D34085-3 de 150 KW.

3.7.2 Instrumentos de medición utilizados:

Multímetro	PR-013	PR-009	TAB-021
Marca	Fluke	Fluke	Fluke
Modelo	179	179	87 V

Amperímetro	PR-006	SEP-018	CA-014
Marca	Fluke	Fluke	KIORITSU
Modelo	376	376	2002 PA

Tabla 3.3. Instrumentos de medición utilizados durante la prueba R & R.

Equipo electrógeno	Operador/ Gage	Operador A	Operador B	Operador C
OTP 2069	Amperímetro	PR-006	SEP-018	CA-014
	Multímetro	PR-013	PR-009	TAB-021
OTP 2071	Amperímetro	PR-006	CA-014	SEP-018
	Multímetro	PR-013	TAB-021	PR-009
OTP 2282	Amperímetro	PR-006	SEP-018	CA-014
	Multímetro	PR-013	TAB-021	PR-009
OTP 2134	Amperímetro	PR-006	SEP-018	CA-014
	Multímetro	PR-013	PR-009	TAB-021
OTP 2087	Amperímetro	PR-006	CA-014	SEP-018
	Multímetro	PR-013	PR-009	TAB-021
OTP 2158	Amperímetro	PR-006	SEP-018	CA-014
	Multímetro	PR-013	TAB-021	PR-009
OTP 2073	Amperímetro	PR-006	CA-014	SEP-018
	Multímetro	PR-013	PR-009	TAB-021
OTP 2070	Amperímetro	PR-006	SEP-018	CA-014
	Multímetro	PR-013	TAB-021	PR-009
OTP 2067	Amperímetro	PR-006	CA-014	SEP-018
	Multímetro	PR-013	TAB-021	PR-009

Tabla 3.4. Asignación de instrumentos de medición a cada operador por OTP (amperímetro y multímetro), el instrumento está identificado con el código de rastreabilidad.

3.7.3 Fase de toma de mediciones

El proceso para toma de mediciones se describe a continuación:

1. El equipo (planta eléctrica) ya ensamblado y cableado pasa al área de pruebas para acoplar el tablero de control y ser preparado para la prueba de arranque de acuerdo al procedimiento TS-105.
2. Los técnicos A, B y C se les asigna los instrumentos de medición correspondientes a la tabla 1.
3. Se enciende el equipo y se ajusta la frecuencia y potencia con la ayuda del tablero de control para obtener las mediciones de estos valores respectivamente (el valor de la potencia que aparece en el módulo sirve como referencia para el control del banco de carga).
4. Los técnicos colocan sus amperímetros asignados en la línea L1 para tomar registro de la corriente cuando la carga en el banco de resistencias se encuentra a un 75% asegurándose que el clamp esté bien posicionado.
5. Los técnicos colocan las puntas del multímetro en la L1 y L2 para medir la tensión entre estas dos líneas cuando la carga en el banco de resistencias se encuentra al 75%.
6. Los técnicos registran las mediciones 5 veces en el formato para el estudio, esto para la L1 (corriente) y L1-L2 (voltaje). Los registros de las mediciones de corriente y tensión se realizan cada 10 segundos hasta completar las 5 réplicas. Las mediciones de la tensión y corriente se realizan al mismo tiempo para reducir el tiempo de encendido del equipo.
7. Cuando todos los técnicos terminaron de registrar las 5 mediciones de la corriente y voltaje se hace el cambio de posición del amperímetro a la línea L2 y las puntas del multímetro a las líneas L2 y L3.
8. Se repite el punto número 5 para registrar las mediciones de la corriente y voltaje en las líneas L2 (corriente) y L2-L3 (voltaje).
9. Cuando todos los técnicos terminaron de registrar las 5 mediciones de la corriente y voltaje se hace el cambio de posición del amperímetro a la línea L3 y las puntas del multímetro a las líneas L1 y L3.

10. Se repite el punto número 5 para registrar las mediciones de la corriente y voltaje en las líneas L3 (corriente) y L1-L3 (voltaje).

11. Se registra la temperatura ambiente y temperatura del motor.

Nota: La temperatura del motor se obtiene directamente del módulo de control, se registra la potencia que el módulo de control muestra en su pantalla.

12. La prueba se termina con el paro del equipo.

En las siguientes imágenes se muestra el formato para la recolección de mediciones repetidas asignado a cada uno de los operadores (A, B, C). Cabe señalar que la potencia proviene de un cálculo (en los análisis de normalidad se muestran todas las mediciones realizadas).

		Maquina: 100KW 220V			OTP:			Temperatura del motor (c°) al 75% de carga:					
		Corriente			Voltaje			Potencia 1	Potencia 2	Potencia 3	Frecuencia 1	Frecuencia 2	Frecuencia 3
Operador A:	Intento	L1	L2	L3	L1-L2	L2-L3	L1-L3						
	1												
Multímetro:	2												
	3												
Amperímetro:	4												
	5												

Potencia en el módulo:

Temperatura ambiente (c°):

		Maquina: 100KW 220V			OTP:			Temperatura del motor (c°) al 75% de carga:					
		Corriente			Voltaje			Potencia 1	Potencia 2	Potencia 3	Frecuencia 1	Frecuencia 2	Frecuencia 3
Operador B:	Intento	L1	L2	L3	L1-L2	L2-L3	L1-L3						
	1												
Multímetro:	2												
	3												
Amperímetro:	4												
	5												

Potencia en el módulo:

Temperatura ambiente (c°):

	Maquina: 100KW 220V			OTP:			Temperatura del motor (c°) al 75% de carga:						
Operador C:	Intento	Corriente			Voltaje			Potencia 1	Potencia 2	Potencia 3	Frecuencia 1	Frecuencia 2	Frecuencia 3
		L1	L2	L3	L1-L2	L2-L3	L1-L3						
	1												
Multímetro:	2												
	3												
Amperímetro:	4												
	5												

Potencia en el módulo:
Temperatura ambiente (c°):

Imagen 3.10 Formato para captura de mediciones.



Imagen 3.11 Fase de toma de mediciones; en la imagen izquierda se muestra el equipo preparado para el arranque inicial de acuerdo al procedimiento de la compañía y en la imagen derecha se visualizan a los técnicos tomando las mediciones.

3.7.4 Cálculo de muestra de equipos electrógenos

De acuerdo con lo establecido en el punto 3 de la norma ISO 10017 – Orientación sobre las técnicas estadísticas para la norma ISO 9001:2008, se determina el tamaño de muestra por medio de un muestreo con población finita calculándose de la siguiente manera:

$$n = \frac{K^2 \times p \times q \times N}{(e^2 \times (N - 1)) + K^2 \times p \times q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población.

p/q = Probabilidad de ocurrencia de evento.

K = Nivel de confianza.

e = Margen de error permitido.

Datos utilizados para la determinación del tamaño de muestra:

N = 18*

P = 0.97

q = 0.03

K = 1.48 ≈ 1.5 (93 %)

e = 6%

n = 9

De acuerdo al método de muestreo con población finita el número de equipos a probar tendrían que ser 9 equipos. Los equipos probados se fueron seleccionando y eligiendo conforme al programa de producción con intervalo de tiempo de la semana 35 a la semana 43 donde se tomaron 9 plantas para tener 27 partes a medir (líneas).

***Nota:** El valor de la población (N) es un valor referenciado al número de plantas fabricadas en el primer semestre del 2016 con capacidad de 100 Kw a 220 V con motor Perkins).

3.8 Costos asociados a los estudios R & R en grupos electrógenos.

La estimación de los costos asociados a un estudio R & R es indispensable para poder diseñar el estudio y así considerar las restricciones del proceso y fuentes de variación que se deben controlar. El costo estimado para elaborar las pruebas van a depender en gran medida del tipo de sistema a medir, entre más compleja sea la configuración de las partes más costosa es la prueba, otro indicador es el tipo de variable a medir ya que, dependiendo de la dificultad de la medición relacionada a la característica es el nivel del costo. En muchos casos el control de las condiciones ambientales en el laboratorio podrían elevar el costo de las pruebas, en otros casos el manejo de las piezas, si el diseño del estudio intervienen pruebas destructivas o calibraciones de los instrumentos de medición por proveedores externos certificados.

En la siguiente tabla se muestran los costos estimados para realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad en un sistema de medición de corriente eléctrica y diferencia de potencial en las líneas de fuerzas de grupos electrógenos de 100 KW:

Concepto	Valor referencia
Renta de banco de carga resistiva de 100 KW	\$ 9,000.00
Manejo de materiales	\$ 7,000.00
Tiempo de los técnicos	\$ 1,800.00
Diesel	\$ 2,124.36
Refrigerante	\$ 4,347.00
Aceite	\$ 2,970.00
Costo de análisis estadístico.	\$ 2,000.00
Costo de instrumentos de medición	\$ 68,416.00
Costo asociado a instrumentos de medición (calibración)	\$ 9,000.00
Costo de oportunidad	\$ 4,000.00
software	\$ 7,000.00
Energía eléctrica	\$ 1,200.00
Costo estimado	\$ 118,857.36

Tabla 3.5 Estimación de costos asociados en la prueba de 9 equipos electrógenos para un estudio R & R.

3.9 Prueba de normalidad de los datos

Antes de realizar la metodología estadística para la evaluación del sistema de medición es necesario efectuar pruebas de normalidad a las mediciones para saber si se comportan como una distribución normal. Para este análisis se utilizó el método de Kolmogorov-Smirnov y análisis gráfico. La prueba de normalidad en las mediciones de L1, L2 y L3 para la variable intensidad de corriente eléctrica (A) se efectúan por separado, de igual forma se somete a prueba de normalidad los datos obtenidos para el voltaje en L1-L2, L2-L3 y L1-L3.

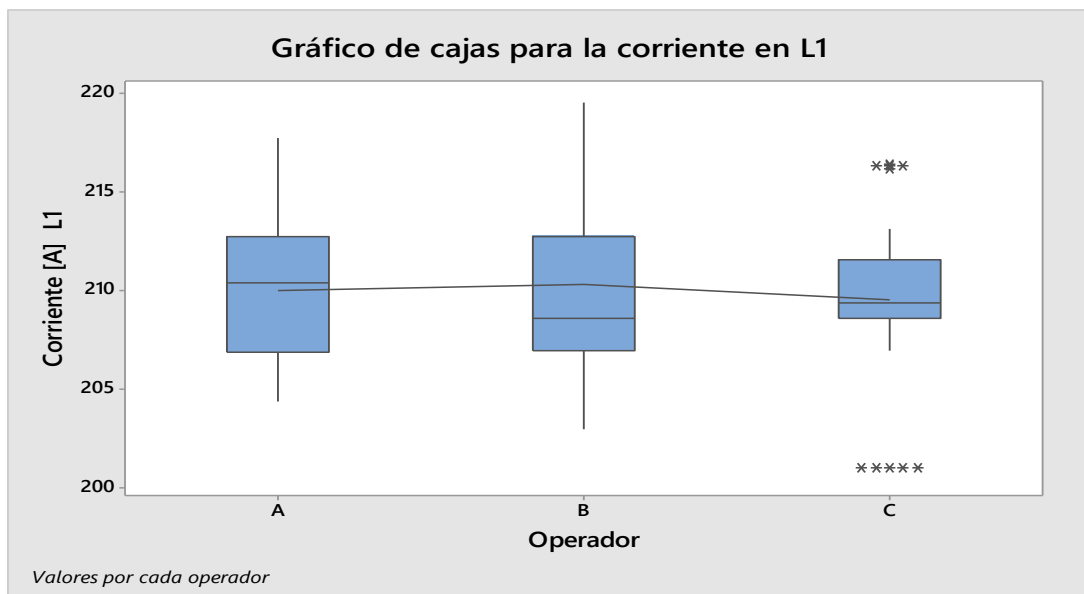
3.9.1 Prueba de normalidad para intensidad de corriente eléctrica[A]

Corriente (A) para la línea 1											
OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE (A)	OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE (A)	OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE (A)
2069	A	PR-006	210.5	2158	A	PR-006	215.8	2073	A	PR-006	204.4
2069	A	PR-006	210.4	2158	A	PR-006	215.5	2073	A	PR-006	204.9
2069	A	PR-006	210.4	2158	A	PR-006	215.4	2073	A	PR-006	205
2069	A	PR-006	210.5	2158	A	PR-006	215.2	2073	A	PR-006	205
2069	A	PR-006	210.5	2158	A	PR-006	215.2	2073	A	PR-006	205.3
2069	B	SEP-018	211.7	2158	B	SEP-018	217	2073	B	CA-014	206
2069	B	SEP-018	212.7	2158	B	SEP-018	216.9	2073	B	CA-014	206
2069	B	SEP-018	212.7	2158	B	SEP-018	216.8	2073	B	CA-014	206
2069	B	SEP-018	212.7	2158	B	SEP-018	216.4	2073	B	CA-014	206
2069	B	SEP-018	212.5	2158	B	SEP-018	216.4	2073	B	CA-014	206
2069	C	CA-014	208.8	2158	C	CA-014	216.4	2073	C	SEP-018	209.4
2069	C	CA-014	208.8	2158	C	CA-014	216.3	2073	C	SEP-018	209.4
2069	C	CA-014	208.6	2158	C	CA-014	216.3	2073	C	SEP-018	209.4
2069	C	CA-014	208.6	2158	C	CA-014	216.3	2073	C	SEP-018	209.4
2069	C	CA-014	208.6	2158	C	CA-014	216.2	2073	C	SEP-018	209.4
2071	A	PR-006	210.2	2087	A	PR-006	207	2067	A	PR-006	213.1
2071	A	PR-006	210.4	2087	A	PR-006	206.9	2067	A	PR-006	212.6
2071	A	PR-006	210.4	2087	A	PR-006	206.8	2067	A	PR-006	212.5
2071	A	PR-006	210.4	2087	A	PR-006	206.7	2067	A	PR-006	212.4
2071	A	PR-006	210.4	2087	A	PR-006	206.7	2067	A	PR-006	212.4
2071	B	CA-014	208.9	2087	B	CA-014	208	2067	B	CA-014	219.5
2071	B	CA-014	208.7	2087	B	CA-014	207	2067	B	CA-014	219.5
2071	B	CA-014	208.6	2087	B	CA-014	207	2067	B	CA-014	219.5
2071	B	CA-014	208.6	2087	B	CA-014	207	2067	B	CA-014	219.5
2071	B	CA-014	208.4	2087	B	CA-014	207	2067	B	CA-014	219.5
2071	C	SEP-018	211	2087	C	SEP-018	209	2067	C	SEP-018	213.1
2071	C	SEP-018	211	2087	C	SEP-018	209	2067	C	SEP-018	212.6

2071	C	SEP-018	211	2087	C	SEP-018	209	2067	C	SEP-018	212.5
2071	C	SEP-018	211	2087	C	SEP-018	209	2067	C	SEP-018	212.4
2071	C	SEP-018	211	2087	C	SEP-018	209	2067	C	SEP-018	212.4
2282	A	PR-006	207.3	2134	A	PR-006	207.3	2070	A	PR-006	217.7
2282	A	PR-006	207.5	2134	A	PR-006	207.1	2070	A	PR-006	214.5
2282	A	PR-006	207.6	2134	A	PR-006	206.9	2070	A	PR-006	212.8
2282	A	PR-006	207.8	2134	A	PR-006	206.8	2070	A	PR-006	214.7
2282	A	PR-006	207.8	2134	A	PR-006	206.8	2070	A	PR-006	214.8
2282	B	SEP-018	211	2134	B	SEP-018	203.2	2070	B	SEP-018	208.2
2282	B	SEP-018	211	2134	B	SEP-018	203.1	2070	B	SEP-018	208.2
2282	B	SEP-018	211	2134	B	SEP-018	203	2070	B	SEP-018	208.2
2282	B	SEP-018	211	2134	B	SEP-018	203.6	2070	B	SEP-018	208.2
2282	B	SEP-018	211	2134	B	SEP-018	203.6	2070	B	SEP-018	208.1
2282	C	CA-014	208	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	212.2
2282	C	CA-014	207	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	209.7
2282	C	CA-014	207	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	210.5
2282	C	CA-014	207	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	209.8
2282	C	CA-014	207	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	210.1

Tabla 3.6 Valores de las mediciones repetidas para la intensidad de corriente (A) en L1 clasificadas por OTP, Operador y código de instrumento.

Resultados:



Gráfica 3.1 Gráfico de cajas. En este gráfico se muestran los valores de tendencia central como la media y la mediana (rango intercuartil) donde se concentra el 50% de los datos, los bigotes inferior y superior representan el 25%

de los datos respectivamente. En la gráfica se observa que la media entre los operadores se encuentran casi al mismo nivel lo que ayudará al análisis R & R. El operador C presenta datos atípicos (*) estos datos quedan fuera del 25% de los datos contenidos en los bigotes y la gráfica del operador B muestra datos más dispersos ya que la longitud de los bigotes es mayor que el de las otras gráficas. La gráfica del operador A presenta una distribución más simétrica lo cual indica que la dispersión de los datos no es tan grande.

En la siguiente gráfica (histograma con línea de tendencia) se observa la similitud de los datos con la distribución normal así como la comparativa entre operadores.

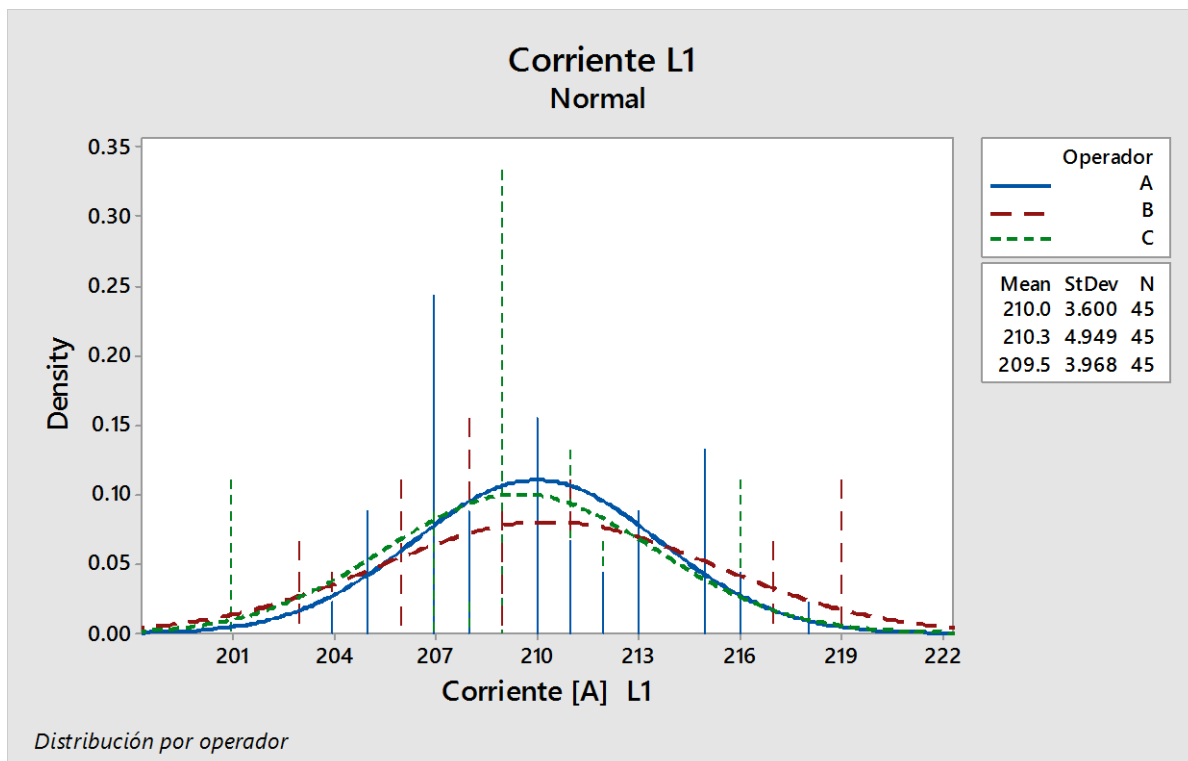


Gráfico 3.2 histograma con línea de tendencia y proyección de datos.

La distribución de los datos entre el operador A y C son muy similares, lo podemos corroborar con las desviaciones estándar, 3.6 para el operador A y 3.968 para el operador C, estos valores son muy cercanos uno del otro, también se visualiza en las líneas que representan la distribución normal de color azul y verde. La línea de distribución del operador B aparece más comprimida hacia abajo lo que indica que

los valores son más dispersos con una desviación estándar de 4.949 con respecto a los otros operadores.

En la siguiente gráfica se visualiza la prueba de normalidad por el método de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de confianza del 95% y un grado de libertad de 135. Realizando el comparativo del valor estadístico de Kolmogorov-Smirnov (KS) obtenido de las mediciones y el calculado por tabla de valores críticos KS, el cual para un grado de libertad de 135 se calcula con la formula $\frac{1.36}{\sqrt{N}}$.

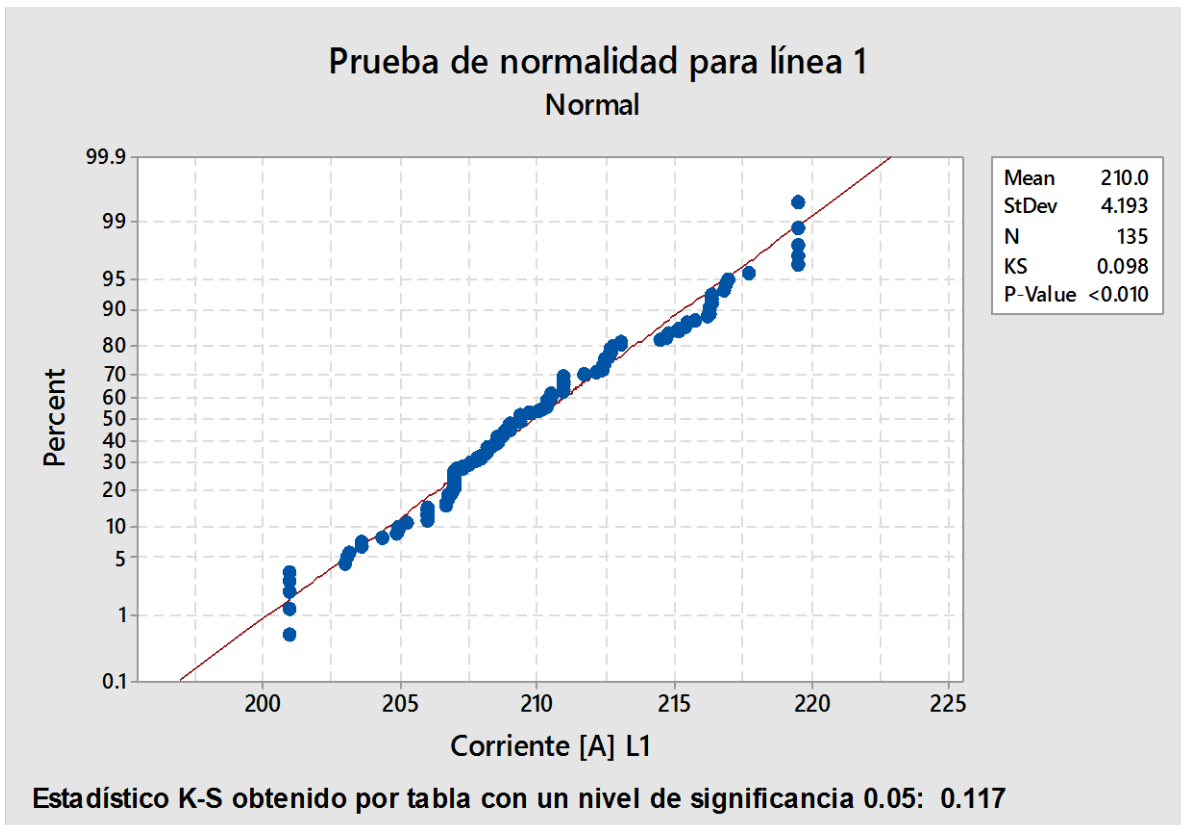


Gráfico 3.3 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Para esta prueba se formulan las siguientes hipótesis:

h_0 = Los datos de la intensidad de corriente eléctrica para la línea 1 tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla ($\frac{1.36}{\sqrt{N}}$) es mayor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

h_1 = Los datos de la intensidad de corriente eléctrica para la línea 1 no tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $\left(\frac{1.36}{\sqrt{N}}\right)$ es menor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

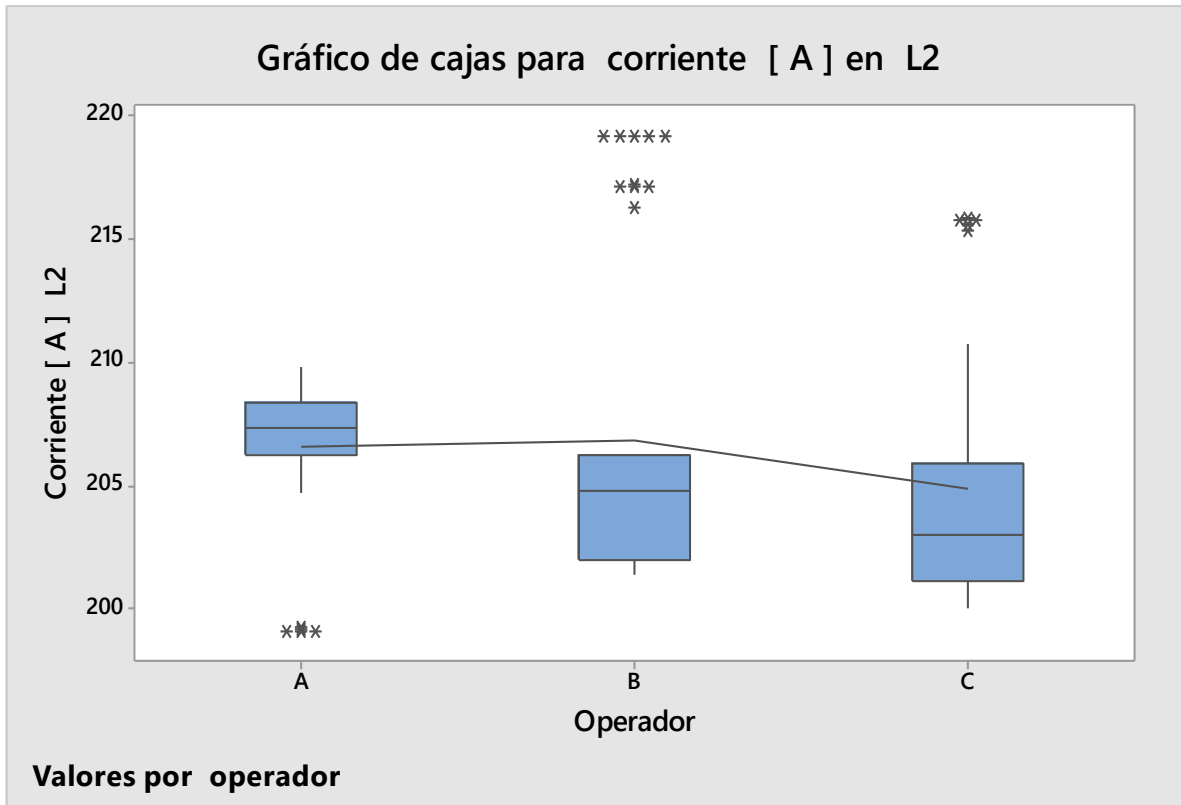
Comparando los valores KS se tiene que: $0.117 > 0.098$ (el estadístico KS teórico es mayor al estadístico KS de las observaciones). Por lo tanto **se acepta la hipótesis nula (h_0)**. En otras palabras, se dice que: no hay evidencia suficiente para afirmar que las mediciones de la corriente en la L1 no tengan una distribución normal.

Corriente (A) para Línea 2											
OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE [A]	OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE [A]	OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE [A]
2069	A	PR-006	208.8	2158	A	PR-006	206.4	2073	A	PR-006	208.4
2069	A	PR-006	208	2158	A	PR-006	206.8	2073	A	PR-006	208.4
2069	A	PR-006	208.1	2158	A	PR-006	207.3	2073	A	PR-006	208.4
2069	A	PR-006	208	2158	A	PR-006	207.3	2073	A	PR-006	208.4
2069	A	PR-006	208.1	2158	A	PR-006	207.3	2073	A	PR-006	208.4
2069	B	SEP-018	204.9	2158	B	SEP-018	216.2	2073	B	CA-014	205
2069	B	SEP-018	204.8	2158	B	SEP-018	217.2	2073	B	CA-014	206
2069	B	SEP-018	204.8	2158	B	SEP-018	217.1	2073	B	CA-014	206
2069	B	SEP-018	204.8	2158	B	SEP-018	217.1	2073	B	CA-014	205
2069	B	SEP-018	204.8	2158	B	SEP-018	217.1	2073	B	CA-014	205
2069	C	CA-014	202	2158	C	CA-014	215.3	2073	C	SEP-018	205.9
2069	C	CA-014	202.4	2158	C	CA-014	215.8	2073	C	SEP-018	205.9
2069	C	CA-014	202.4	2158	C	CA-014	215.7	2073	C	SEP-018	205.8
2069	C	CA-014	202.4	2158	C	CA-014	215.7	2073	C	SEP-018	205.8
2069	C	CA-014	202.4	2158	C	CA-014	215.6	2073	C	SEP-018	205.8
2071	A	PR-006	208.3	2087	A	PR-006	199.3	2067	A	PR-006	206.3
2071	A	PR-006	208.2	2087	A	PR-006	199.1	2067	A	PR-006	206.2
2071	A	PR-006	208.3	2087	A	PR-006	199.1	2067	A	PR-006	206.2
2071	A	PR-006	208.3	2087	A	PR-006	199.2	2067	A	PR-006	206.2
2071	A	PR-006	208.2	2087	A	PR-006	199.1	2067	A	PR-006	206.2
2071	B	CA-014	206.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	219.1
2071	B	CA-014	206.1	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	219.1

2071	B	CA-014	206.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	219.1
2071	B	CA-014	206.1	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	219.1
2071	B	CA-014	206.2	2087	B	CA-014	203	2067	B	CA-014	219.1
2071	C	SEP-018	210.7	2087	C	SEP-018	200.6	2067	C	SEP-018	201.1
2071	C	SEP-018	210.5	2087	C	SEP-018	200.7	2067	C	SEP-018	201.1
2071	C	SEP-018	210.5	2087	C	SEP-018	200.7	2067	C	SEP-018	201.3
2071	C	SEP-018	210.5	2087	C	SEP-018	200.6	2067	C	SEP-018	201.3
2071	C	SEP-018	210.5	2087	C	SEP-018	200.6	2067	C	SEP-018	201.3
2282	A	PR-006	209.5	2134	A	PR-006	207.3	2070	A	PR-006	204.7
2282	A	PR-006	209.8	2134	A	PR-006	207.2	2070	A	PR-006	204.9
2282	A	PR-006	209.7	2134	A	PR-006	207.3	2070	A	PR-006	204.7
2282	A	PR-006	209.7	2134	A	PR-006	207.2	2070	A	PR-006	205.8
2282	A	PR-006	209.7	2134	A	PR-006	207.2	2070	A	PR-006	205.7
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	201.4	2070	B	SEP-018	201.5
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	201.4	2070	B	SEP-018	201.5
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	201.4	2070	B	SEP-018	201.5
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	201.5	2070	B	SEP-018	201.5
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	201.5	2070	B	SEP-018	201.5
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	204.2
2282	C	CA-014	204	2134	C	CA-014	200	2070	C	CA-014	204.2
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	204.1
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	200	2070	C	CA-014	204
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	203.9

Tabla 3.7 Valores de las mediciones repetidas para la intensidad de corriente (A) en L2 clasificadas por OTP, Operador y código de instrumento.

Resultados:



Gráfica 3.4 Gráfico de cajas. En la gráfica se observa que la media entre los operadores se encuentra desfasada en uno de los técnicos. Los operadores A, B y C presentan datos atípicos (*) estos datos quedan fuera del 25% de los datos contenidos en los bigotes. La gráfica del operador A presenta una distribución más simétrica lo cual indica que la dispersión de los datos no es tan grande pero ninguno de sus cuartiles coincide con alguno de los cuartiles de los otros técnicos. Esto hace suponer que los datos no tengan una distribución normal y que la variación de la medias sea considerable.

En la siguiente gráfica se mostrará esta diferencia con las líneas de tendencia y su desplazamiento entre ellas.

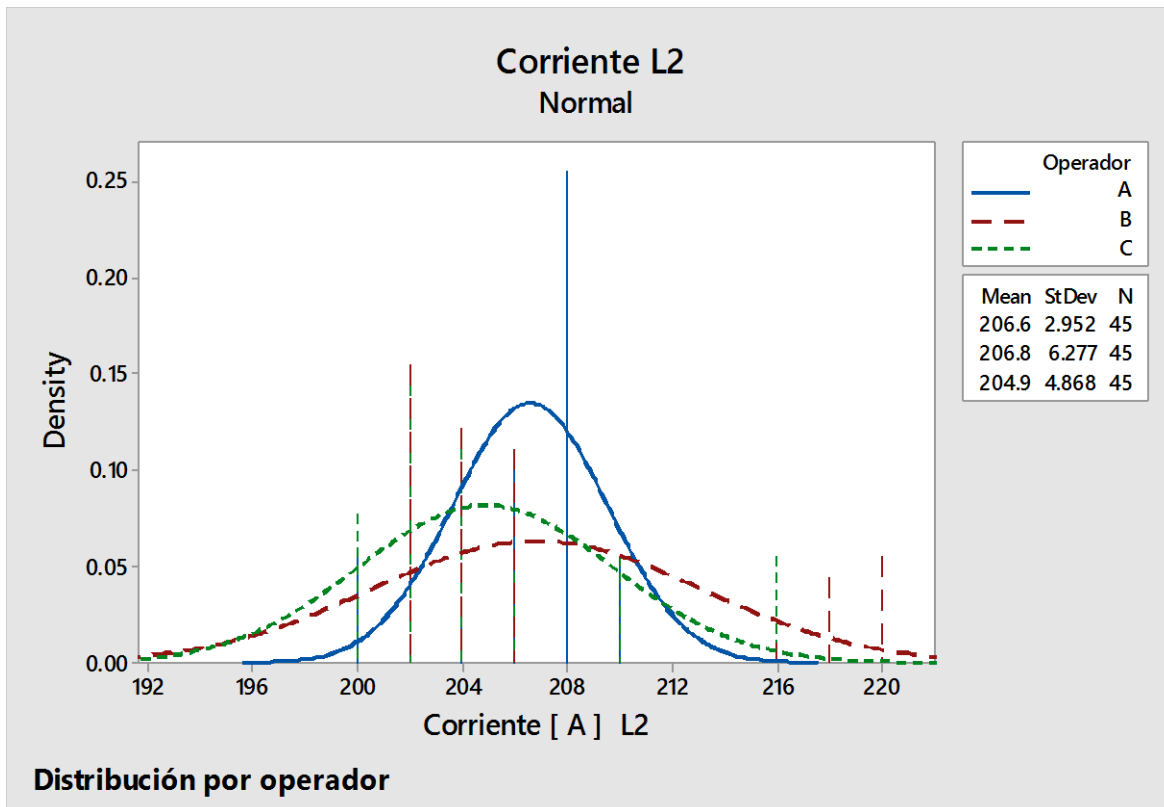


Gráfico 3.5 histograma con línea de tendencia y proyección de datos.

En este comparativo se observa que efectivamente existe una diferencia entre las distribuciones de cada operador, causada por los valores atípicos mostrados en las dos gráficas anteriores, esto va a repercutir en los valores de las desviaciones estándar que son muy diferentes y que indican lo dispersos que se encuentran los datos. Los valores de las medias aritméticas no presentan gran diferencia a pesar de esta variabilidad que más adelante se analizará con un análisis ANOVA.

Con los gráficos anteriores podremos suponer que las mediciones de la corriente en la línea 2 no cuentan con una distribución normal pero se afirmará con el siguiente análisis gráfico de Kolmogorov-Smirnov para establecer las hipótesis correspondientes con un nivel de significancia del 5% y 135 grados de libertad en la comparación de los estadísticos KS.

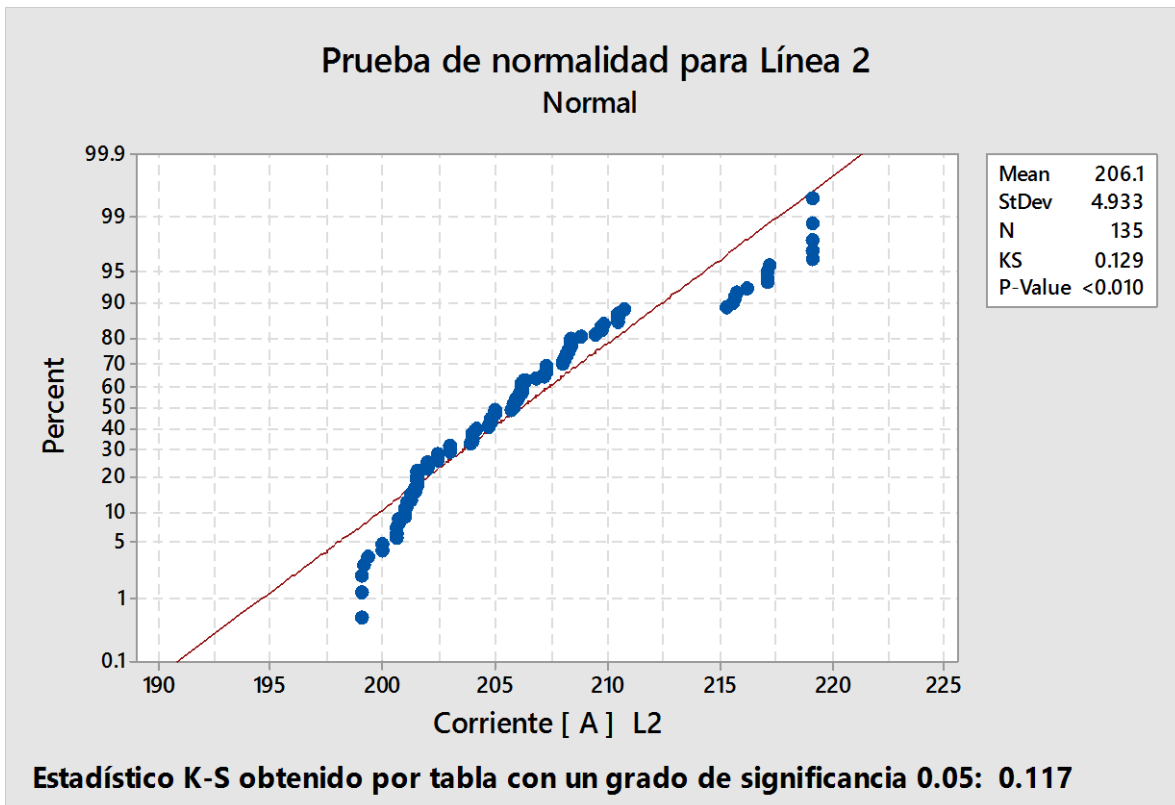


Gráfico 3.6 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Para esta prueba se formulan las siguientes hipótesis:

h_0 = Los datos de la intensidad de corriente eléctrica para la línea 2 tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $\left(\frac{1.36}{\sqrt{N}} \right)$ es mayor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

h_1 = Los datos de la intensidad de corriente eléctrica para la línea 1 no tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $\left(\frac{1.36}{\sqrt{N}} \right)$ es menor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

Comparando los valores KS se tiene que: $0.117 < 0.129$ (el estadístico KS teórico es menor al estadístico KS de las observaciones). Por lo tanto **se rechaza la hipótesis nula (h_0)**. En otras palabras, se dice que: no hay evidencia suficiente para afirmar que las mediciones de la corriente en la L2 tengan una distribución normal.

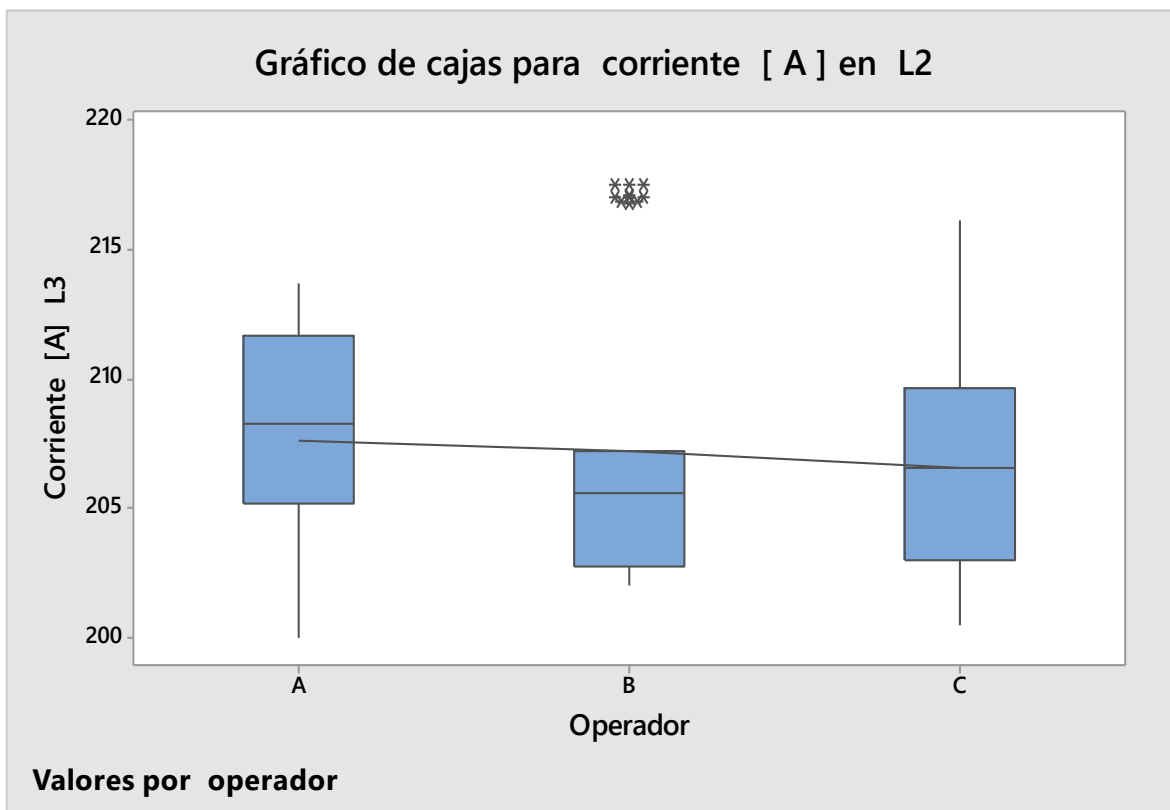
Corriente (A) para Línea 3

OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE (A)	OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE (A)	OTP	OPERADOR	AMPERIMETRO	CORRIENTE (A)
2069	A	PR-006	211.6	2158	A	PR-006	213.7	2073	A	PR-006	205.5
2069	A	PR-006	211.7	2158	A	PR-006	212.8	2073	A	PR-006	205.3
2069	A	PR-006	211.7	2158	A	PR-006	212.6	2073	A	PR-006	205.3
2069	A	PR-006	211.6	2158	A	PR-006	212.5	2073	A	PR-006	205.2
2069	A	PR-006	211.7	2158	A	PR-006	212.6	2073	A	PR-006	205.2
2069	B	SEP-018	205.3	2158	B	SEP-018	217.1	2073	B	CA-014	207
2069	B	SEP-018	205.7	2158	B	SEP-018	217	2073	B	CA-014	207
2069	B	SEP-018	205.6	2158	B	SEP-018	217	2073	B	CA-014	207
2069	B	SEP-018	205.6	2158	B	SEP-018	216.9	2073	B	CA-014	207
2069	B	SEP-018	205.6	2158	B	SEP-018	216.9	2073	B	CA-014	207
2069	C	CA-014	203.8	2158	C	CA-014	216	2073	C	SEP-018	208.5
2069	C	CA-014	203.9	2158	C	CA-014	216.1	2073	C	SEP-018	208.5
2069	C	CA-014	203.8	2158	C	CA-014	215.9	2073	C	SEP-018	208.5
2069	C	CA-014	203.9	2158	C	CA-014	216	2073	C	SEP-018	208.5
2069	C	CA-014	203.9	2158	C	CA-014	216	2073	C	SEP-018	208.4
2071	A	PR-006	207.2	2087	A	PR-006	200.1	2067	A	PR-006	209.1
2071	A	PR-006	207.1	2087	A	PR-006	200.1	2067	A	PR-006	208.8
2071	A	PR-006	207.1	2087	A	PR-006	200	2067	A	PR-006	208.6
2071	A	PR-006	207.1	2087	A	PR-006	200	2067	A	PR-006	208.6
2071	A	PR-006	207.1	2087	A	PR-006	200	2067	A	PR-006	208.5
2071	B	CA-014	207.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	217.5
2071	B	CA-014	207.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	217.5
2071	B	CA-014	207.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	217.5
2071	B	CA-014	207.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	217
2071	B	CA-014	207.2	2087	B	CA-014	202	2067	B	CA-014	216.8
2071	C	SEP-018	210	2087	C	SEP-018	200.5	2067	C	SEP-018	209.5
2071	C	SEP-018	210	2087	C	SEP-018	200.5	2067	C	SEP-018	209.4
2071	C	SEP-018	210	2087	C	SEP-018	200.5	2067	C	SEP-018	209.4
2071	C	SEP-018	210	2087	C	SEP-018	200.5	2067	C	SEP-018	209.6
2071	C	SEP-018	210	2087	C	SEP-018	200.5	2067	C	SEP-018	209.7
2282	A	PR-006	212.9	2134	A	PR-006	208.4	2070	A	PR-006	205.1
2282	A	PR-006	212.6	2134	A	PR-006	208.3	2070	A	PR-006	203.5
2282	A	PR-006	212.5	2134	A	PR-006	208.3	2070	A	PR-006	200.7
2282	A	PR-006	212.4	2134	A	PR-006	208.3	2070	A	PR-006	200.7
2282	A	PR-006	212.2	2134	A	PR-006	208.3	2070	A	PR-006	200.6
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	202.1	2070	B	SEP-018	202.9
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	202.1	2070	B	SEP-018	202.9
2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	202.1	2070	B	SEP-018	202.8

2282	B	SEP-018	204	2134	B	SEP-018	202.1	2070	B	SEP-018	202.8
2282	B	SEP-018	203	2134	B	SEP-018	202.1	2070	B	SEP-018	202.8
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	202	2070	C	CA-014	205.5
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	206.5
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	202	2070	C	CA-014	206.7
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	206.7
2282	C	CA-014	203	2134	C	CA-014	201	2070	C	CA-014	206.6

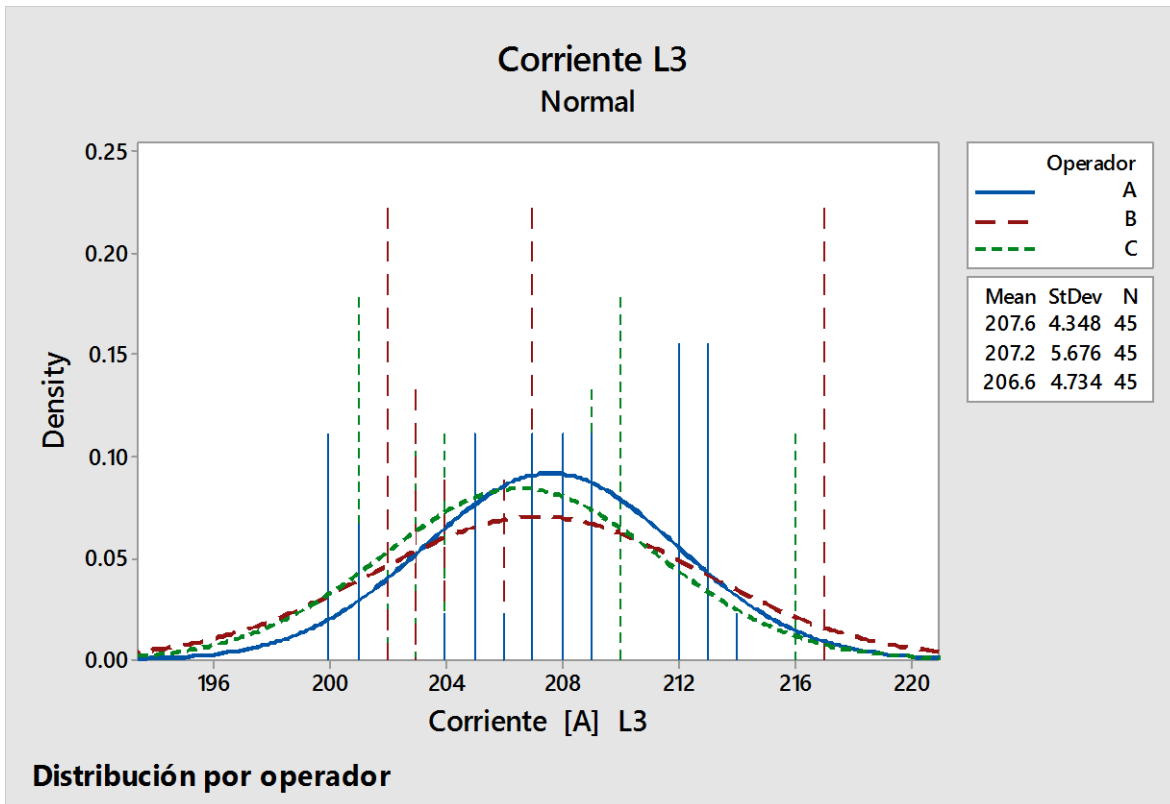
Tabla 3.8 Valores de las mediciones repetidas para la intensidad de corriente (A) en L3 clasificadas por OTP, Operador y código de instrumento.

Resultados:



Gráfica 3.7 Gráfico de cajas. Podemos ver la representación gráfica del 50 % de los valores (rango intercuartil) en los operadores A y C presentan simetría donde la mediana se coloca casi al centro de la caja de estos operadores sin embargo, en la gráfica del operador B muestra datos atípicos con relación al rango intercuartil a pesar que su media es muy similar al de los demás. Esta dispersión podría afectar al resultado en la evaluación del sistema de medición.

En la siguiente gráfica de histogramas múltiples se visualiza la diferencia que hay entre las distribuciones simuladas por cada operador así como sus medias aritméticas y desviaciones estándar.



3.8 Histograma por operador. En este comparativo de distribuciones se observa que la línea continua azul y la punteada de color verde llegan a ser muy similares en cuanto a su forma sólo con un ligero desfase entre sus medias aritméticas. Para los datos del operador B la forma de su distribución indica una dispersión importante (línea punteada de color rojo) ya que se muestra con una amplitud menor y más extendida hacia sus colas lo cual, se corrobora con la gráfica anterior donde existen valores atípicos que aumentan el valor de la desviación estándar. Si analizamos los valores mostrados en la tabla de esta gráfica podemos darnos cuenta que las medias entre el operador A y B son muy similares 207.6 [A] y 207.2 [A] respectivamente pero sus desviaciones estándar llegan a tener una diferencia amplia de 1.328 [StDev] lo que indica esta diferencia.

En la siguiente gráfica se evaluará la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y verificar si los datos para la intensidad de corriente eléctrica cumplen con el análisis de hipótesis siguiente.

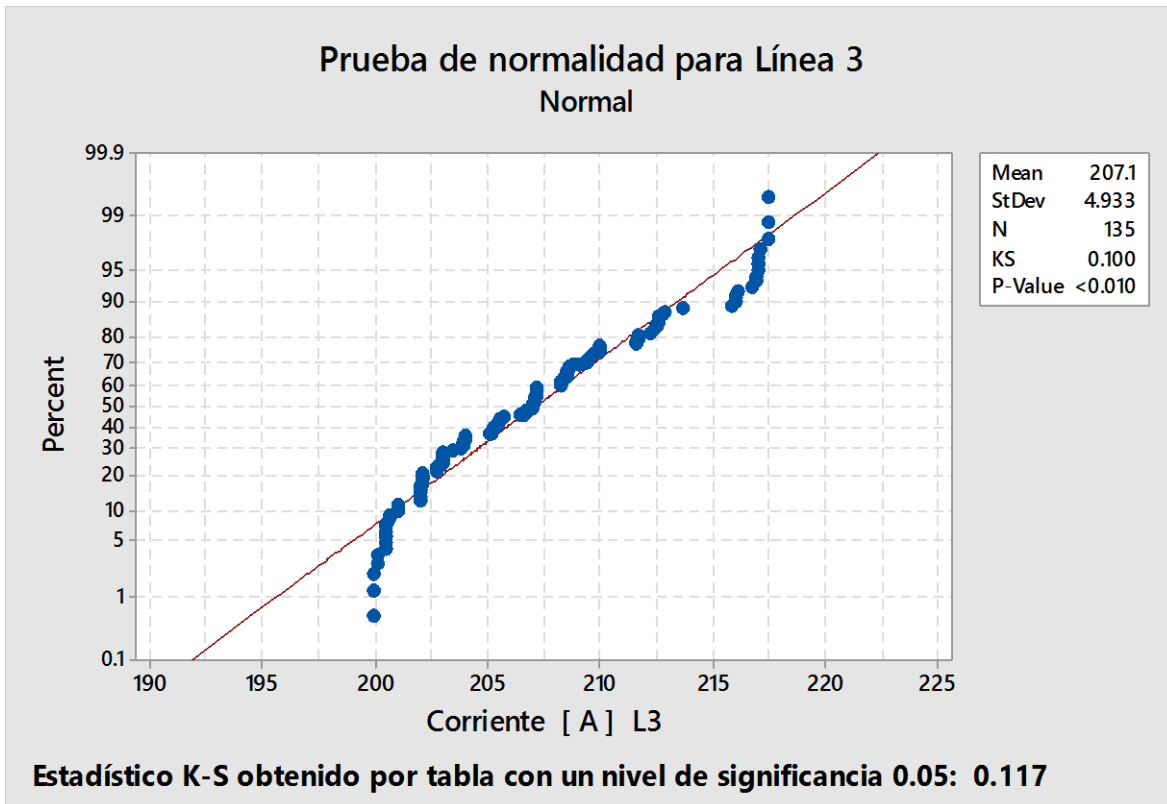


Gráfico 3.9 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Para esta prueba se formulan las siguientes hipótesis:

h_0 = Los datos de la intensidad de corriente eléctrica para la línea 3 tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $\left(\frac{1.36}{\sqrt{N}} \right)$ es mayor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

h_1 = Los datos de la intensidad de corriente eléctrica para la línea 1 no tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $\left(\frac{1.36}{\sqrt{N}} \right)$ es menor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

Comparando los valores KS se tiene que: $0.117 > 0.100$ (el estadístico KS teórico es mayor al estadístico KS de las observaciones). Por lo tanto **se acepta la hipótesis nula (h_0)**. En otras palabras, se dice que: no hay evidencia suficiente para afirmar que las mediciones de la corriente en la L3 no tengan una distribución normal.

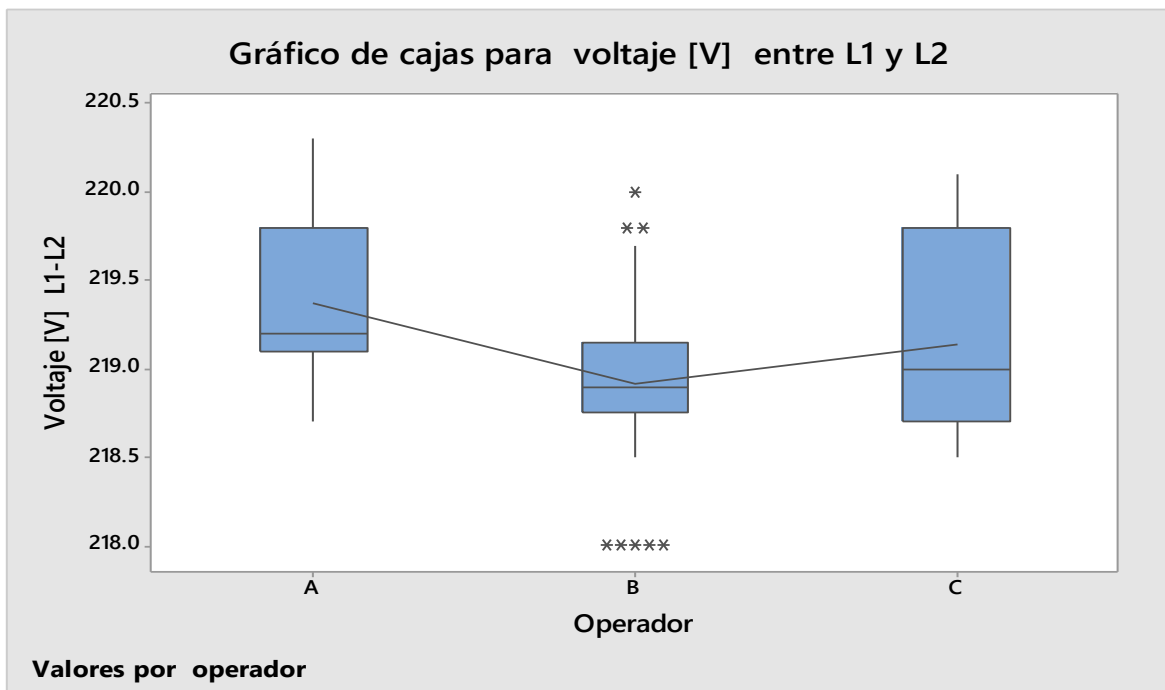
3.8.2 Prueba de normalidad para la diferencia de potencial [V]

DIFERENCIA DE POTENCIAL [V] ENTRE L1-L2											
OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]	OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]	OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]
2069	A	PR-0013	219.1	2158	A	PR-0013	219.5	2073	A	PR-0013	219.3
2069	A	PR-0013	219.1	2158	A	PR-0013	219.2	2073	A	PR-0013	219.3
2069	A	PR-0013	219.1	2158	A	PR-0013	219.2	2073	A	PR-0013	219.3
2069	A	PR-0013	219.2	2158	A	PR-0013	219.1	2073	A	PR-0013	219.4
2069	A	PR-0013	219.1	2158	A	PR-0013	219.1	2073	A	PR-0013	219.4
2069	B	PR-009	219.2	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.1
2069	B	PR-009	219.2	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.1
2069	B	PR-009	219.2	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.2
2069	B	PR-009	219.1	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.1
2069	B	PR-009	219.1	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.2
2069	C	TAB-021	218.7	2158	C	PR-009	219.2	2073	C	TAB-021	219
2069	C	TAB-021	218.7	2158	C	PR-009	219.2	2073	C	TAB-021	219
2069	C	TAB-021	218.7	2158	C	PR-009	219.2	2073	C	TAB-021	219.9
2069	C	TAB-021	218.7	2158	C	PR-009	219.2	2073	C	TAB-021	219.9
2069	C	TAB-021	218.6	2158	C	PR-009	219.2	2073	C	TAB-021	219.9
2071	A	PR-0013	219.2	2087	A	PR-0013	219.9	2067	A	PR-0013	220.1
2071	A	PR-0013	219.1	2087	A	PR-0013	219.7	2067	A	PR-0013	220.1
2071	A	PR-0013	219.1	2087	A	PR-0013	219.7	2067	A	PR-0013	220.1
2071	A	PR-0013	219.2	2087	A	PR-0013	219.6	2067	A	PR-0013	220
2071	A	PR-0013	219.1	2087	A	PR-0013	219.6	2067	A	PR-0013	220
2071	B	TAB-021	218.8	2087	B	PR-009	218.8	2067	B	TAB-021	220
2071	B	TAB-021	218.8	2087	B	PR-009	218.8	2067	B	TAB-021	219
2071	B	TAB-021	218.8	2087	B	PR-009	218.7	2067	B	TAB-021	219
2071	B	TAB-021	218.8	2087	B	PR-009	218.8	2067	B	TAB-021	219
2071	B	TAB-021	218.8	2087	B	PR-009	218.8	2067	B	TAB-021	219
2071	C	PR-009	218.8	2087	C	TAB-021	218.6	2067	C	PR-009	219.8
2071	C	PR-009	218.7	2087	C	TAB-021	218.6	2067	C	PR-009	219.8
2071	C	PR-009	218.7	2087	C	TAB-021	218.5	2067	C	PR-009	219.8
2071	C	PR-009	218.6	2087	C	TAB-021	218.6	2067	C	PR-009	219.8

2071	C	PR-009	218.6	2087	C	TAB-021	218.6	2067	C	PR-009	219.7
2282	A	PR-0013	218.9	2134	A	PR-0013	220.3	2070	A	PR-0013	218.8
2282	A	PR-0013	218.9	2134	A	PR-0013	220.2	2070	A	PR-0013	218.7
2282	A	PR-0013	218.9	2134	A	PR-0013	220.2	2070	A	PR-0013	218.7
2282	A	PR-0013	218.8	2134	A	PR-0013	220.1	2070	A	PR-0013	218.7
2282	A	PR-0013	218.8	2134	A	PR-0013	220.1	2070	A	PR-0013	218.7
2282	B	TAB-021	218	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	218.6
2282	B	TAB-021	218	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	218.5
2282	B	TAB-021	218	2134	B	PR-009	219.7	2070	B	TAB-021	218.5
2282	B	TAB-021	218	2134	B	PR-009	219.6	2070	B	TAB-021	218.6
2282	B	TAB-021	218	2134	B	PR-009	219.7	2070	B	TAB-021	218.6
2282	C	PR-009	219.1	2134	C	TAB-021	220.1	2070	C	PR-009	218.8
2282	C	PR-009	219	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	218.7
2282	C	PR-009	219	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	218.8
2282	C	PR-009	218.9	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	218.7
2282	C	PR-009	218.9	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	218.7

Tabla 3.9 Valores de las mediciones repetidas del voltaje entre L1-L2 clasificadas por OTP, Operador y código de instrumento.

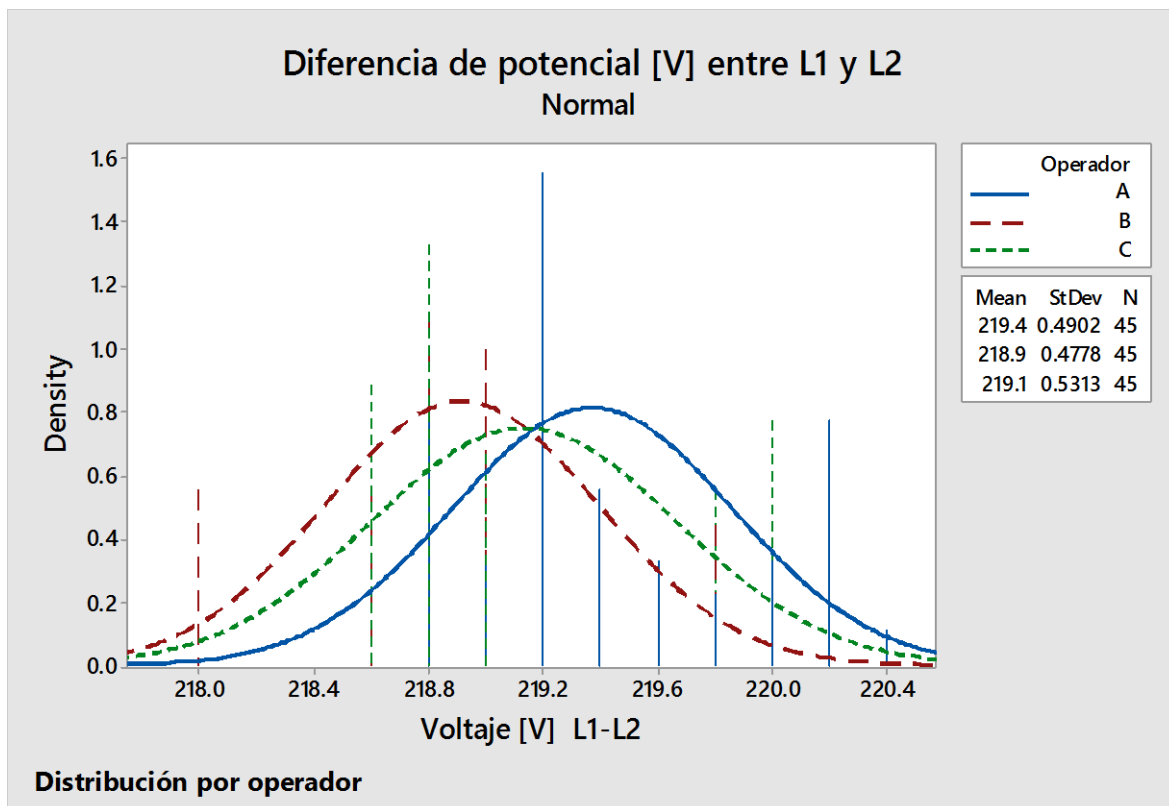
Resultados:



Gráfica 3.10 Gráfico de cajas. En la presentación de los datos se observa la diferencia entre las medias. Los datos del operador B muestran datos atípicos

en ambas direcciones por lo que la dispersión se verá reflejada en el valor de la desviación estándar. Con relación a los datos del técnico A la media es mayor con respecto a los otros dos técnicos. El rango intercuartil del operador C es mayor al de los otros dos operadores. Las longitudes de las cajas llegan a ser distintas significativamente por lo que se podría suponer que no hay una normalidad en los datos, lo cual se analizará más adelante.

En la siguiente grafica se logra observar la diferencia que existe entra las medias de los datos distribuidos de cada operador, el análisis ANOVA nos ayudará a corroborar si existe una diferencia significativa que afecta al análisis R & R.



3.11 Histograma por operador. En este comparativo se observa la diferencia en la distribución de los datos así como la referencia gráfica de medias aritméticas distintas. Como lo mostrado en la gráfica de cajas, la media del técnico A tiene un valor mayor (219.4 V) con respecto a los otros dos técnicos. El operador B consiguió una media menor en relación a sus otros dos compañeros

con un valor de 218.9 V y el técnico C tiene una media muy similar al técnico A de 219.1 V pero con una mayor desviación estándar de 0.5313.

En la siguiente gráfica se evaluará la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y verificar si los datos para la diferencia de potencial entre la línea 1 y línea 2 cumplen con el siguiente análisis de hipótesis.

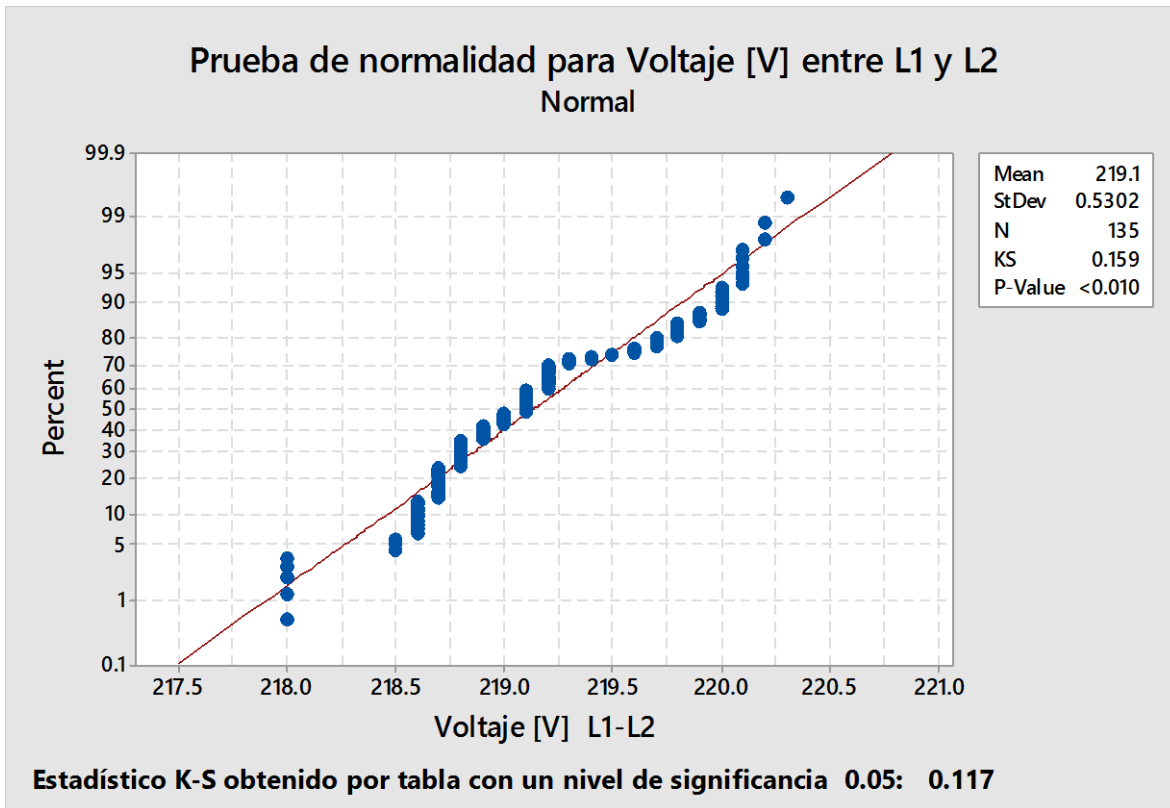


Gráfico 3.12 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Para esta prueba se formulan las siguientes hipótesis:

h_0 = Los datos de la diferencia de potencial entre la línea 1 y línea 2 tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla ($\frac{1.36}{\sqrt{N}}$) es mayor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

h_1 = Los datos de la diferencia de potencial entre la línea 1 y línea 2 no tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla ($\frac{1.36}{\sqrt{N}}$) es menor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

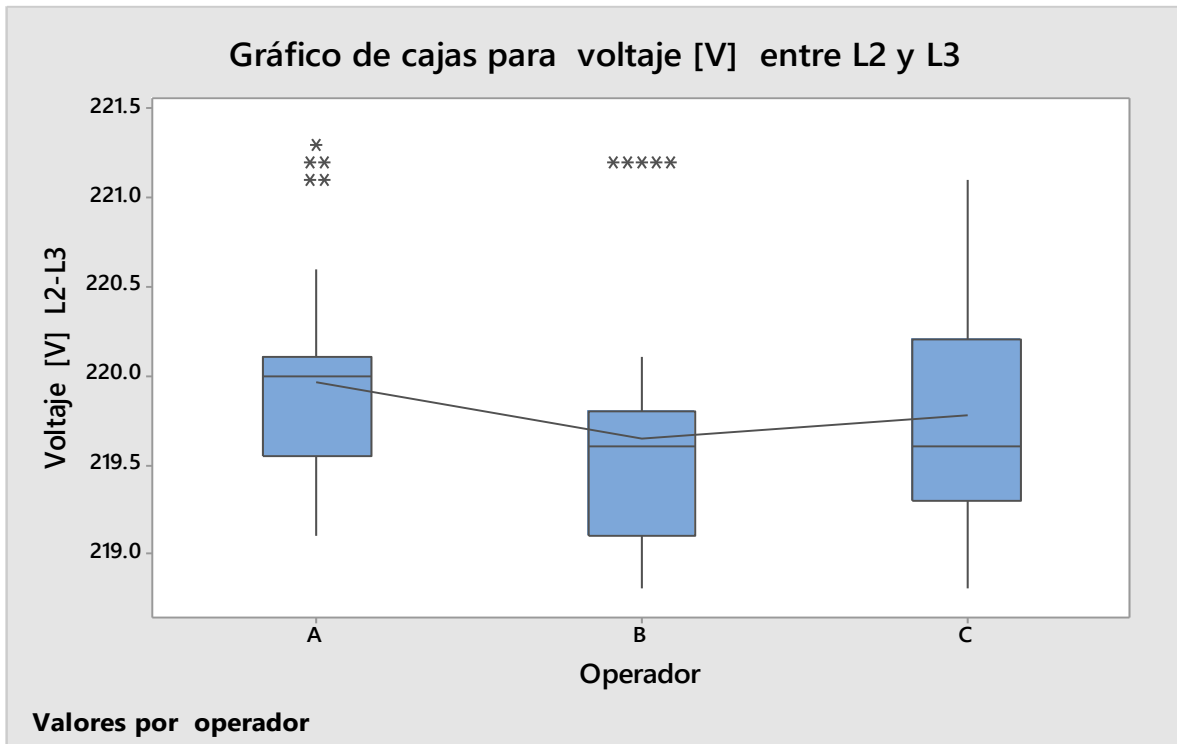
Comparando los valores KS se tiene que: $0.117 < 0.159$ (el estadístico KS teórico es menor al estadístico KS de las observaciones). Por lo tanto **se rechaza la hipótesis nula (h_0)**. En otras palabras, se dice que: no hay evidencia suficiente para afirmar que las mediciones del voltaje entre L1 y L2 tengan una distribución normal.

DIFERENCIA DE POTENCIAL [V] ENTRE L2-L3											
OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]	OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]	OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]
2069	A	PR-0013	220.1	2158	A	PR-0013	219.4	2073	A	PR-0013	219.7
2069	A	PR-0013	220.5	2158	A	PR-0013	219.3	2073	A	PR-0013	219.8
2069	A	PR-0013	220.5	2158	A	PR-0013	219.3	2073	A	PR-0013	219.7
2069	A	PR-0013	220.5	2158	A	PR-0013	219.3	2073	A	PR-0013	219.7
2069	A	PR-0013	220.6	2158	A	PR-0013	219.3	2073	A	PR-0013	219.7
2069	B	PR-009	220.1	2158	B	TAB-021	219.1	2073	B	PR-009	219.6
2069	B	PR-009	220.1	2158	B	TAB-021	219.1	2073	B	PR-009	219.6
2069	B	PR-009	220.1	2158	B	TAB-021	219.2	2073	B	PR-009	219.6
2069	B	PR-009	220.1	2158	B	TAB-021	219.1	2073	B	PR-009	219.6
2069	B	PR-009	219.7	2158	B	TAB-021	219.1	2073	B	PR-009	219.5
2069	C	TAB-021	220	2158	C	PR-009	219.6	2073	C	TAB-021	219.3
2069	C	TAB-021	219.9	2158	C	PR-009	219.6	2073	C	TAB-021	219.3
2069	C	TAB-021	220	2158	C	PR-009	219.6	2073	C	TAB-021	219.3
2069	C	TAB-021	220	2158	C	PR-009	219.6	2073	C	TAB-021	219.3
2069	C	TAB-021	220	2158	C	PR-009	219.6	2073	C	TAB-021	219.3
2071	A	PR-0013	219.3	2087	A	PR-0013	219.8	2067	A	PR-0013	221.3
2071	A	PR-0013	219.3	2087	A	PR-0013	219.8	2067	A	PR-0013	221.2
2071	A	PR-0013	219.2	2087	A	PR-0013	219.7	2067	A	PR-0013	221.2
2071	A	PR-0013	219.2	2087	A	PR-0013	219.8	2067	A	PR-0013	221.1
2071	A	PR-0013	219.2	2087	A	PR-0013	219.8	2067	A	PR-0013	221.1
2071	B	TAB-021	218.8	2087	B	PR-009	219.5	2067	B	TAB-021	221.2
2071	B	TAB-021	219	2087	B	PR-009	219.5	2067	B	TAB-021	221.2
2071	B	TAB-021	219	2087	B	PR-009	219.4	2067	B	TAB-021	221.2
2071	B	TAB-021	218.9	2087	B	PR-009	219.5	2067	B	TAB-021	221.2
2071	B	TAB-021	218.9	2087	B	PR-009	219.5	2067	B	TAB-021	221.2
2071	C	PR-009	218.8	2087	C	TAB-021	219.3	2067	C	PR-009	221
2071	C	PR-009	218.8	2087	C	TAB-021	219.3	2067	C	PR-009	221.1
2071	C	PR-009	218.8	2087	C	TAB-021	219.3	2067	C	PR-009	221
2071	C	PR-009	218.8	2087	C	TAB-021	219.3	2067	C	PR-009	221
2071	C	PR-009	218.8	2087	C	TAB-021	219.2	2067	C	PR-009	221
2282	A	PR-0013	220.1	2134	A	PR-0013	220.1	2070	A	PR-0013	220

2282	A	PR-0013	220.1	2134	A	PR-0013	220.1	2070	A	PR-0013	220
2282	A	PR-0013	220	2134	A	PR-0013	220.1	2070	A	PR-0013	220
2282	A	PR-0013	220	2134	A	PR-0013	220.1	2070	A	PR-0013	219.9
2282	A	PR-0013	220.1	2134	A	PR-0013	220.2	2070	A	PR-0013	220
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.7
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.7
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.8
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.7	2070	B	TAB-021	219.7
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.7	2070	B	TAB-021	219.8
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220.2	2070	C	PR-009	219.6
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220.2	2070	C	PR-009	219.6
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220.2	2070	C	PR-009	219.5
2282	C	PR-009	220.2	2134	C	TAB-021	220.2	2070	C	PR-009	219.5
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220.2	2070	C	PR-009	219.6

Tabla 3.10 Valores de las mediciones repetidas del voltaje entre L2-L3 clasificadas por OTP, Operador y código de instrumento.

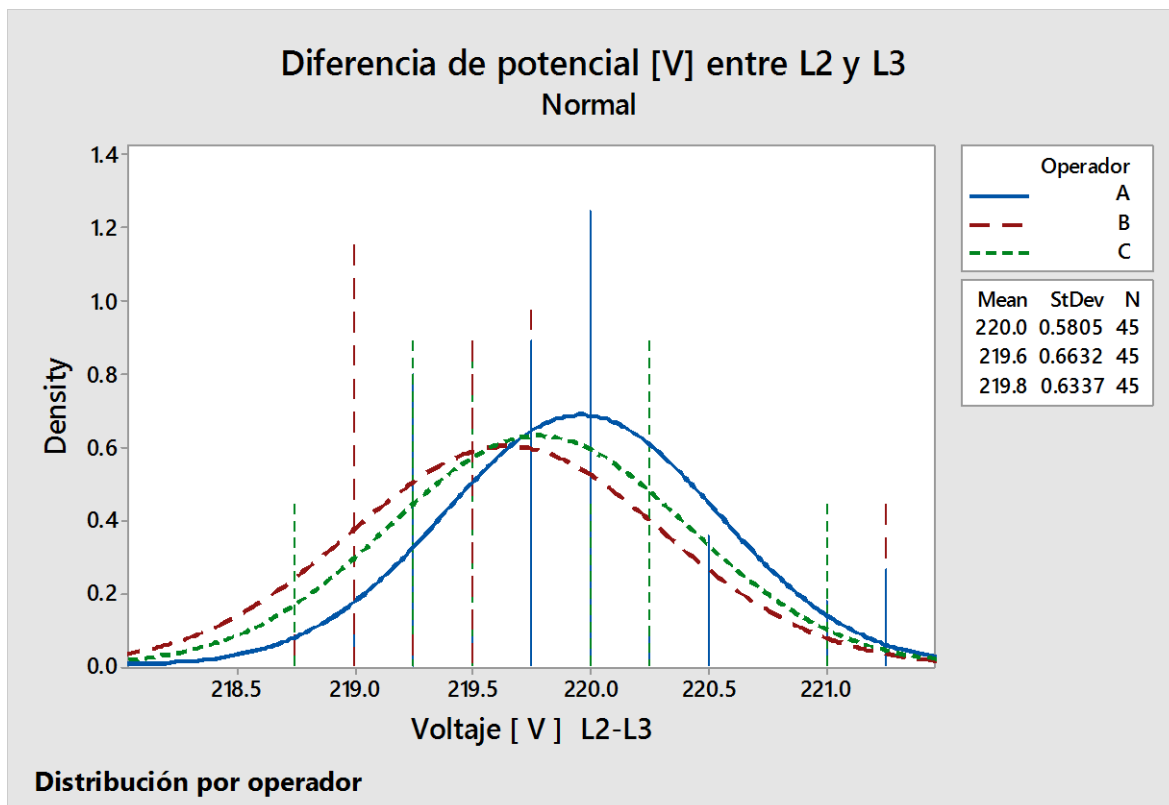
Resultados:



Gráfica 3.13 Gráfico de cajas. En la presentación de los datos se observa la diferencia entre las medias pero estas medias logran traslaparse entre los

rangos intercuartil de las mediciones de los tres técnicos. Los datos de los operadores A y B muestran datos atípicos por lo que la dispersión se verá reflejada en el valor de la desviación estándar. Con relación a los datos del técnico A la media es mayor con respecto a los otros dos técnicos. El rango intercuartil del operador C es mayor al de los otros dos operadores, también se logra percibir que las medianas de los valores obtenidos por los técnicos B y C tienen un valor muy similar.

En la siguiente gráfica observaremos la diferencia que existe entre sus medias y como se distribuyen los datos por cada técnico.



3.14 Histograma por operador. En este comparativo se observa la diferencia en la distribución de los datos así como la referencia gráfica de medias aritméticas distintas. Como lo mostrado en la gráfica de cajas y valores individuales, la media del técnico A tiene un valor mayor (220.0 V) con respecto a los otros dos técnicos. El operador B consiguió una media menor en relación a sus otros dos compañeros con un valor de 219.6 V y el técnico C tiene una media muy

similar al técnico B de 219.8 V. Entre los valores de estos dos últimos técnicos, observamos la similitud en la distribución de sus datos (líneas punteadas de colore verde y roja).

En la siguiente gráfica se evaluará la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y verificar si los datos para la diferencia de potencial entre la línea 2 y línea 3 cumplen con el siguiente análisis de hipótesis.

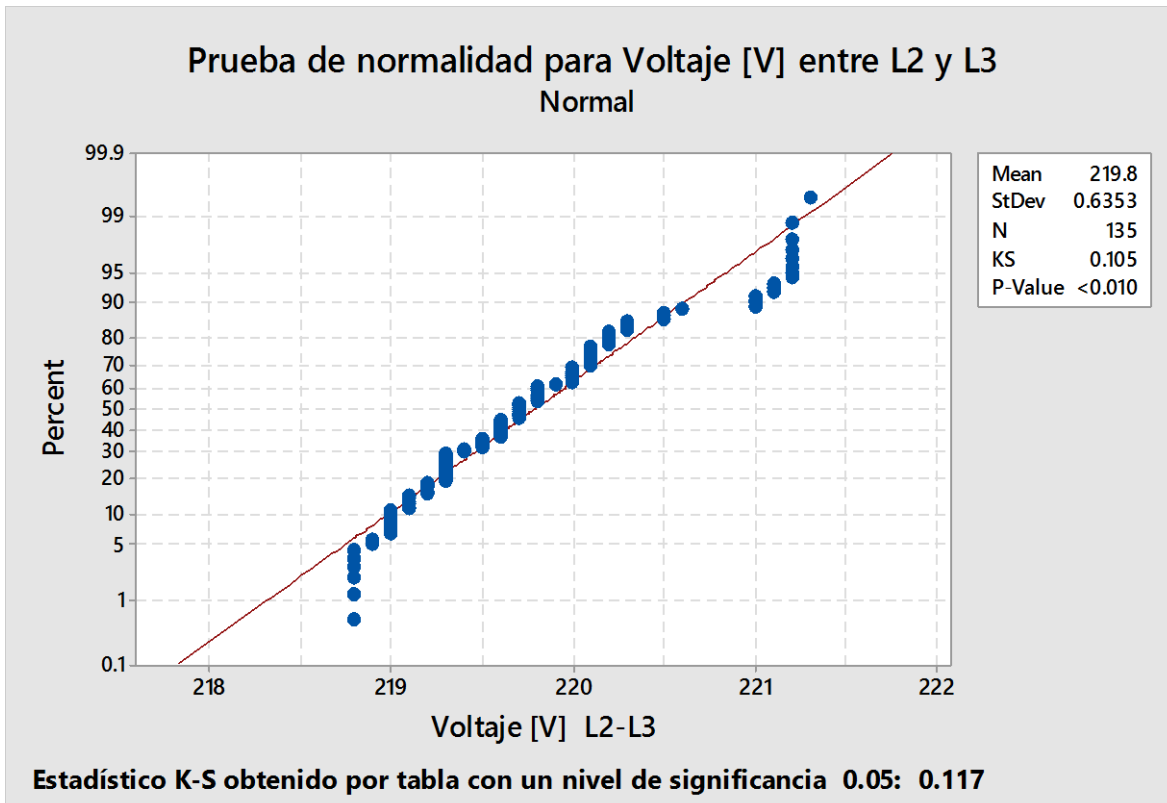


Gráfico 3.15 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Para esta prueba se formulan las siguientes hipótesis:

h_0 = Los datos de la diferencia de potencial entre la línea 2 y línea 3 tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla ($\frac{1.36}{\sqrt{N}}$) es mayor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

h_1 = Los datos de la diferencia de potencial entre la línea 2 y línea 3 no tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $\left(\frac{1.36}{\sqrt{N}} \right)$ es menor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

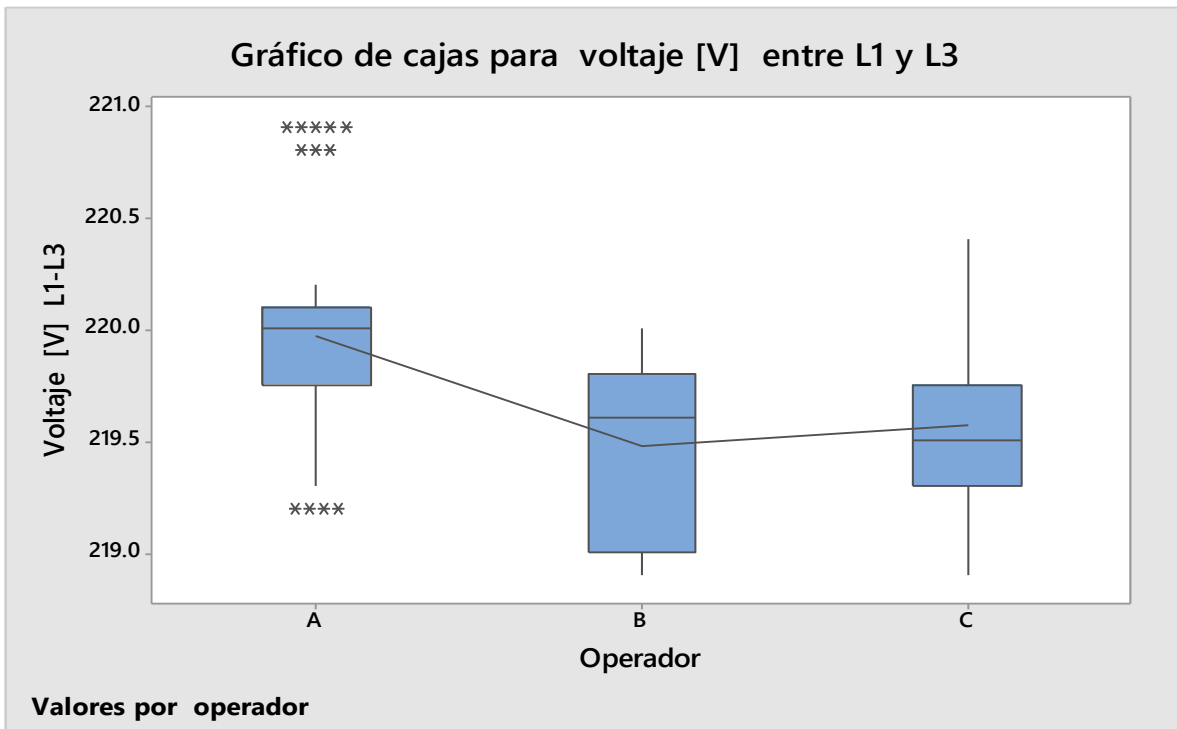
Comparando los valores KS se tiene que: $0.117 > 0.105$ (el estadístico KS teórico es mayor al estadístico KS de las observaciones). Por lo tanto **se acepta la hipótesis nula (h_0)**. En otras palabras, se dice que: no hay evidencia suficiente para afirmar que las mediciones del voltaje entre L2 y L3 no tengan una distribución normal.

DIFERENCIA DE POTENCIAL [V] EN L1-L3											
OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]	OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]	OTP	OPERADOR	MULTÍMETRO	VOLTAJE [V]
2069	A	PR-0013	220.1	2158	A	PR-0013	219.2	2073	A	PR-0013	219.9
2069	A	PR-0013	220	2158	A	PR-0013	219.2	2073	A	PR-0013	219.9
2069	A	PR-0013	220	2158	A	PR-0013	219.3	2073	A	PR-0013	220
2069	A	PR-0013	220	2158	A	PR-0013	219.2	2073	A	PR-0013	220
2069	A	PR-0013	220	2158	A	PR-0013	219.2	2073	A	PR-0013	220
2069	B	PR-009	220	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.8
2069	B	PR-009	220	2158	B	TAB-021	219	2073	B	PR-009	219.9
2069	B	PR-009	220	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.8
2069	B	PR-009	220	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.9
2069	B	PR-009	220	2158	B	TAB-021	218.9	2073	B	PR-009	219.8
2069	C	TAB-021	219.7	2158	C	PR-009	219.3	2073	C	TAB-021	219.5
2069	C	TAB-021	219.7	2158	C	PR-009	219.3	2073	C	TAB-021	219.6
2069	C	TAB-021	219.7	2158	C	PR-009	219.3	2073	C	TAB-021	219.5
2069	C	TAB-021	219.8	2158	C	PR-009	219.3	2073	C	TAB-021	219.5
2069	C	TAB-021	219.7	2158	C	PR-009	219.3	2073	C	TAB-021	219.5
2071	A	PR-0013	219.5	2087	A	PR-0013	220.9	2067	A	PR-0013	220.9
2071	A	PR-0013	219.4	2087	A	PR-0013	220.9	2067	A	PR-0013	220.9
2071	A	PR-0013	219.5	2087	A	PR-0013	220.9	2067	A	PR-0013	220.8
2071	A	PR-0013	219.4	2087	A	PR-0013	220.9	2067	A	PR-0013	220.8
2071	A	PR-0013	219.4	2087	A	PR-0013	220.9	2067	A	PR-0013	220.8
2071	B	TAB-021	219.1	2087	B	PR-009	219.6	2067	B	TAB-021	219.6
2071	B	TAB-021	219.1	2087	B	PR-009	219.7	2067	B	TAB-021	219.6
2071	B	TAB-021	219	2087	B	PR-009	219.6	2067	B	TAB-021	219.6
2071	B	TAB-021	219.1	2087	B	PR-009	219.7	2067	B	TAB-021	219.6
2071	B	TAB-021	219	2087	B	PR-009	219.6	2067	B	TAB-021	219.6
2071	C	PR-009	218.9	2087	C	TAB-021	219.4	2067	C	PR-009	219.5

2071	C	PR-009	218.9	2087	C	TAB-021	219.5	2067	C	PR-009	219.5
2071	C	PR-009	218.9	2087	C	TAB-021	219.5	2067	C	PR-009	219.6
2071	C	PR-009	218.9	2087	C	TAB-021	219.5	2067	C	PR-009	219.5
2071	C	PR-009	218.9	2087	C	TAB-021	219.5	2067	C	PR-009	219.5
2282	A	PR-0013	220.1	2134	A	PR-0013	219.8	2070	A	PR-0013	219.8
2282	A	PR-0013	220.1	2134	A	PR-0013	219.7	2070	A	PR-0013	219.8
2282	A	PR-0013	220.2	2134	A	PR-0013	219.8	2070	A	PR-0013	219.8
2282	A	PR-0013	220.1	2134	A	PR-0013	219.8	2070	A	PR-0013	219.8
2282	A	PR-0013	220	2134	A	PR-0013	219.8	2070	A	PR-0013	219.8
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.5
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.5
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.4
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.5
2282	B	TAB-021	219	2134	B	PR-009	219.8	2070	B	TAB-021	219.4
2282	C	PR-009	220.4	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	219.3
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	219.4
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	219.4
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	219.4
2282	C	PR-009	220.3	2134	C	TAB-021	220	2070	C	PR-009	219.3

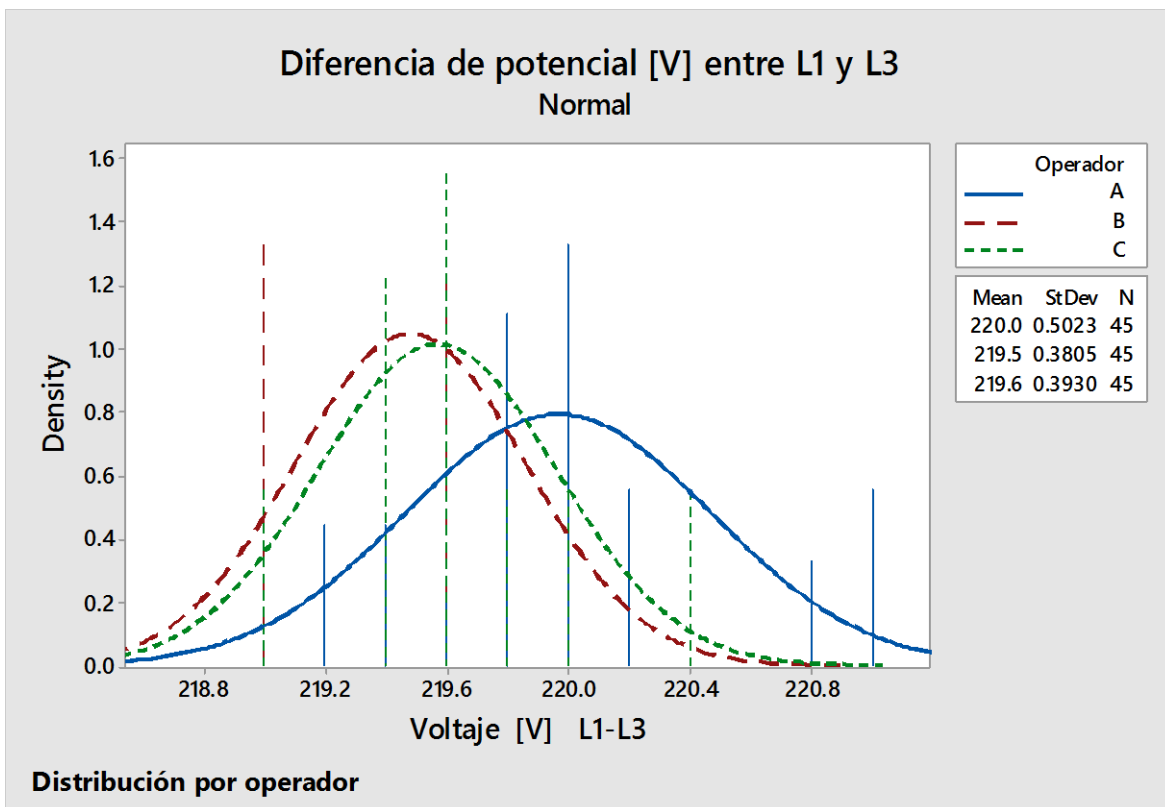
Tabla 3.11 Valores de las mediciones repetidas del voltaje entre L1-L3 clasificadas por OTP, Operador y código de instrumento.

Resultados:



Gráfica 3.16 Gráfico de cajas. En la presentación de los datos se observa la diferencia entre las medias. Los datos del operador A muestran datos atípicos por lo que la dispersión se verá reflejada en el valor de la desviación estándar. Con relación a los datos del técnico A la media resulta ser mayor con respecto a los otros dos técnicos. El rango intercuartil del operador B se visualiza con una longitud mayor al de los otros dos operadores esto quiere decir que el 50% de los datos se encuentran más dispersos dentro de este rango.

En la siguiente gráfica observaremos la diferencia que existe entre sus medias y como se distribuyen los datos por cada técnico.



3.17 Histograma por operador. En este comparativo se observa la diferencia en la distribución de los datos así como la referencia gráfica de medias aritméticas distintas. Como lo mostrado en la gráfica de cajas y valores individuales, la media del técnico A tiene un valor mayor (220.0 V) con respecto a los otros dos técnicos. El operador B consiguió una media menor en relación a sus otros dos compañeros con un valor de 219.5 V, el técnico C tiene una media muy

similar al técnico B de 219.6 V, las desviaciones estándar entre estos dos técnicos también tienen una similitud significativa con 0.3805 y 0.3930 respectivamente, también podemos observar la semejanza en la distribución de sus datos (líneas punteadas de colore verde y roja) donde la línea azul (técnico A) presenta mayor dispersión.

En la siguiente gráfica se evaluará la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y verificar si los datos para la diferencia de potencial entre la línea 1 y línea 3 cumplen con el análisis de hipótesis siguiente.

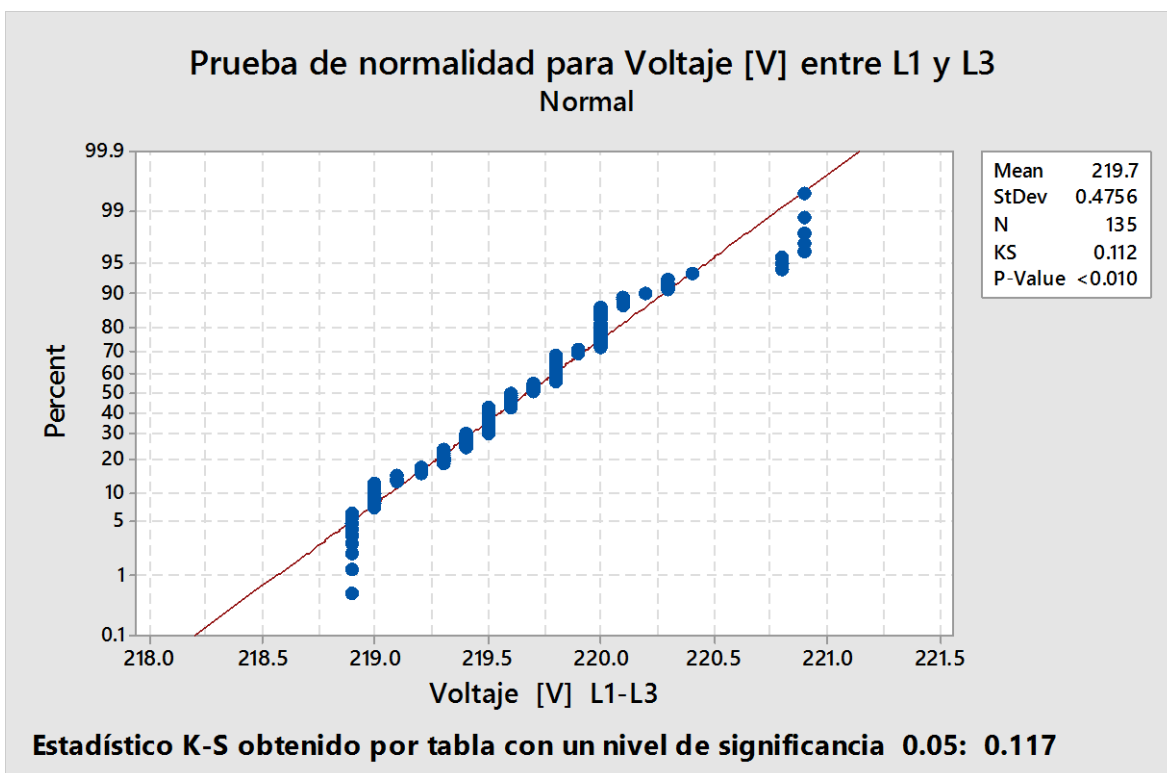


Gráfico 3.18 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov. Para esta prueba se formulan las siguientes hipótesis:

h_0 = Los datos de la diferencia de potencial entre la línea 1 y línea 3 tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $(\frac{1.36}{\sqrt{N}})$ es mayor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

h_1 = Los datos de la diferencia de potencial entre la línea 1 y línea 3 no tienen una distribución normal si el estadístico KS calculado por tabla $(\frac{1.36}{\sqrt{N}})$ es menor al estadístico KS obtenido de las mediciones.

Comparando los valores KS se tiene que: $0.117 > 0.112$ (el estadístico KS teórico es mayor al estadístico KS de las observaciones). Por lo tanto **se acepta la hipótesis nula (h_0)**. En otras palabras, se dice que: no hay evidencia suficiente para afirmar que las mediciones del voltaje entre L1 y L3 no tengan una distribución normal.

3.9 Análisis ANOVA para medias aritméticas en la evaluación del proceso de medición con el uso de más de un instrumento de medición

El objetivo de este análisis ANOVA para las medias aritméticas de las mediciones realizadas con respecto a la intensidad de corriente eléctrica y la diferencia de potencial es analizar que tanto afecta al proceso de evaluación de un sistema de medición el uso de más de un instrumento de medición en un estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

De acuerdo a la metodología de un estudio R & R una de las condiciones para realizar la evaluación del proceso de medición es efectuar las mediciones repetitivamente por los técnicos con el mismo instrumento de medición de forma aleatoria, esto implica que se deben tener condiciones favorables para realizar las pruebas por ejemplo, la disposición de las piezas o equipos a medir, el tiempo para realizar las pruebas, el compromiso de las gerencias de diversas áreas en la colaboración del desarrollo de los estudios R & R y proporcionar los recursos e infraestructura necesarios, otro de los factores importantes es el costo asociado a la elaboración de un estudio R & R que está en función al tipo de sistema de medición a evaluar. Estos son algunos de los factores que intervienen y pueden llegar a modificar la metodología de un estudio R & R al momento de ajustar las condiciones del proceso de producción, por lo cual se realiza este análisis ANOVA

para considerar las restricciones del proceso por lo cual, en este proyecto se determina el uso de diversos instrumentos de medición al mismo tiempo durante las pruebas. El análisis ANOVA tiene como finalidad evaluar la variabilidad en la respuesta de un estadístico (promedio de las mediciones) con respecto a un factor (instrumentos de medición), por lo cual se analizarán las diferencias entre los promedios de la intensidad de corriente eléctrica y voltaje con relación a los amperímetros y multímetros utilizados en cada línea respectivamente.

3.9.1 Análisis ANOVA de un factor para la intensidad de corriente eléctrica (A) en la línea 1

h_0 = Todas las medias aritméticas relacionadas a los amperímetros usados en la medición de corriente eléctrica en L1 son iguales si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos una de las medias aritméticas relacionadas a los amperímetros usados en la medición de corriente eléctrica en L1 es diferente si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis ANOVA

<u>Source</u>	<u>DF</u>	<u>Adj SS</u>	<u>Adj MS</u>	<u>F-Value</u>	<u>P-Value</u>
Amperímetro	2	21.04	10.52	0.59	0.553
Error	132	2335.18	17.69		
Total	134	2356.22			

Analizando la tabla ANOVA y comparando los valores, esto nos conlleva a aceptar la hipótesis nula (h_0) y afirmamos que las medias de los datos entre los amperímetros no varían significativamente en L1.

Resumen del Modelo

<u>S</u>	<u>R-sq</u>	<u>R-sq(adj)</u>	<u>R-sq(pred)</u>
4.20604	0.89%	0.00%	0.00%

Tabla de promedios

Amperímetro	N	Mean	StDev	95% CI
CA-014	45	209.442	5.274	(208.202, 210.682)
PR-006	45	210.007	3.600	(208.766, 211.247)
SEP-018	45	210.404	3.506	(209.164, 211.645)

Pooled StDev = 4.2060

Comparación por parejas Tukey

Amperímetro	N	Mean	Grouping
SEP-018	45	210.404	A
PR-006	45	210.007	A
CA-014	45	209.442	A

Los promedios que no comparten alguna letra igual son significativamente diferentes.

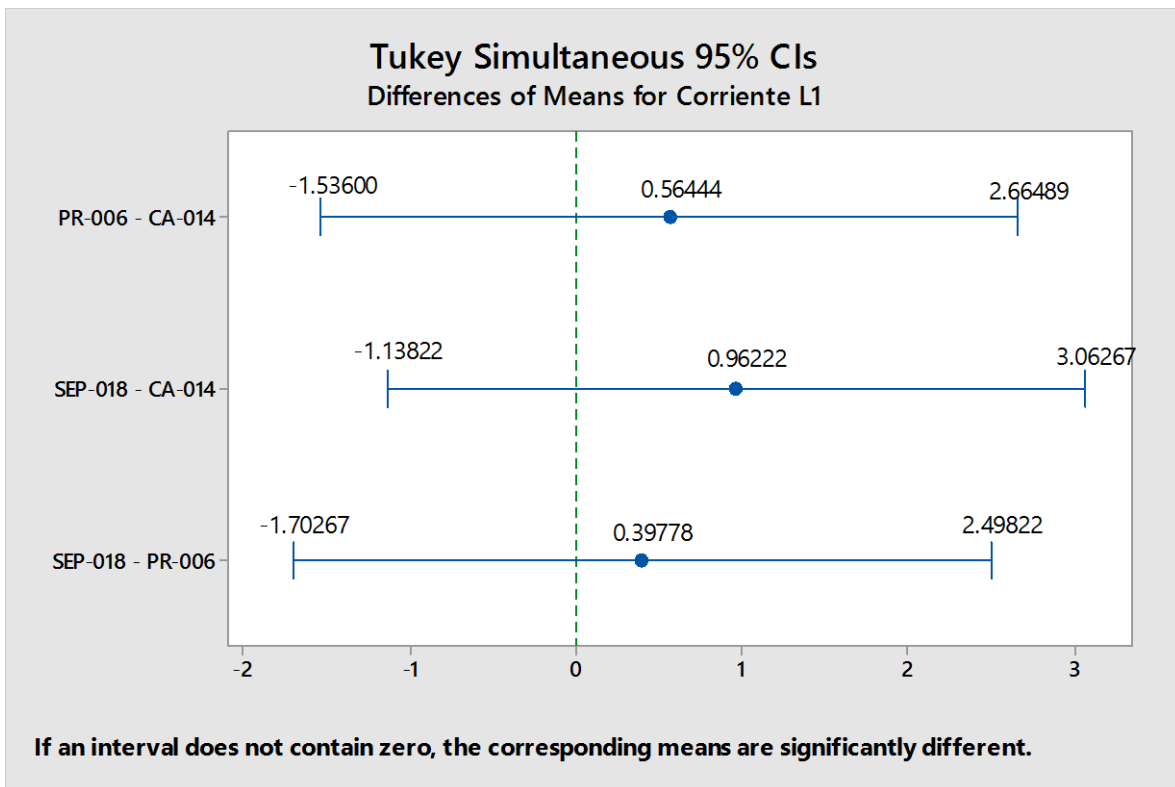


Gráfico 3.19. Comparativo de intervalos de confianza donde se tiene un 95% de certeza que las medias de la corriente eléctrica en L1 no son significativamente diferentes ya que, los 3 intervalos contienen al cero.

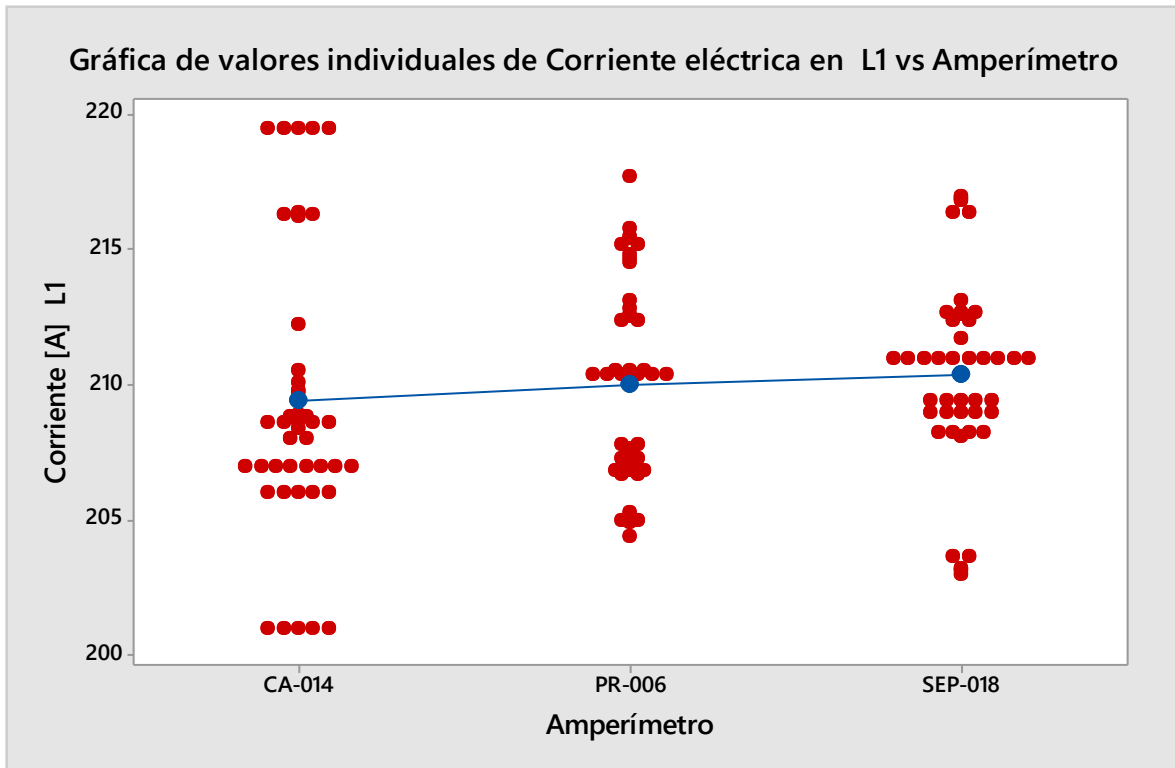


Gráfico 3.20. Gráfico de valores individuales, aquí podemos observar la diferencia que existe entre las medias y como se comportan las mediciones de cada instrumento de medición en un intervalo de 200 [A] a 220 [A].

3.9.2 Análisis ANOVA de un factor para la intensidad de corriente eléctrica (A) en la línea 2

h_0 = Todas las medias aritméticas relacionadas a los amperímetros usados en la medición de corriente eléctrica en L2 son iguales si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos una de las medias aritméticas relacionadas a los amperímetros usados en la medición de corriente eléctrica en L2 es diferente si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis ANOVA

<u>Source</u>	<u>DF</u>	<u>Adj SS</u>	<u>Adj MS</u>	<u>F-Value</u>	<u>P-Value</u>
Amperímetro	2	54.08	27.04	1.11	0.332
Error	132	3206.46	24.29		
Total	134	3260.54			

Analizando la tabla ANOVA y comparando los valores, esto nos conlleva a aceptar la hipótesis nula (h_0) y afirmamos que las medias de los datos entre los amperímetros no varían significativamente en L2.

Resumen del modelo

<u>S</u>	<u>R-sq</u>	<u>R-sq (adj)</u>	<u>R-sq (pred)</u>
4.92863	1.66%	0.17%	0.00%

Tabla de promedios

<u>Amperímetro</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>StDev</u>	<u>95% CI</u>
CA-014	45	206.520	6.139	(205.067, 207.973)
PR-006	45	206.593	2.952	(205.140, 208.047)
SEP-018	45	205.216	5.145	(203.762, 206.669)

Pooled StDev = 4.92863

Comparación por parejas Tukey

<u>Amperímetro</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
PR-006	45	206.593	A
CA-014	45	206.520	A
SEP-018	45	205.216	A

Los promedios que no comparten alguna letra igual son significativamente diferentes.

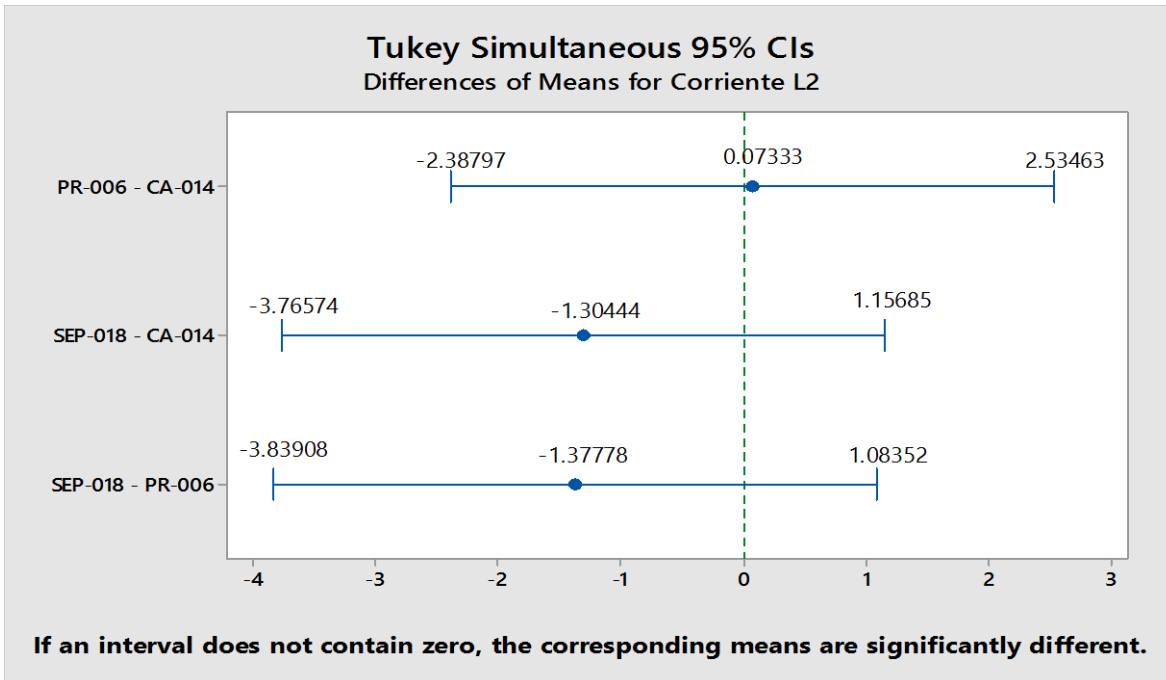


Gráfico 3.21 Comparativo de intervalos de confianza donde se tiene un 95% de certeza que los promedios de la corriente eléctrica en L2 no son significativamente diferentes ya que, los 3 intervalos contienen al cero.

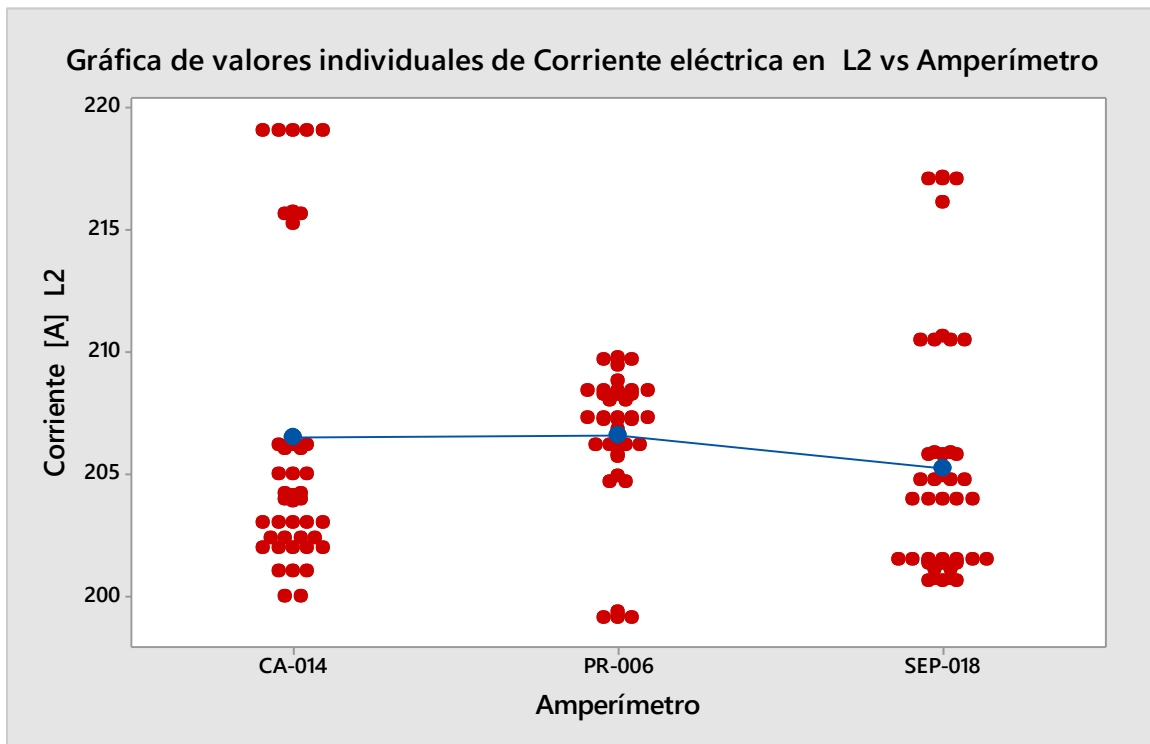


Gráfico 3.22 Gráfico de valores individuales para L2.

3.9.3 Análisis ANOVA de un factor para la intensidad de corriente eléctrica (A) en la línea 3

h_0 = Todas las medias aritméticas relacionadas a los amperímetros usados en la medición de corriente eléctrica en L3 son iguales si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos una de las medias aritméticas relacionadas a los amperímetros usados en la medición de corriente eléctrica en L3 es diferente si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Amperímetro	2	21.81	10.90	0.44	0.642
Error	132	3238.60	24.53		
Total	134	3260.41			

Analizando la tabla ANOVA y comparando los valores, esto nos conlleva a aceptar la hipótesis nula (h_0) y afirmamos que las medias de los datos entre los amperímetros no varían significativamente en L3.

Resumen del modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.95327	0.67%	0.00%	0.00%

Tabla de promedios

Amperímetro	N	Mean	StDev	95% CI
CA-014	45	207.124	5.532	(205.664, 208.585)
PR-006	45	207.627	4.348	(206.166, 209.087)
SEP-018	45	206.642	4.909	(205.182, 208.103)

Pooled StDev = 4.95327

Comparación por parejas Tukey

Amperímetro	N	Mean	Grouping
PR-006	45	207.627	A
CA-014	45	207.124	A
SEP-018	45	206.642	A

Los promedios que no comparten alguna letra igual son significativamente diferentes.

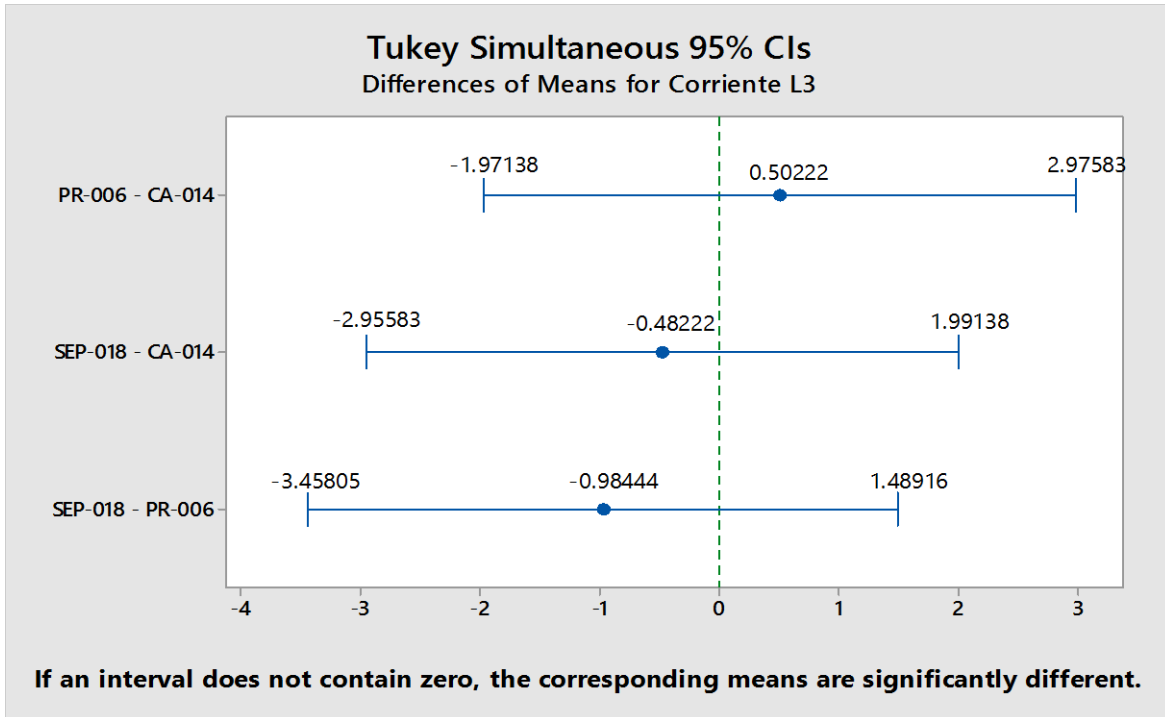


Grafico 3.23 Comparativo de intervalos de confianza donde se tiene un 95% de certeza que los promedios de la corriente eléctrica en L3 no son significativamente diferentes ya que, los 3 intervalos contienen al cero. En el siguiente gráfico podemos apreciar cómo se distribuyen los valores individuales de los instrumentos de medición dentro del rango de valores de los Amperes.

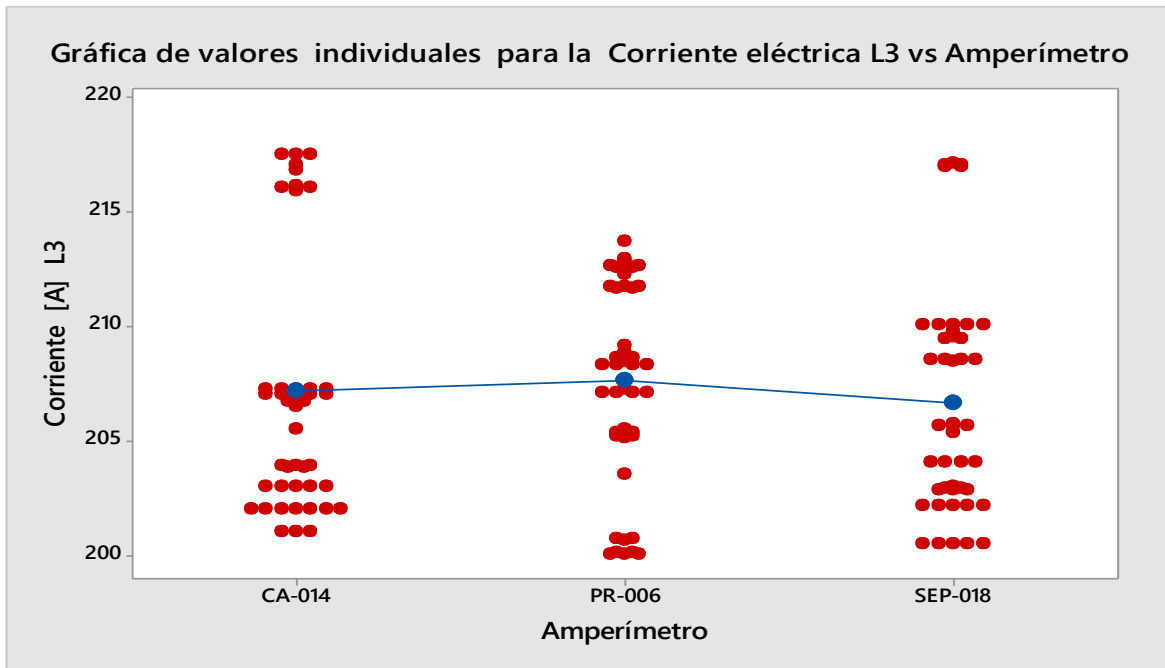


Gráfico 3.24 Gráfico de valores individuales para L3.

3.9.4 Análisis ANOVA de un factor para la diferencia de potencial (V) entre líneas 1 y línea 2

h_0 = Todas las medias aritméticas relacionadas a los multímetros usados en la medición del voltaje entre las líneas L1 y L2 son iguales si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos una de las medias aritméticas relacionadas a los multímetros usados en la medición del voltaje entre las líneas L1 y L2 es diferente si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Multímetro	2	4.585	2.2925	9.15	0.000
Error	132	33.081	0.2506		
Total	134	37.666			

Analizando la tabla ANOVA y comparando los valores, procedemos a rechazar la hipótesis nula (h_0) y afirmamos que por lo menos uno de los promedios en las mediciones de los multímetros varía significativamente, debido a que $P\text{-Value} < \alpha$.

Resumen del promedio

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.500612	12.17%	10.84%	8.14%

Tabla de promedios

Multímetro	N	Mean	StDev	95% CI
PR-0013	45	219.371	0.490	(219.223, 219.519)
PR-009	45	219.131	0.385	(218.983, 219.279)
TAB-021	45	218.920	0.603	(218.772, 219.068)

Pooled StDev = 0.500612

Comparación por parejas Tukey

Multímetro	N	Mean	Grouping
PR-0013	45	219.371	A
PR-009	45	219.131	A B
TAB-021	45	218.920	B

Los promedios que no comparten alguna letra igual son significativamente diferentes. En este caso, el promedio de PR-0013 y el promedio de TAB-021 son significativamente diferentes al no compartir la letra A y letra B.

En los siguientes gráficos podemos corroborar esta afirmación analizando los intervalos de confianza y los valores individuales para cada instrumento de medición en el rango del voltaje.

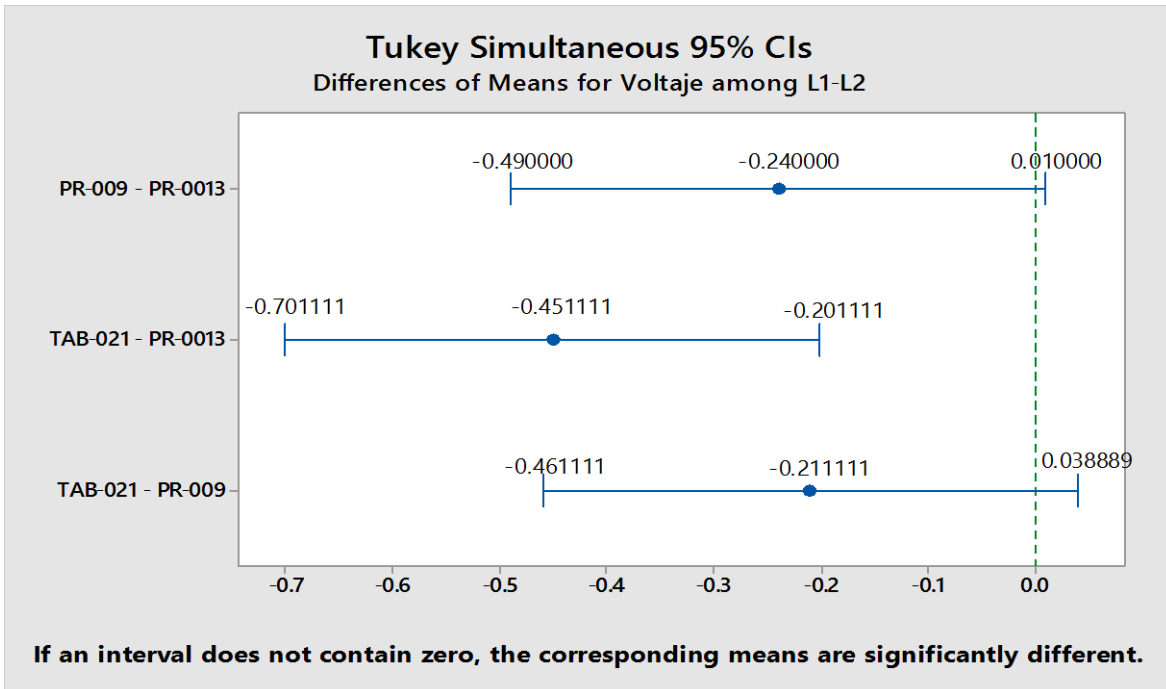


Gráfico 3.25 Comparativo de intervalos de confianza donde se tiene un 95% de certeza que los promedios del voltaje entre L1 y L2 son significativamente diferentes ya que, para el intervalo de TAB-021 – PR-0013 no contienen al cero.

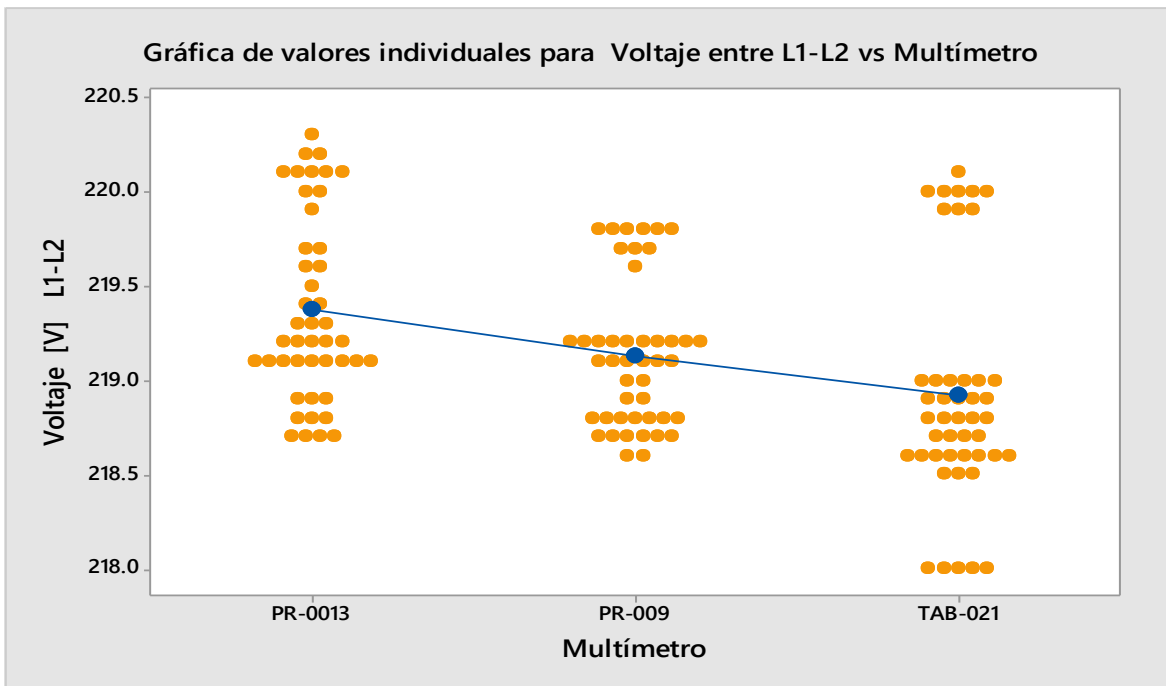


Gráfico 3.26 Gráfico de valores individuales para el voltaje entre L1 y L2.

3.9.5 Análisis ANOVA de un factor para la diferencia de potencial (V) entre líneas 2 y línea 3

h_0 = Todas las medias aritméticas relacionadas a los multímetros usados en la medición del voltaje entre las líneas L1 y L2 son iguales si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos una de las medias aritméticas relacionadas a los multímetros usados en la medición del voltaje entre las líneas L1 y L2 es diferente si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Multímetro	2	2.339	1.1696	2.98	0.054
Error	132	51.738	0.3920		
Total	134	54.077			

Analizando la tabla ANOVA y comparando los valores, procedemos a rechazar la hipótesis nula (h_0) y afirmamos que por lo menos uno de los promedios en las mediciones de los multímetros varía significativamente, debido a que básicamente $P\text{-Value} = \alpha$, la igualdad entre estos valores también condicionan la decisión en la aceptación y rechazo de la hipótesis nula. En este punto podemos tomar una decisión errónea con relación a la hipótesis nula.

Resumen del modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.626064	4.33%	2.88%	0.00%

Tabla de promedios

Multímetro	N	Mean	StDev	95% CI
PR-0013	45	219.960	0.581	(219.775, 220.145)
PR-009	45	219.789	0.589	(219.604, 219.974)
TAB-021	45	219.638	0.701	(219.453, 219.822)

Pooled StDev = 0.626064

Comparación por parejas Tukey

Multímetro	N	Mean	Grouping
PR-0013	45	219.960	A
PR-009	45	219.789	A B
TAB-021	45	219.638	B

Los promedios que no comparten alguna letra igual son significativamente diferentes.

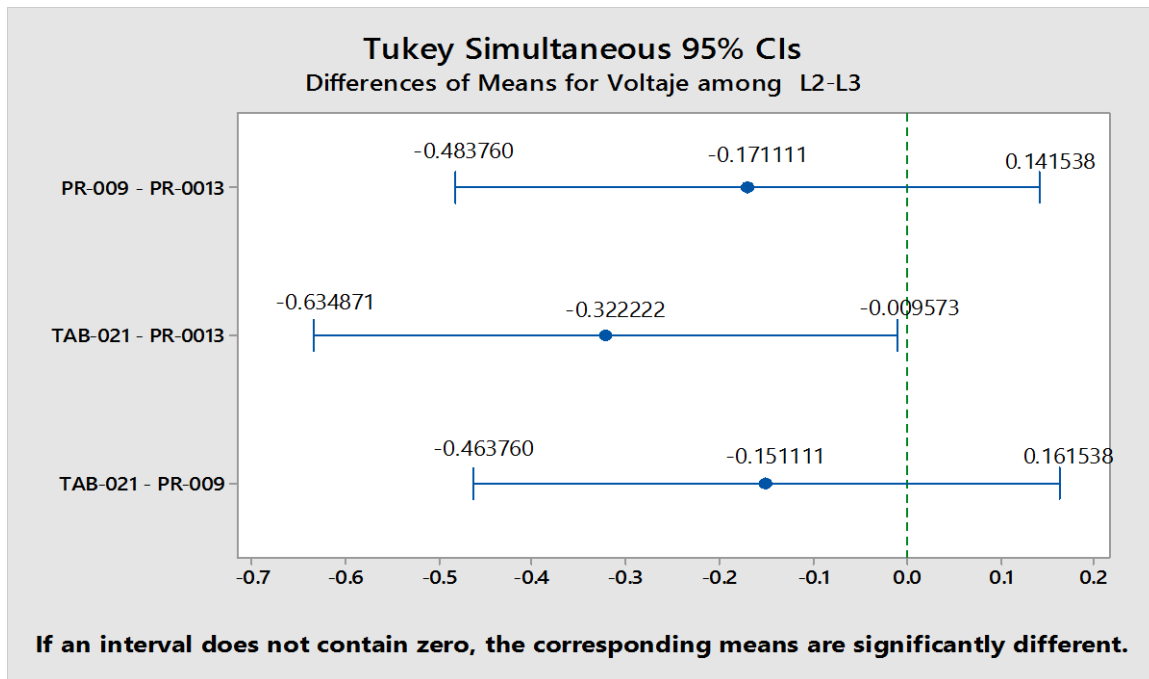


Gráfico 3.27 Comparativo de intervalos de confianza donde se tiene un 95% de certeza que los promedios del voltaje entre L2 y L3 son significativamente diferentes ya que, para el intervalo de TAB-021 – PR-0013 no contienen al cero.

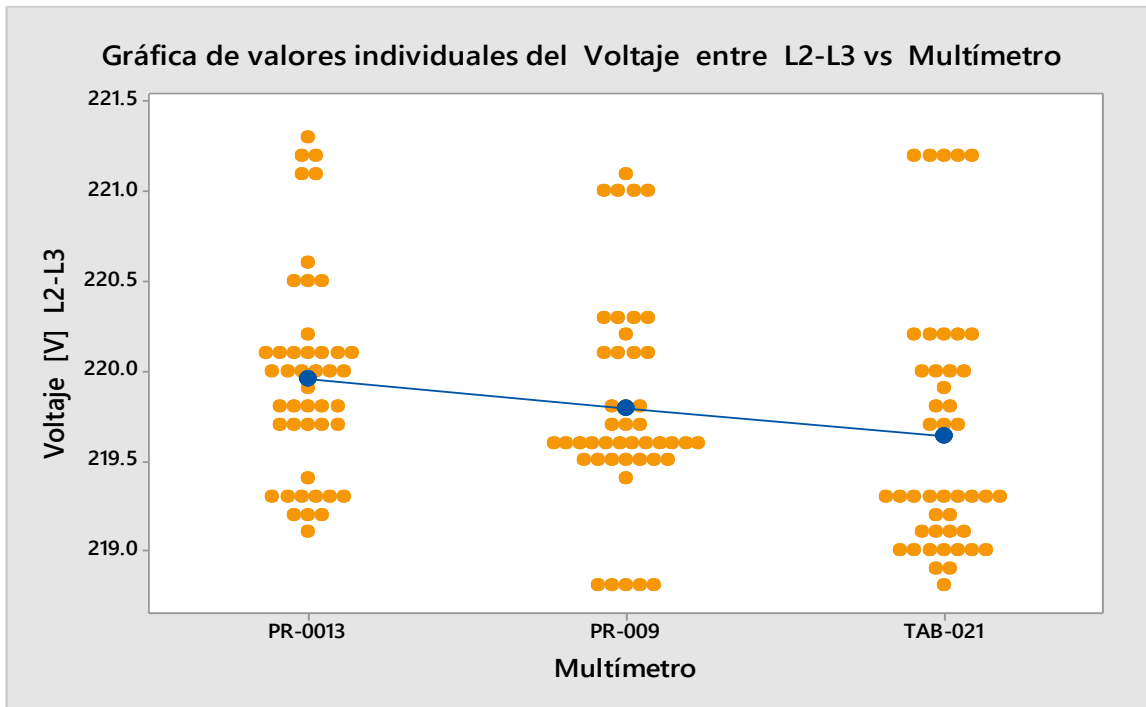


Gráfico 3.28 Gráfico de valores individuales para el voltaje entre L2 y L3.

3.9.6 Análisis ANOVA de un factor para la diferencia de potencial (V) entre líneas 1 y línea 3

h_0 = Todas las medias aritméticas relacionadas a los multímetros usados en la medición del voltaje entre las líneas L1 y L2 son iguales si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos una de las medias aritméticas relacionadas a los multímetros usados en la medición del voltaje entre las líneas L1 y L2 es diferente si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Análisis ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Multímetro	2	6.891	3.4454	19.42	0.000
Error	132	23.422	0.1774		
Total	134	30.313			

Analizando la tabla ANOVA y comparando los valores, procedemos a rechazar la hipótesis nula (h_0) y afirmamos que por lo menos uno de los promedios en las mediciones de los multímetros varía significativamente, debido a que $P\text{-Value} < \alpha$. Prácticamente el P-Value es cero, lo que nos dice hay pruebas suficientes para inferir que las medias calculadas varían significativamente.

Resumen del modelo

<u>S</u>	<u>R-sq</u>	<u>R-sq(adj)</u>	<u>R-sq(pred)</u>
0.421238	22.73%	21.56%	19.18%

Tabla de promedios

<u>Multímetro</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>StDev</u>	<u>95% CI</u>
PR-0013	45	219.967	0.502	(219.842, 220.091)
PR-009	45	219.631	0.402	(219.507, 219.755)
TAB-021	45	219.418	0.344	(219.294, 219.542)

Pooled StDev = 0.421238

Comparación por parejas Tukey

<u>Multímetro</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
PR-0013	45	219.967	A
PR-009	45	219.631	B
TAB-021	45	219.418	C

Los promedios que no comparten alguna letra igual son significativamente diferentes. En esta comparación podemos apreciar que todas las medias son diferentes debido a que los tres multímetros tienen diferente letra.

En las siguientes gráficas observaremos esta variación significativa entre las medias; una con la comparación de los intervalos de confianza y en la otra el comportamiento de los datos en el rango del voltaje de 221 [V] y 219 [V].

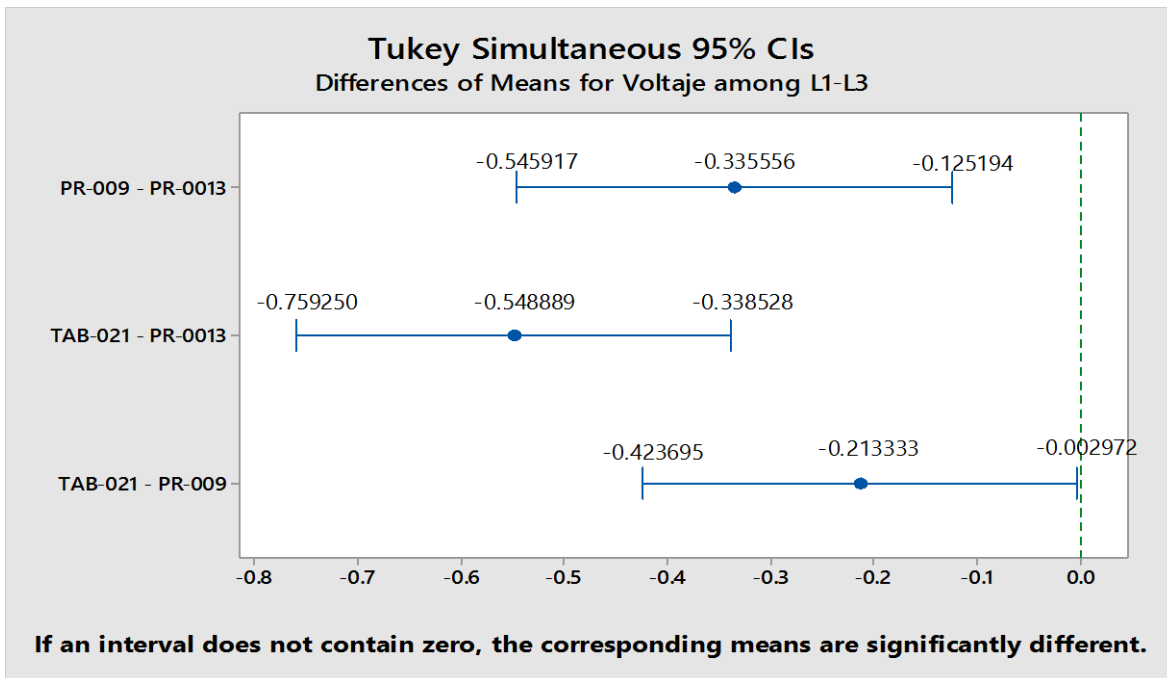


Gráfico 3.29 Comparativo de intervalos de confianza donde se tiene un 95% de certeza que los promedios del voltaje entre L1 y L3 son significativamente diferentes ya que, para todos los intervalos no contienen al cero.

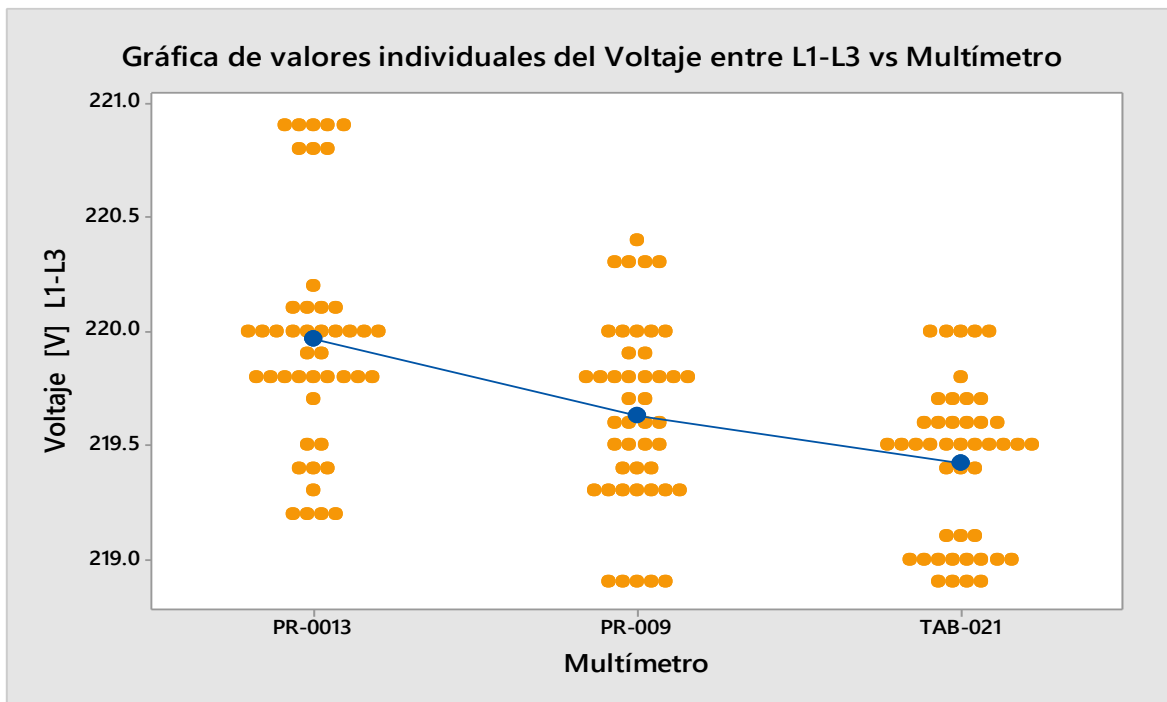


Gráfico 3.30 Gráfico de valores individuales para el voltaje entre L1 y L3.

Capítulo 4. Resultados del estudio de Repetibilidad & Reproducibilidad

En este capítulo se presentan los resultados del análisis del sistema de medición por medio del estudio R & R, para lo cual las variables a analizar son la intensidad de corriente eléctrica y la diferencia de potencial entre las líneas o cables que salen del interruptor de fuerza a las terminales del banco de carga resistiva. Los métodos a utilizar para realizar esta evaluación del sistema de medición son: el método de promedio-rangos y el análisis ANOVA, este último el más exacto y completo.

4.1 Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L1. Método promedio-rangos.

En las siguientes tablas y gráficos se muestran los resultados del análisis estadístico del estudio R & R para la intensidad de corriente eléctrica en la línea 1 con el método de promedio-rangos (los resultados se obtuvieron con la ayuda del software Minitab 17).

Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.5588	3.28
Repeatability	0.1876	1.10
Reproducibility	0.3712	2.18
Part-To-Part	16.4754	96.72
Total Variation	17.0342	100.00

Tabla 4.1 Variación del componente y porcentaje de contribución.

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.74751	4.4850	18.11
Repeatability	0.43312	2.5987	10.49
Reproducibility	0.60924	3.6554	14.76
Part-To-Part	4.05899	24.3540	98.35
Total Variation	4.12725	24.7635	100.00

Número de categorías distintas = 7

Tabla 4.2 Porcentaje de variación.

Análisis

Como podemos observar, en la tabla 4.1 Minitab nos arroja los valores de los componentes de variación y el % de contribución de esta variación; el estudio como tal tiene una contribución de 3.28% y le da más peso a la variación entre las partes (cables de fuerza que salen del interruptor del generador de cada planta) 96.72 %, la repetibilidad y reproducibilidad tienen valores porcentuales muy bajos en la contribución de la variación 1.10% y 2.18% respectivamente.

Ahora, si analizamos la otra tabla 4.2 que es la evaluación del sistema de medición, podemos darnos cuenta que el % de variación del estudio total para la línea 1 (Total gage R & R) es del 18.11% y que es menor al 30%, por lo tanto, de acuerdo al criterio de aceptación descrito en la tabla 3.1 el sistema de medición es aceptable con algunas restricciones, por otra parte el porcentaje de repetibilidad nos da 10.49% y el de reproducibilidad 14.76% esto quiere decir que la fuente de variación asociada a los operadores es más grande que la asociada a la variación del instrumento de medición, en otras palabras podemos afirmar que el método para tomar las mediciones está influyendo en la variación del sistema de medición. El objetivo de la evaluación es que el estudio cargue más peso porcentual a la fuente variación *parte a parte* para que esta variabilidad se atribuya al proceso de producción y no al sistema de medición, que en este caso la variación de parte a parte es del 98.35%.

Dentro de este análisis otro de los criterios de aceptación es el número de categorías distintas que es la capacidad del sistema de medición para diferenciar las mediciones entre las partes, de acuerdo con la tabla 3.2 el número mínimo de categorías distintas para que un sistema de medición sea aceptable es 5, con este método de evaluación se obtienen 7 distintas categorías para la corriente eléctrica en la línea 1.

En las siguientes imágenes se hace un análisis gráfico del estudio R & R para la corriente eléctrica en la línea 1.

Gage R&R (Xbar/R) Report for Corriente in L1

Gage name: Amperimetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%

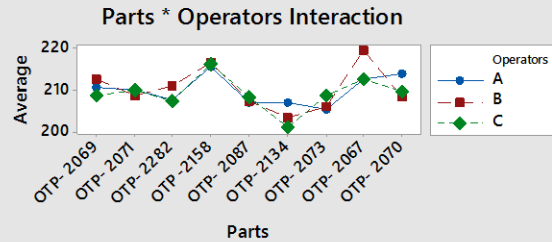
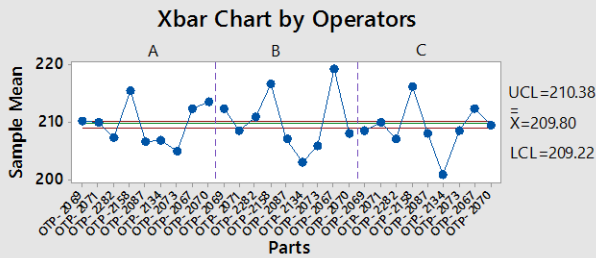
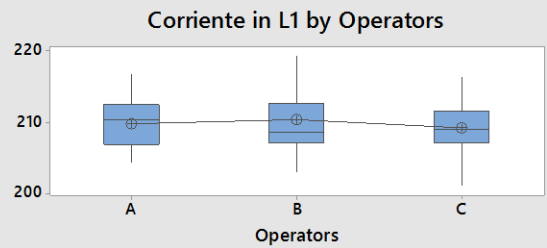
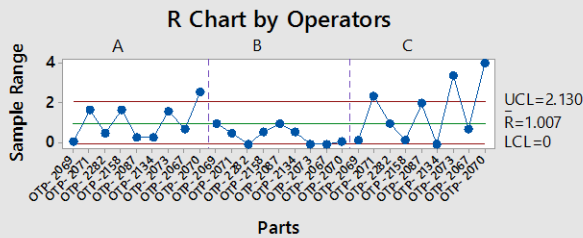
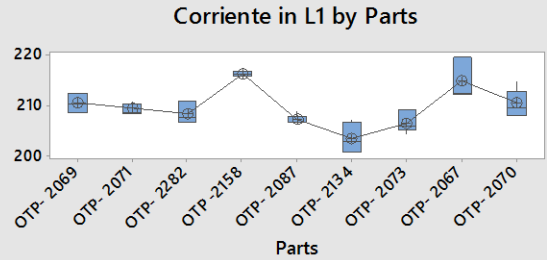
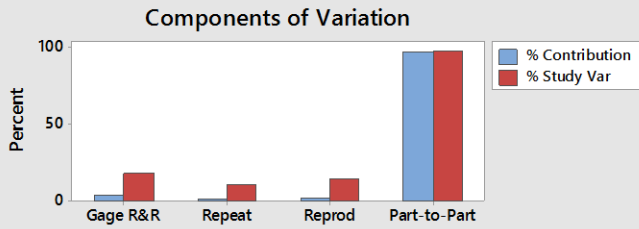


Imagen 4.1 Análisis gráfico de estudio R & R con una capacidad de carga eléctrica en el banco resistivo del 75%.

En esta imagen podemos analizar el comportamiento de las mediciones, sus promedios y rangos con relación a las partes y a los operadores en 6 diferentes gráficos así como la evaluación del sistema de medición. En el gráfico de componentes de variación tenemos barras que representan el % de contribución en la variación por las distintas fuentes y el % de variabilidad asociado al estudio R & R, se puede observar que la fuente de variación con mayor peso porcentual es la que está representado por las barras de parte a parte, esto debido a que la intención del estudio es atribuir el mayor porcentaje de variabilidad al proceso de producción y no al sistema de medición. Este gráfico debe coincidir con los resultados obtenidos de la última columna de las tablas 4.1 y 4.2.

Siguiente gráfica, es un gráfico de control que representa los rangos promedios por cada operador en función a las partes (L1 de cada OTP), podemos observar que por lo menos hay 4 rangos que se han salido del límite superior, esto explica parte del porcentaje de variación atribuido a la reproducibilidad, lo cual se debe corregir ya que para tener un mejor resultado no deben de haber puntos afuera de los límites de control. Caso contrario, para la gráfica de control de promedios más de la mitad de los promedios obtenidos por los tres operadores deben de mostrarse afuera de los límites de control, esto porque el área contenida entre los límites de control representan la sensibilidad de las mediciones (“ruido”) y si el sistema de medición es capaz de detectar las variaciones entre parte y parte, entonces el sistema es adecuado y los datos tienen este comportamiento.

Hay dos gráficos de cajas que representan el comportamiento y variación de las mediciones, una que relaciona las mediciones repetidas de la corriente eléctrica con cada parte (OTP) y la otra que relaciona las mediciones con cada operador, las líneas que una a cada caja representa la tendencia del promedio de las mediciones.

Por último, se muestra la gráfica de interacción entre los operadores y las partes, donde se visualiza cómo se comportan los promedios de las mediciones por cada OTP, el objetivo de esta grafica es evitar los cruces de las líneas que unen a los promedios y que permanezcan lo más paralelas posibles entre si, el significado de esto es la ausencia de la interacción entre los operadores y las partes que provocan una variación perjudicial, si existen cruces de líneas entonces la interacción provoca variación significativa en el sistema de medición. En este análisis podemos ver que las líneas tienen un comportamiento muy similar pero existen algunos cruces entre ellas que están afectando al resultado de la reproducibilidad esto debido a la combinación de tres instrumentos de medición.

4.2 Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L1. Método ANOVA

Ahora analizaremos los resultados obtenidos con el método ANOVA para dos factores, cabe señalar que este método es considerado como más exacto por que evalúa la reproducibilidad con dos factores, la variación asociada a los operadores y la variación atribuida a la interacción entre los operadores y las partes.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	8	1838.50	229.812	8.5534	0.000
Operators	2	31.55	15.777	0.5872	0.567
Parts * Operators	16	429.89	26.868	61.0021	0.000
Repeatability	108	47.57	0.440		
Total	134	2347.51			

α to remove interaction term = 0.05

Tabla 4.3 Tabla ANOVA con dos factores

Con el análisis ANOVA podemos identificar que fuentes de variación son las que contribuyen significativamente en el sistema de medición comparando el P-value con el valor de significancia α , la evaluación se puede plantear realizando las siguientes hipótesis:

h_0 = Las fuentes de variación no contribuyen significativamente en el sistema de medición si $P\text{-Value} > \alpha$.

h_1 = Al menos uno de los factores contribuye significativamente a la variabilidad en el sistema de medición si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Análisis

Los factores denominados *partes* y la *interacción de los operadores con las partes* representan una variación inminente con $0.050 > 0.000$. En este punto hay que recalcar que el factor *partes* debe tener un valor mucho menor que el valor de α ya que es la variación atribuida al proceso de producción en donde la

principal fuente de variación en un estudio R & R debe atribuírsele a este factor para no afectar el resultado de la evaluación al sistema de medición. En el caso de la interacción de las partes con los diferentes operadores el resultado es desfavorable ya que este factor está afectando al resultado de la evaluación y se asume que es una fuente de variación importante la cual debe ser corregida o por lo menos reducirla hasta que se cumpla la hipótesis nula.

El factor Operadores tiene una desigualdad que nos conviene debido a que $0.567 > 0.05$ y esto quiere decir que este factor no contribuye a la variabilidad en el sistema de medición cuando se mide la corriente eléctrica en la línea 1.

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	5.7260	29.74
Repeatability	0.4404	2.29
Reproducibility	5.2855	27.45
Operators	0.0000	0.00
Operators*Parts	5.2855	27.45
Part-To-Part	13.5296	70.26
Total Variation	19.2556	100.00

Tabla 4.4 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	2.39290	14.3574	54.53
Repeatability	0.66366	3.9820	15.12
Reproducibility	2.29903	13.7942	52.39
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Operators*Parts	2.29903	13.7942	52.39
Part-To-Part	3.67826	22.0696	83.82
Total Variation	4.38812	26.3287	100.00

Número de categorías distintas = 2

Tabla 4.5 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

En las tablas 4.4 y 4.5 se muestran los resultados de la evaluación del sistema de medición para la corriente eléctrica en la línea 1 en donde podemos observar que el %contribución en la variación del estudio tiene 29.74% y que gran parte de esta contribución es causada por la interacción de las partes con los

operadores que registra 27.45%, la variación asociada con los instrumentos de medición es del 2.29% que resulta ser pequeña.

Con respecto a la tabla 4.5 donde se evalúa al sistema de medición con el porcentaje de variación del estudio gage total de 54.53% podemos afirmar que los factores de la interacción de las partes con los operadores asociados a la reproducibilidad donde se obtiene 52.39% repercute considerablemente en la variación del estudio debido a la combinación de instrumentos con los operarios y a su vez el desajuste que existe en el banco resistivo que ocasiona porcentajes altos en la repetibilidad con 15.12%. Por lo tanto para mejorar el resultado se debe atacar la fuente de variación que es el método de la toma de lecturas que también se encuentra relacionado con la reproducibilidad.

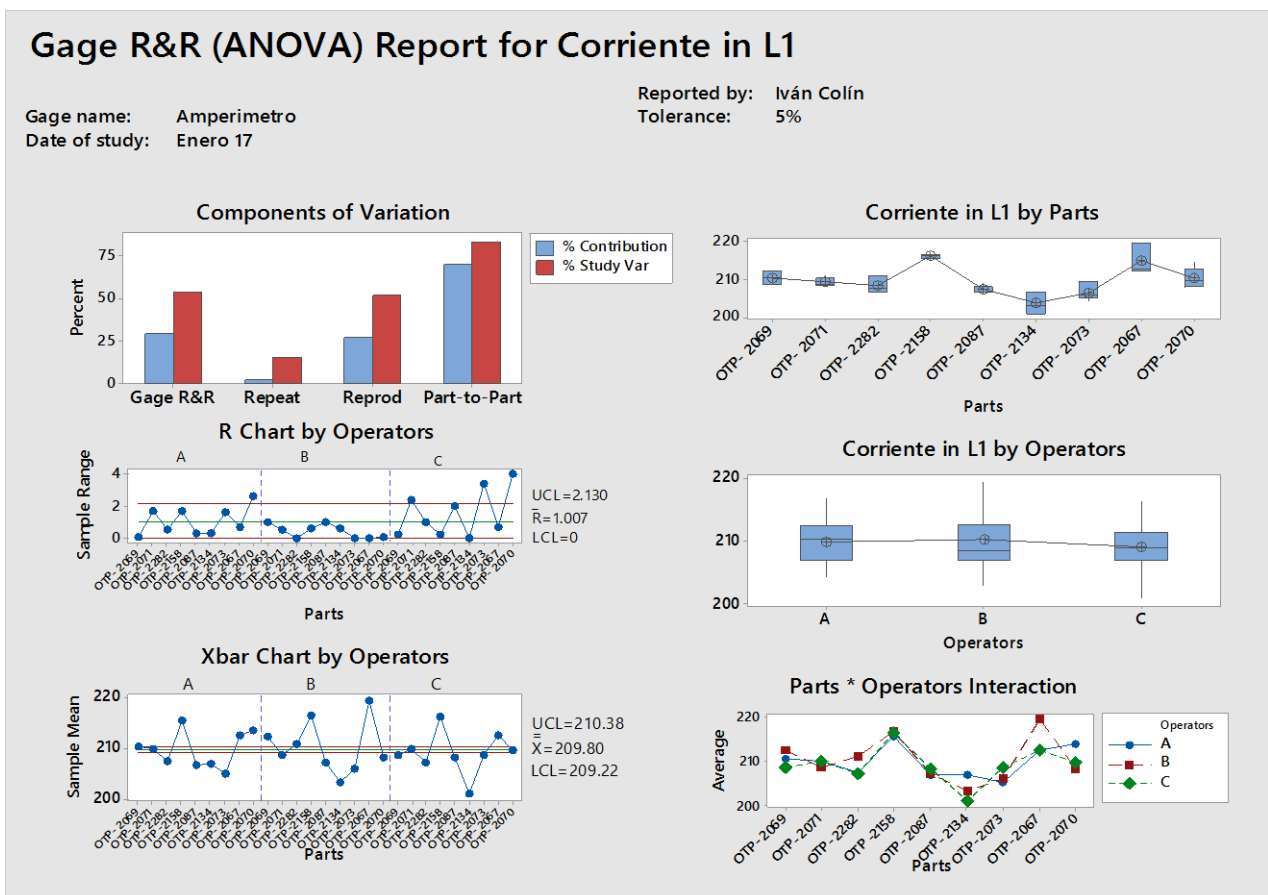


Imagen 4.2 Análisis gráfico ANOVA del estudio R & R para corriente eléctrica en la línea 1 con una capacidad de carga eléctrica al 75%.

En la imagen 4.2 se muestran 5 de las gráficas que aparecen en el registro de la imagen 4.1 sólo cambia el gráfico de la evaluación del estudio (Component of variaton). Los resultados de las tablas 4.4 y 4.5 son representados por medio de este gráfico donde se puede observar como la barra de color rojo que significa el porcentaje de variación del estudio y que sobre pasa el valor de referencia del 50%, esto debido a que el valor de la variación del estudio registra el 54.53%.

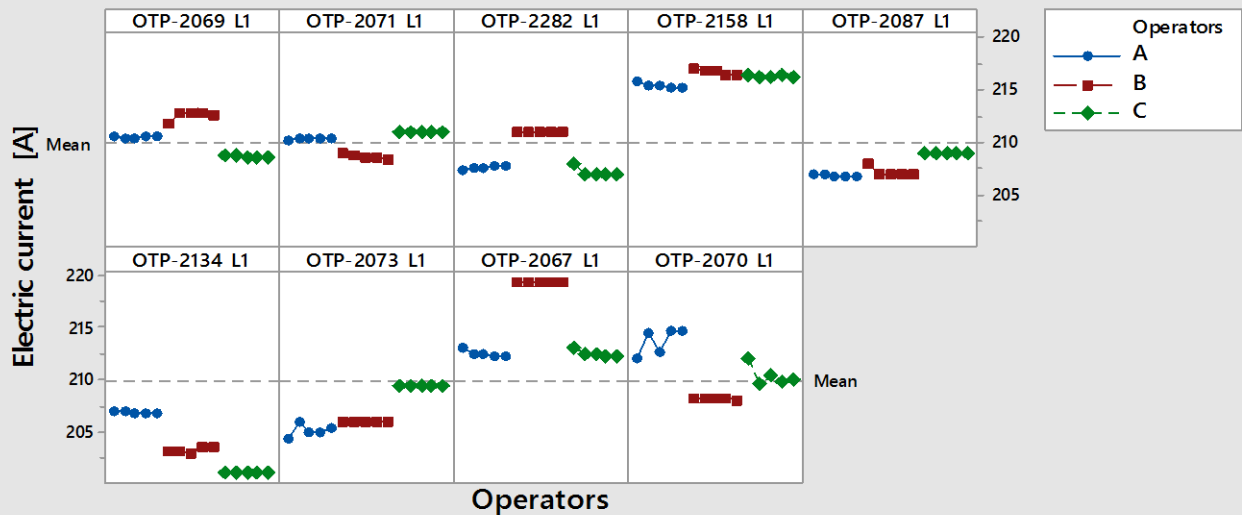
El número de categorías distintas es dos, esto se interpreta como la capacidad del sistema de medición para poder distinguir las diferencias entre las partes. Con el método de análisis ANOVA los cálculos registraron sólo valores altos y bajos, esto es perjudicial para el resultado de la evaluación del sistema de medición ya que por lo menos deben ser identificados 5 categorías, es necesario reducir o eliminar la fuente de variación atribuida a la reproducibilidad ya que si observamos la barra de color rojo que se encuentra en la zona de la reproducibilidad se reafirma categóricamente que la interacción entre las partes y los operadores son una de las fuentes de variación que están afectando al resultado ya que registra un valor del 52.39%. Las posibles causas principales de la variación es la combinación de los instrumentos usados en las distintas plantas de luz y el desajuste y desbalanceo del banco de carga resistiva.

En la siguiente imagen 4.3 se muestran las gráficas de corridas donde se visualiza la disposición de las mediciones repetidas por cada operador y cada parte con respecto a valores referencia, estos valores pueden ser los máximos y mínimos así como la media aritmética, el gráfico resulta bastante útil para detectar anomalías entre las mediciones de las partes comparándolas con cada operador, la comparación puede basarse en un patrón y secuencia que siguen las mediciones repetitivas con relación a sus similares a lo largo de las pruebas. También podemos apreciar la exactitud y precisión de las mediciones con respecto al promedio de los datos.

Gage Run Chart of Current [A] in L1 by Parts, Operators

Gage name: Amperímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %
Misc: Carga al 75%



Panel variable: Parts

Imagen 4.3 Gráfica de corridas para partes y operadores relacionadas a la corriente eléctrica en la línea 1 con una capacidad de carga en el banco resistivo del 75%.

Con esta gráfica además de apreciar cómo se comportan las mediciones hechas por los operadores quienes usaron distintos instrumentos podemos identificar el desajuste y la no calibración previa del banco de carga resistiva, por ejemplo en la OTP 2067 en donde fueron utilizados los instrumentos asignados en la tabla 3.4, el operador B con el amperímetro CA-014 presenta valores más altos con relación a sus compañeros quienes usaron otros instrumentos. Las mediciones del operador B presentan una precisión más alta pero se encuentra más alejado al valor referencia promedio, los otros dos operadores están más cerca del valor promedio pero con una imprecisión que se logra percibir, aquí podemos corroborar la estabilidad y sensibilidad del instrumento así como también las mediciones con valores atípicos o anómalos y con alguna deficiencia con relación a algún patrón.

En el anexo A se muestran los resultados numéricos y gráficos para la corriente eléctrica en las líneas 2 y 3. El siguiente análisis de resultados es para la diferencia de potencial [V] entre la línea 2 y la línea 3 usando las metodologías de Promedio-Rangos y análisis ANOVA respectivamente.

4.3 Estudio R & R para la diferencia de potencial [V] entre L2 y L3. Método promedio-rangos.

Gage R&R Study - XBar/R Method

<u>Source</u>	<u>VarComp</u>	<u>%Contribution (of VarComp)</u>
Total Gage R&R	0.033046	6.36
Repeatability	0.002282	0.44
Reproducibility	0.030764	5.92
Part-To-Part	0.486417	93.64
Total Variation	0.519463	100.00

Tabla 4.6 Variación del componente y porcentaje de contribución.

<u>Source</u>	<u>StdDev (SD)</u>	<u>Study Var (6 × SD)</u>	<u>%Study Var (%SV)</u>
Total Gage R&R	0.181786	1.09071	25.22
Repeatability	0.047771	0.28662	6.63
Reproducibility	0.175397	1.05238	24.34
Part-To-Part	0.697436	4.18462	96.77
Total Variation	0.720738	4.32443	100.00

Número de categorías distintas = 5

Tabla 4.7 Porcentaje de variación.

Análisis

En la tabla del porcentaje de contribución de variación, las fuentes Total Gage R&R obtiene un valor del 6.36%, la reproducibilidad 5.92% lo que representan valores con poco peso en la variabilidad, la diferencia de parte a parte con 93.64% es la fuente de variación con mayor valor y la cual nos conviene

porque es la fuente relacionada al proceso de producción y el peso porcentual no se carga al sistema de medición.

Para la tabla 4.7 la evaluación del sistema de medición nos indica que la variación total del estudio es de 25.22% menor a 30% esto quiere decir que representa un sistema de medición con una variación típica dentro de los procesos de medición pero que requiere eliminar los factores que aportan a la variación del estudio, es este caso la fuente que está afectando al sistema es la reproducibilidad que tiene un valor de 24.34%.

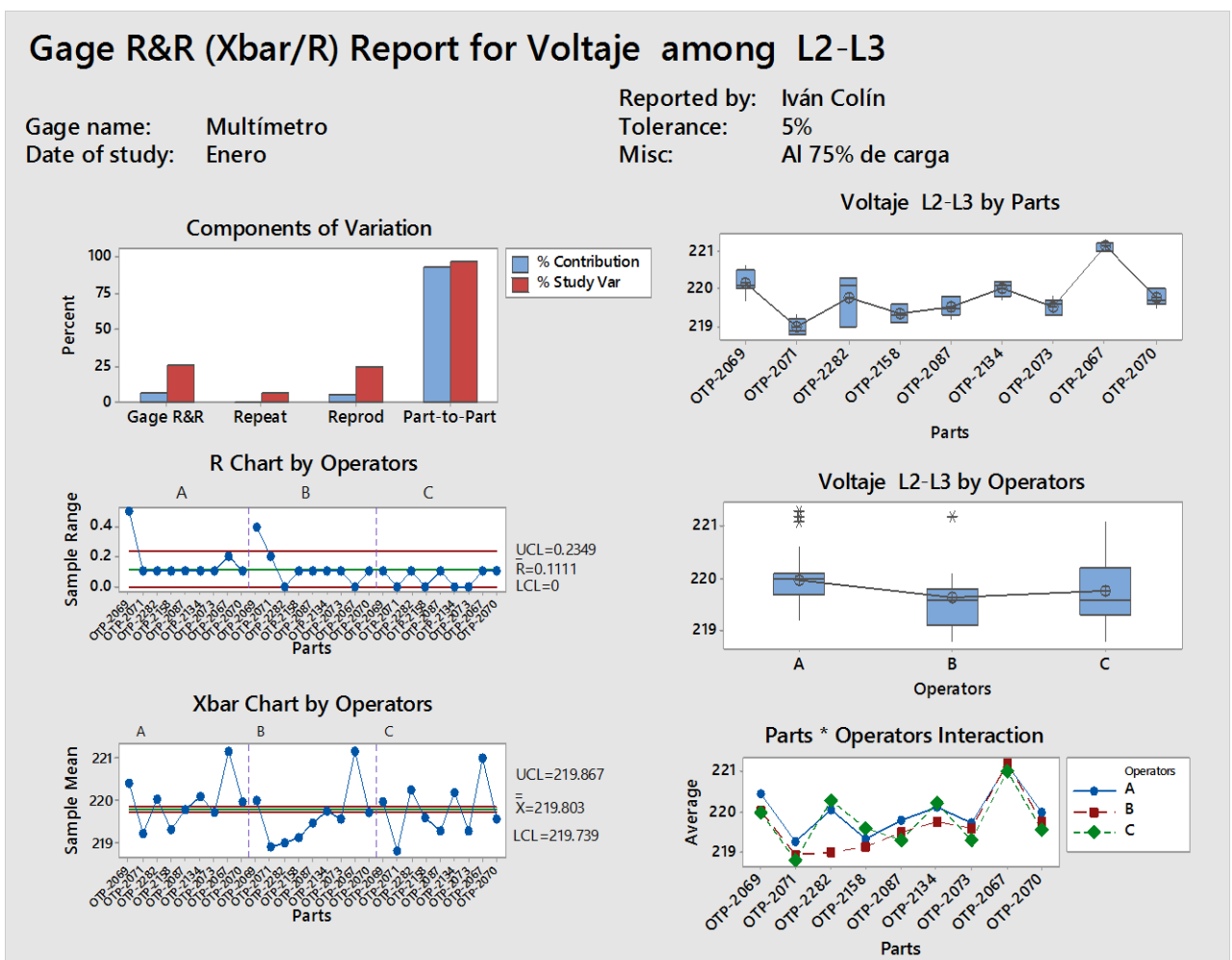


Imagen 4.4 Análisis gráfico de estudio R & R con el método promedio-rangos y con una capacidad de carga eléctrica en el banco resistivo del 75%.

En el gráfico de componentes de variación se reflejan los valores de las tablas 4.6 y 4.7, es claro como los valores del porcentaje de la variación del estudio y de reproducibilidad que se exhiben con la barra roja representan las fuentes de variación que afectan al resultado del estudio. La diferencia entre partes (part to part) simbolizada con las barras más grandes nos indica que el proceso de producción es la fuente que más % de variación debe tener para no afectar al sistema de medición.

En el gráfico de cajas por operador (Voltaje L2-L3 by Operators) se puede apreciar que existen valores atípicos que salen de los bigotes en los operadores A y B esto pudo haber sido por un método inadecuado a la hora de la toma de mediciones o desajustes en el instrumento de medición, esto también se puede visualizar en el gráfico de interacción de las partes con operadores donde el promedio del operador B en la OTP 2282 es muy distinto al de los otros operadores y que no sigue el mismo patrón, esta dispersión favorece a la variación de la reproducibilidad.

4.4 Estudio R & R para la diferencia de potencial entre L2 y L3. Método ANOVA

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	8	44.5735	5.57169	14.7489	0.000
Operators	2	2.5690	1.28452	3.4003	0.059
Parts * Operators	16	6.0443	0.37777	82.9248	0.000
Repeatability	108	0.4920	0.00456		
Total	134	53.6788			

α to remove interaction term = 0.05

Tabla 4.8 Tabla ANOVA con dos factores

Con el análisis ANOVA podemos identificar qué fuentes de variación son las que contribuyen significativamente en el sistema de medición comparando el P-value con el valor de significancia α , la evaluación se puede plantear realizando las siguientes hipótesis:

h_0 = Las fuentes de variación no contribuyen significativamente en la variabilidad del sistema de medición si P-Value > α .

h_1 = Al menos uno de los factores contribuye significativamente a la variabilidad en el sistema de medición si $\alpha \geq P\text{-Value}$.

Análisis

Los factores denominados *partes* y la *interacción de los operadores con las partes* representan una variación inminente con $0.050 > 0.000$. En este punto hay que recalcar que el factor *partes* debe tener un valor mucho menor que el valor de α ya que es la variación ligada al proceso de producción en donde la principal fuente de variación en un estudio R & R debe dirigirse a este factor para no afectar el resultado de la evaluación al sistema de medición. En el caso de la interacción de las partes con los diferentes operadores el resultado es desfavorable ya que este factor está afectando al resultado de la evaluación y se asume que es una fuente de variación importante la cual debe ser corregida o por lo menos reducirla hasta que se cumpla la hipótesis nula.

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.099348	22.29
Repeatability	0.004556	1.02
Reproducibility	0.094793	21.27
Operators	0.020150	4.52
Operators*Parts	0.074643	16.75
Part-To-Part	0.346261	77.71
Total Variation	0.445609	100.00

Tabla 4.9 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.315195	1.89117	47.22
Repeatability	0.067495	0.40497	10.11
Reproducibility	0.307884	1.84730	46.12
Operators	0.141951	0.85170	21.26
Operators*Parts	0.273208	1.63925	40.93
Part-To-Part	0.588440	3.53064	88.15
Total Variation	0.667540	4.00524	100.00

Número de categorías distintas = 2

Tabla 4.10 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Analizando la tabla 4.9 podemos observar el % de contribución para el estudio es de 22.29% y que este se deriva en la repetibilidad y reproducibilidad

con 1.02% y 21.27% respectivamente, ahora bien la reproducibilidad se ha dividido en dos factores, en la variación asociada al operador y la interacción entre las diferentes partes y los operadores, estos resultados reflejan las fuentes de variación que conducen a un resultado no favorable, la fuente que más aporta a esta variación dentro de la reproducibilidad es el interacción de las partes con los operadores, se puede suponer que una de las causas principales es la combinación de instrumentos de medición y el desajuste del banco de carga por cada planta a probar, estas afirmaciones se pueden corroborar con los resultados de la tabla 4.10 que muestra la evaluación del sistema de medición.

La variación del estudio R & R en la tabla 4.10 es de 47.22% muy por encima del 30% que marca el criterio de aceptación esto hace afirmar que el sistema tiene una deficiencia, pero analicemos los resultados de la repetibilidad y la reproducibilidad en donde encontramos que la reproducibilidad tiene un porcentaje de variación del 46.12% un porcentaje muy alto y relacionado con la interacción de las partes con los operadores como se describió en el párrafo anterior, la variación asociada a los operadores tienen un 21.26% y la repetibilidad que es la variación vinculada al instrumento de medición es 10.11%, un valor aceptable para un proceso de medición.

Los porcentajes analizados anteriormente se van a ver reflejados en el otro criterio de aceptación que es el número de categorías distintas la cual con el método ANOVA se obtiene 2 tipos de categorías esto quiere decir que el sistema sólo puede diferenciar 2 tipos de medida Altas y bajas entre todos los equipos probados en un rango de valores de voltaje, siendo el valor de referencia 220 [V].

En las siguientes imágenes se visualizan los resultados de las tablas 4.9 y 4.10 por medio de las gráficas de barras y el comportamiento de los promedios y rangos en gráficas de control así como las mediciones del voltaje entre la línea 2 y 3 con respecto a los operadores y a los equipos probados (OTP's) en gráficos de cajas y corridas.

Gage R&R (ANOVA) Report for Voltaje among L2-L3

Gage name: Multímetro
 Date of study: Enero

Reported by: Iván Colín
 Tolerance: 5%
 Misc: 75% de catga

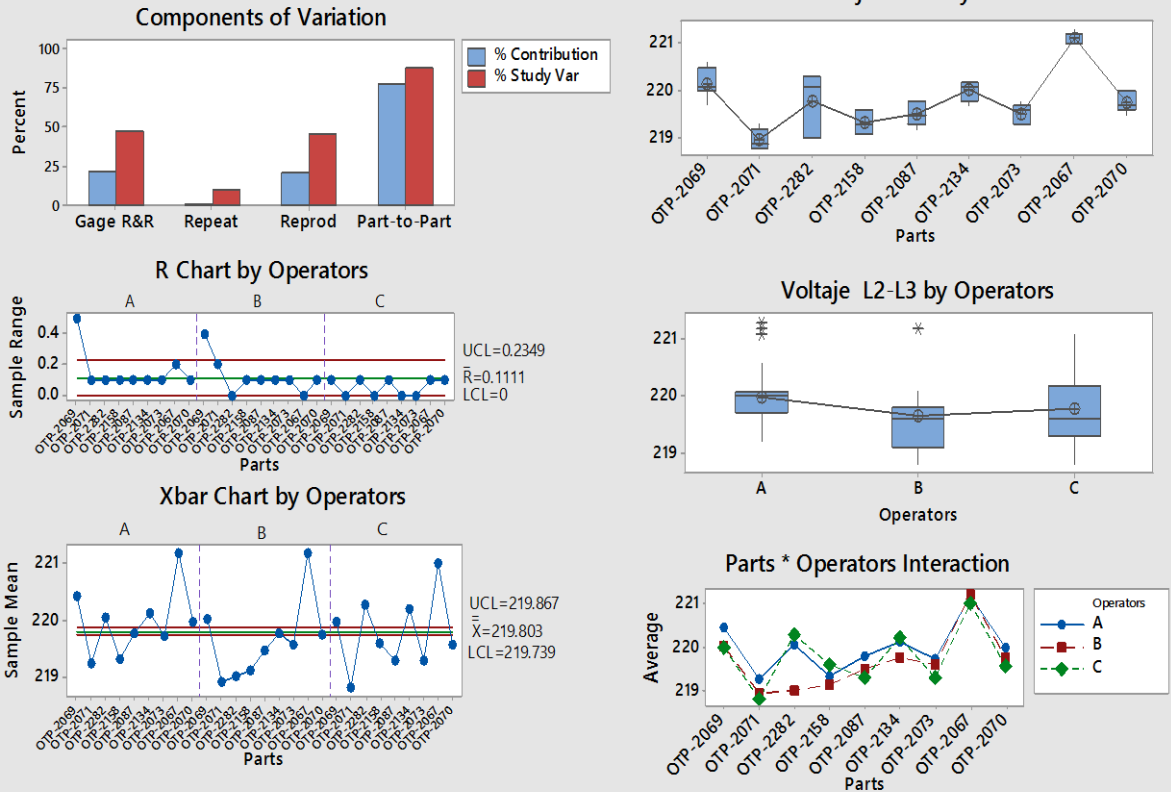


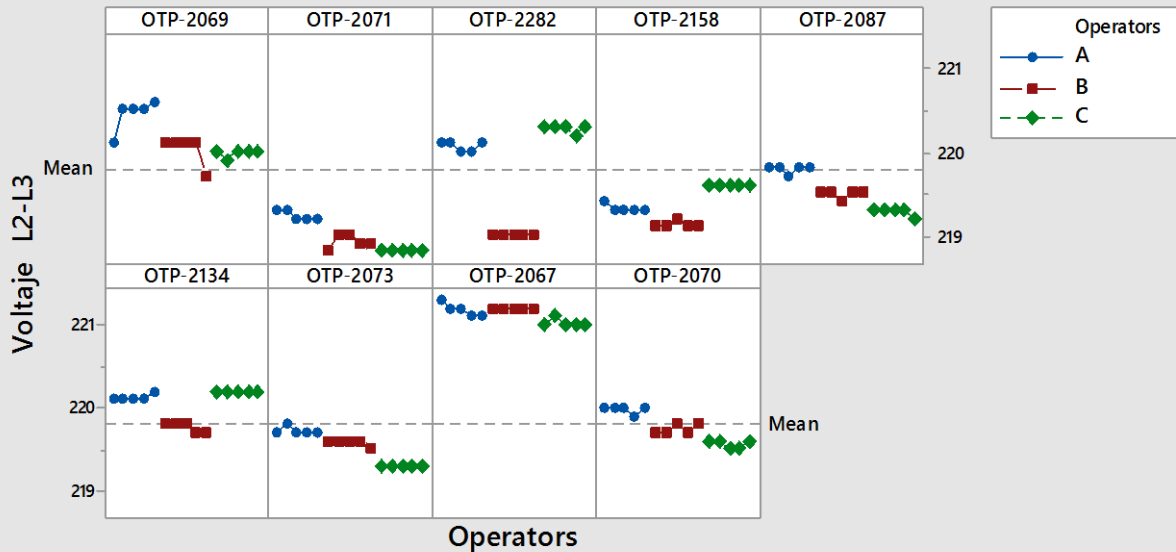
Imagen 4.5 Análisis gráfico ANOVA del estudio R & R para el voltaje entre las líneas 2 y 3 con una capacidad de carga eléctrica al 75%.

La imagen 4.5 muestra 5 de las gráficas iguales a las mostradas en la imagen 4.4 sólo cambia la gráfica de componentes de variación la cual ofrece los resultados de las tablas 4.9 y 4.10 ya analizados de manera gráfica.

Gage Run Chart of Voltaje among L2-L3 by Parts, Operators

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %
Misc: 75% de carga



Panel variable: Parts

Imagen 4.6 Gráfica de corridas para partes y operadores relacionadas a la diferencia de potencial [V] entre las líneas 2 y 3 con una capacidad de carga en el banco resistivo del 75%.

En esta gráfica de corridas es relativamente sencillo distinguir la variación que existe en las mediciones entre los operadores y los grupos electrógenos probados, además se puede discernir entre las mediciones por cada operador la precisión así como también la exactitud con respecto a las distintas OTP's. Por ejemplo en la OTP 2069 es claro ver el comportamiento que tiene las mediciones de cada operador, el operador A tiene cuatro de sus valores en el mismo valor de referencia de 220.5 V pero la primera lectura registra 220.1 V el mismo valor para las primeras cuatro mediciones del operador B pero en su quinta lectura obtuvo 219.7 V, algo similar ocurre con las lecturas del operador C que tiene cuatro mediciones con el mismo valor pero la segunda registra un valor más bajo. Otra de las diferencias relevantes que se pueden apreciar es la inexactitud de las mediciones con relación a las OTP's y el instrumento que usó cada operador.

En el anexo B se muestran los resultados numéricos y gráficos de los estudios R & R para el voltaje entre L1 y L2 y el voltaje entre L1 y L3 con los dos métodos Promedio-Rangos y análisis ANOVA.

Para profundizar más en el tema acerca del análisis de sistemas de medición y sus metodologías puede recurrir al manual de referencia de la AIAG MSA 4ta. Edición donde se plasman las metodologías de cálculo a detalle con ejemplos hechos de modo manual, también se pueden encontrar otras metodologías en la serie de la norma ISO 5725-1: 1994, NMX-CH-5725-1-IMNC-2006: Exactitud (Veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Para identificar, reducir o eliminar las fuentes de variación fue necesario utilizar diversas herramientas como el análisis ANOVA con la finalidad de conocer la variación entre las medias aritméticas de las mediciones, el Análisis AMEFP (mostrado en el anexo C) que nos ayudó a evaluar las actividades del proceso más relevantes y críticas, el modo en el cual pudiera fallar este proceso así como el efecto que produce esta falla potencial, también se usó el diagrama Ishikawa (Anexo D) para identificar las causas raíz que afectan a la variación del sistema de medición y el propio estudio R & R donde se evalúa la repetibilidad y reproducibilidad.

Se definieron los principales conceptos que están asociados a un estudio R & R en el capítulo 2 que abarca desde el concepto de medición, instrumento de medición, clasificación de las fuentes de variación, que es repetibilidad y reproducibilidad, el significado de sesgo entre otros conceptos importantes que tienen una relación fundamental en el análisis de un sistema de medición.

Con base en los análisis e información recabada en este proyecto podemos concluir que el sistema de medición es apto para la evaluación de la funcionalidad y calidad del producto con algunas restricciones, ¿Qué quiere decir esto? Las mediciones hechas con los amperímetros y multímetros que se eligieron para realizar el estudio son adecuados para tal fin pero es necesario definir y ajustar un rango de valor aceptable no mayor al 2.5 % de variación (aprox +/- 5 Amp) cuando se aplique la carga real (en el banco de resistencias) en cada planta a probar tomando como referencia la carga teórica calculada. De acuerdo al análisis hecho con el diagrama Ishikawa una de las causas raíz que condujo a una variación importante en las mediciones fue la diferencia en el valor de carga real entre cada prueba, en otras palabras, hubo un valor de corriente eléctrica distinto al 75% de capacidad de carga en cada OTP probada que rebasaba el 2.5% de diferencia, en el análisis AMEF hubo valores del RPN (número de prioridad de riesgo) para este modo de falla que llegaron a más de 100 puntos, esto quiere decir que se debe enfocar prioritariamente en corregir este fallo en las siguientes pruebas.

Las condiciones del área de pruebas es otra de las fuentes de variación que afectaron al desempeño del estudio. Problemas con el funcionamiento del banco de carga resistivo al momento de aplicar la carga durante la prueba generó que los promedios de las mediciones tuvieran variación significativa, esta afirmación se puede corroborar con las gráficas de corridas de operadores por partes tanto para el voltaje como para la corriente eléctrica mostradas en las imágenes 4.3, 4.6, A.3, A.6, B.3 y B.6. En estas gráficas se puede percibir el desbalanceo entre las líneas que provoca el banco de carga no ajustado, sumando al porcentaje de variación asociado a la reproducibilidad.

La combinación de instrumentos en las 9 pruebas también implicó una fuente de variación importante y se ve reflejado en los resultados del estudio de R & R para el voltaje con el método ANOVA donde la reproducibilidad alcanzaba valores relativamente altos y que al final repercutió en resultados no aceptables en el % de variación del estudio (mayores a 30%) así como también en el número de categorías distintas (menores a 5), por ejemplo, los resultados del % porcentaje de variación del estudio para el voltaje entre la línea 2 y 3 con el método ANOVA son no aceptables debido a un valor en la reproducibilidad del 46.12% que afecta sin duda al resultado de evaluación del sistema completo, para obtener más información acerca de esta variación resulta recomendable realizar estudios de sesgo y linealidad previo al estudio R & R para localizar el instrumento que pudiera estar arrojando valores fuera de los límites de control.

Las pruebas hechas en 9 plantas de 100 KW para realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad tienen un costo estimado de \$ 134,857.36 que pareciera alto pero el beneficio es mucho mayor ya que con la implementación del estudio se da solución a la no conformidad levantada por el auditor RETIE y así se consigue nuevamente la recertificación por parte de este organismo colombiano para poder introducir grupos electrógenos al país de Colombia y tener mucha más presencia de Generac Ottomotores en Sudamérica. Estas pruebas pueden ser el preámbulo para obtener una certificación ISO/IEC 17025 en el área de pruebas

que le pudiera dar a Generac Ottomotores una ventaja competitiva muy importante en el sector.

A continuación se numeran 5 propuestas para reducir o eliminar las fuentes de variación:

1. Ya identificadas las fuentes de variación con mayor aporte, la interacción entre las partes y los operadores así como la combinación de los instrumentos de medición y la falta de mantenimiento del banco de carga resistiva, es necesario fijar un valor de referencia con respecto a la intensidad de corriente eléctrica con una variación del 2.5% (carga real demandada por el banco de resistencias). Esto es, para cada planta a probarse se debe ajustar y calibrar el banco de resistencias a un valor referencia de carga real al 75% de capacidad con una variación del 2.5%.
2. Planear y establecer los tiempos de prueba para evitar circunstancias que provoquen condiciones de presión en tiempo en la entrega del producto final que pudieran generar penalizaciones.
3. Ajustar y dar mantenimiento correctivo al banco de carga resistivo para que se pueda calibrar a un valor referencia durante las pruebas de un equipo electrógeno a otro. Otro punto importante es la colocación de displays en los mandos de control de los bancos resistivos que indiquen el valor de la carga que se está aplicando cuando se prueban las máquinas.
4. Asignar un lugar específico para la colocación del instrumento de medición a lo largo del cable de cada línea y así evitar inestabilidad excesiva en las mediciones que pudieran rebasar el 2.5% de variación.
5. Replantear la evaluación de los sistemas de medición por medio de un estudio R & R expandido donde se analizan más factores de interacción, se reduce el número de plantas a probar y por consecuencia el costo.

Anexo A

Resultados de estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica [A]

Resultados para Línea 2. Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1.0651	6.04
Repeatability	0.0359	0.20
Reproducibility	1.0292	5.84
Part-To-Part	16.5634	93.96
Total Variation	17.6285	100.00

Tabla A.1 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1.03204	6.1922	24.58
Repeatability	0.18949	1.1369	4.51
Reproducibility	1.01449	6.0869	24.16
Part-To-Part	4.06982	24.4189	96.93
Total Variation	4.19864	25.1918	100.00

Number of Distinct Categories = 5

Tabla A.2 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (Xbar/R) Report for Electric Currente [A] in L2

Gage name: Amperimetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%
Misc:

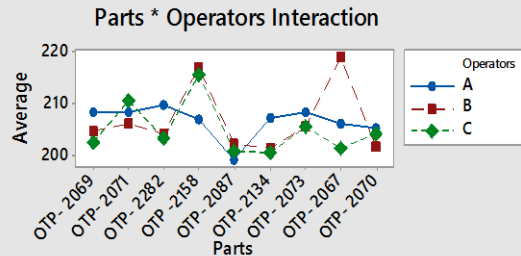
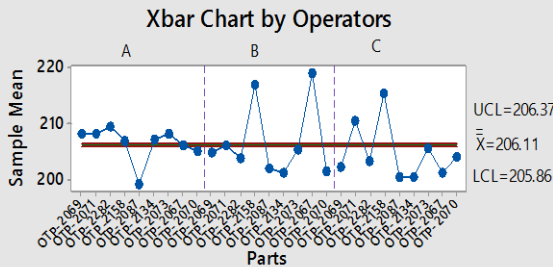
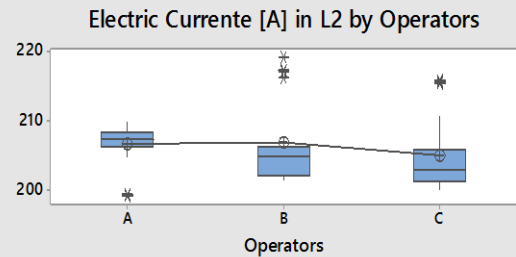
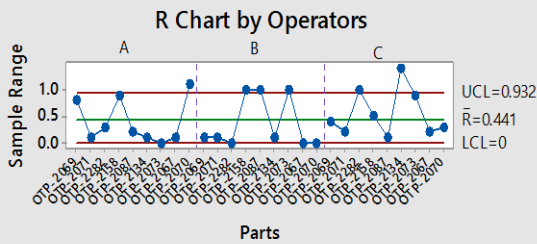
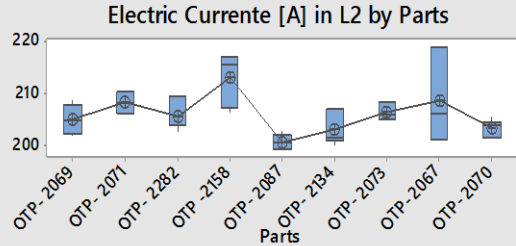
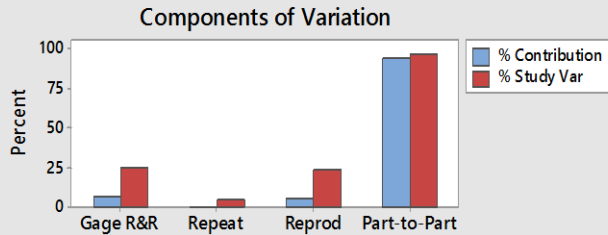


Imagen A.1 Análisis gráfico de estudio R & R con una capacidad de carga eléctrica en el banco resistivo del 75%, (L2).

Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L2. Método ANOVA

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	8	1634.20	204.275	2.16	0.090
Operators	2	100.38	50.189	0.53	0.598
Parts * Operators	16	1512.28	94.518	1150.58	0.000
Repeatability	108	8.87	0.082		
Total	134	3255.73			

α to remove interaction term = 0.05

Tabla A.3 Tabla ANOVA con dos factores

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution of VarComp)
Total Gage R&R	18.9693	72.16
Repeatability	0.0821	0.31
Reproducibility	18.8871	71.85
Operators	0.0000	0.00
Operators*Parts	18.8871	71.85
Part-To-Part	7.3172	27.84
Total Variation	26.2864	100.00

Tabla A.4 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	4.35537	26.1322	84.95
Repeatability	0.28661	1.7197	5.59
Reproducibility	4.34593	26.0756	84.77
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Operators*Parts	4.34593	26.0756	84.77
Part-To-Part	2.70503	16.2302	52.76
Total Variation	5.12703	30.7622	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Tabla A.5 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (ANOVA) Report for Electric Currente [A] in L2

Gage name: Amperimetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%

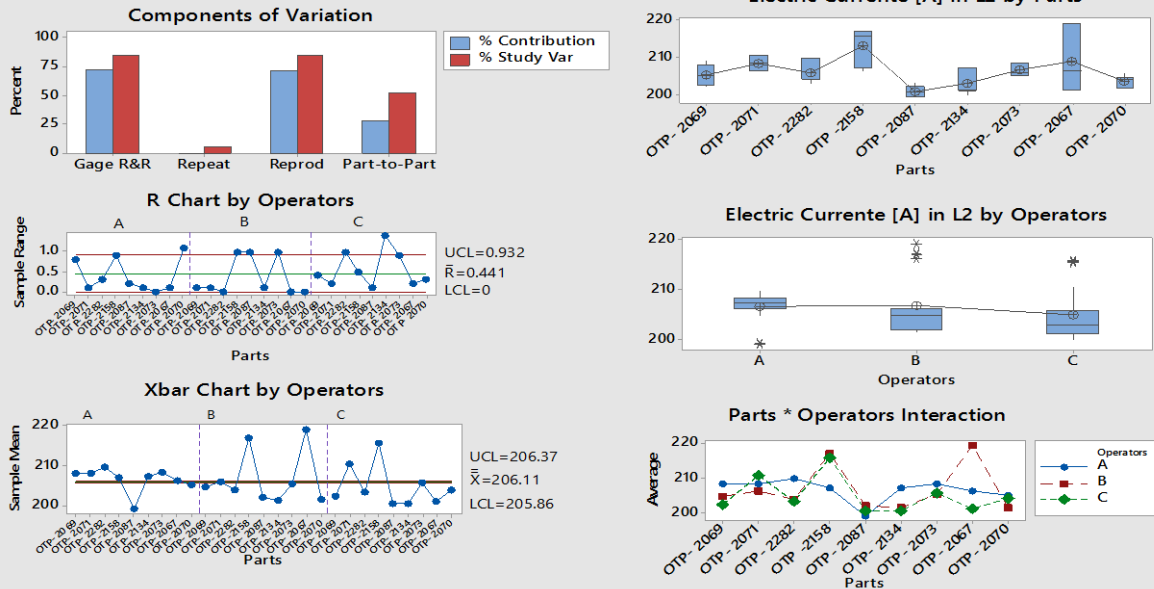


Imagen A.2 Análisis gráfico ANOVA del estudio R & R para corriente eléctrica en la línea 2 con una capacidad de carga eléctrica al 75%.

Gage Run Chart of Electric Currente [A] in L2 by Parts, Operators

Gage name: Amperímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %
Misc: Carga al 75%

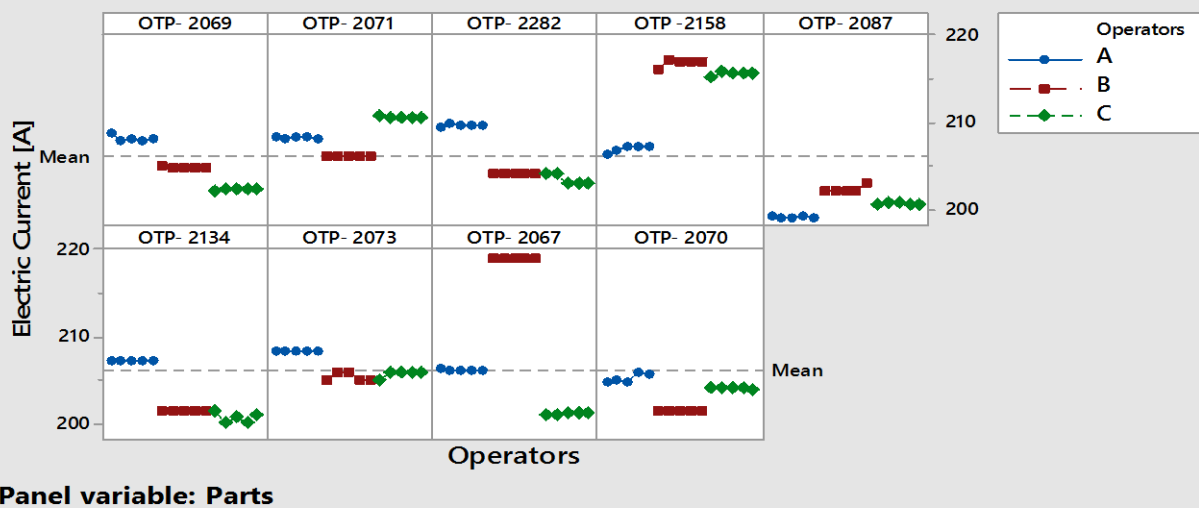


Imagen A.3 Gráfica de corridas para partes y operadores relacionadas a la corriente eléctrica en la línea 2 con una capacidad de carga en el banco resistivo del 75%.

Resultados para Línea 3. Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.3462	1.55
Repeatability	0.0435	0.19
Reproducibility	0.3027	1.36
Part-To-Part	21.9691	98.45
Total Variation	22.3153	100.00

Tabla A.6 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.58838	3.5303	12.46
Repeatability	0.20860	1.2516	4.42
Reproducibility	0.55016	3.3009	11.65
Part-To-Part	4.68712	28.1227	99.22
Total Variation	4.72390	28.3434	100.00

Number of Distinct Categories = 11

Tabla A.7 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (Xbar/R) Report for Current [A] in L3

Gage name: Ampermetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%

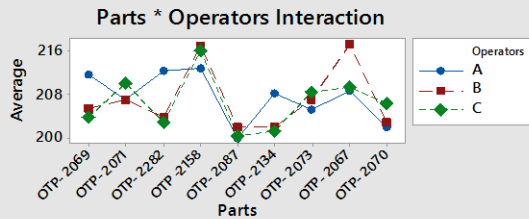
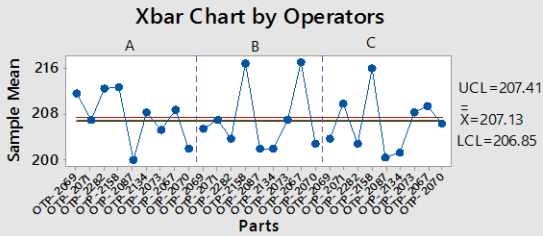
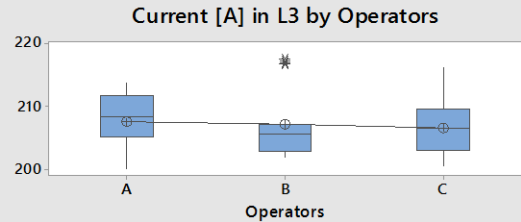
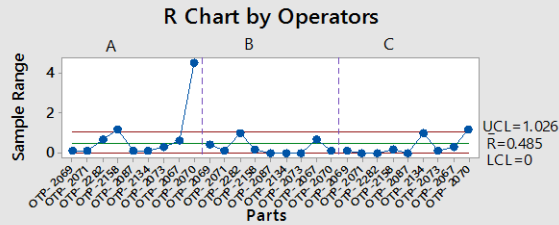
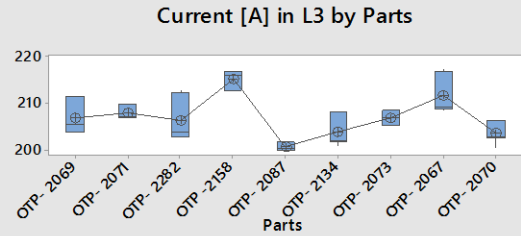
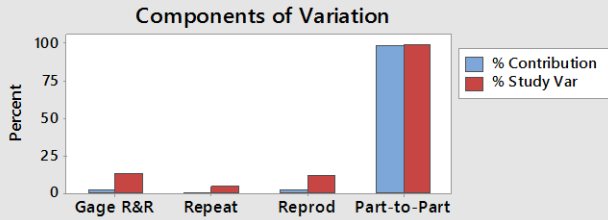


Imagen A.4 Análisis gráfico de estudio R & R con una capacidad de carga eléctrica en el banco resistivo del 75%, (L3).

Estudio R & R para intensidad de corriente eléctrica en L3. Método ANOVA

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	8	2256.39	282.049	4.769	0.004
Operators	2	25.16	12.578	0.213	0.811
Parts * Operators	16	946.34	59.146	285.221	0.000
Repeatability	108	22.40	0.207		
Total	134	3250.28			

α to remove interaction term = 0.05

Tabla A.8 Tabla ANOVA con dos factores

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	11.9952	44.67
Repeatability	0.2074	0.77
Reproducibility	11.7878	43.89
Operators	0.0000	0.00
Operators*Parts	11.7878	43.89
Part-To-Part	14.8602	55.33
Total Variation	26.8553	100.00

Tabla A.9 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	3.46341	20.7804	66.83
Repeatability	0.45538	2.7323	8.79
Reproducibility	3.43334	20.6000	66.25
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Operators*Parts	3.43334	20.6000	66.25
Part-To-Part	3.85489	23.1293	74.39
Total Variation	5.18221	31.0933	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Tabla A.10 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (ANOVA) Report for Current [A] in L3

Gage name: Amperímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%

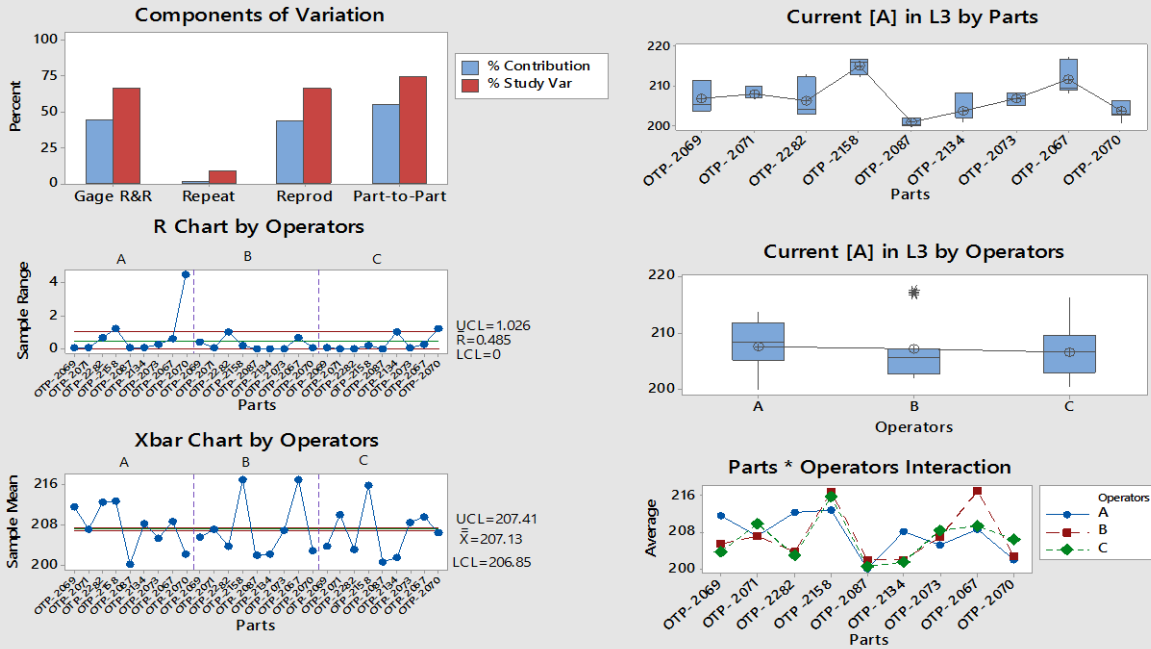


Imagen A.5 Análisis gráfico ANOVA del estudio R & R para corriente eléctrica en la línea 3 con una capacidad de carga eléctrica al 75%.

Gage Run Chart of Current [A] in L3 by Parts, Operators

Gage name: Amperímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %
Mic: Carga al 75%

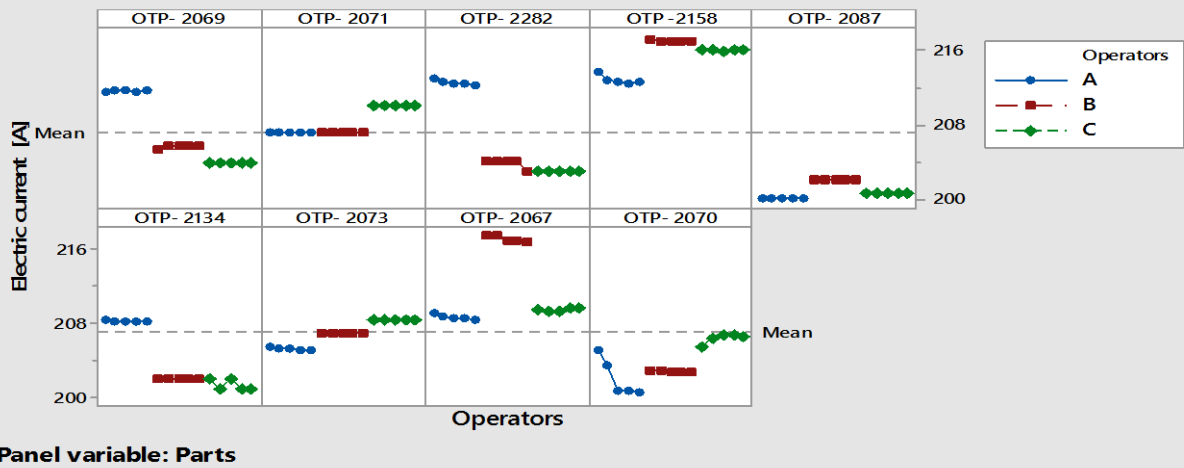


Imagen A.6 Gráfica de corridas para partes y operadores relacionadas a la corriente eléctrica en la línea 3 con una capacidad de carga en el banco resistivo del 75%.

Anexo B

Resultados de estudio R & R para la diferencia de potencial eléctrica [V]

Resultados entre Línea 1 y Línea 2. Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.062993	24.58
Repeatability	0.006339	2.47
Reproducibility	0.056654	22.10
Part-To-Part	0.193326	75.42
Total Variation	0.256319	100.00

Tabla B.1 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.250985	1.50591	49.57
Repeatability	0.079618	0.47771	15.73
Reproducibility	0.238022	1.42813	47.01
Part-To-Part	0.439688	2.63813	86.85
Total Variation	0.506279	3.03768	100.00

Number of Distinct Categories = 2

Tabla B.2 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (Xbar/R) Report for Voltaje L1-L2

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colin
Tolerance: 5 %

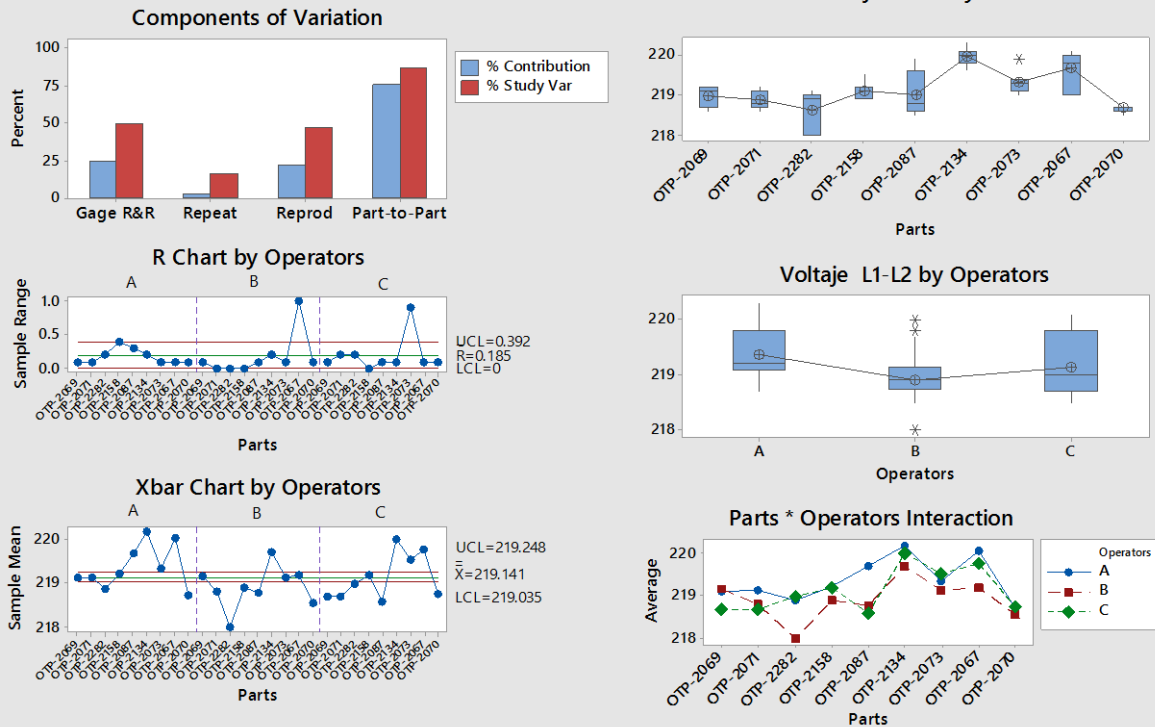


Imagen B.1 Análisis gráfico de estudio R & R con una capacidad de carga eléctrica en el banco resistivo del 75%, voltaje entre L1 y L2.

Estudio R & R para la diferencia de potencial entre L1 y L2. Método ANOVA

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	8	24.3650	3.04563	7.6514	0.000
Operators	2	4.6739	2.33696	5.8711	0.012
Parts * Operators	16	6.3687	0.39805	19.3644	0.000
Repeatability	108	2.2200	0.02056		
Total	134	37.6277			

α to remove interaction term = 0.05

Tabla B.3 Tabla ANOVA con dos factores

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.139141	44.08
Repeatability	0.020556	6.51
Reproducibility	0.118585	37.57
Operators	0.043087	13.65
Operators*Parts	0.075498	23.92
Part-To-Part	0.176506	55.92
Total Variation	0.315646	100.00

Tabla B.4 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.373016	2.23809	66.39
Repeatability	0.143372	0.86023	25.52
Reproducibility	0.344362	2.06617	61.29
Operators	0.207574	1.24545	36.95
Operators*Parts	0.274769	1.64862	48.91
Part-To-Part	0.420126	2.52075	74.78
Total Variation	0.561824	3.37094	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Tabla B.5 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (ANOVA) Report for Voltaje L1-L2

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %

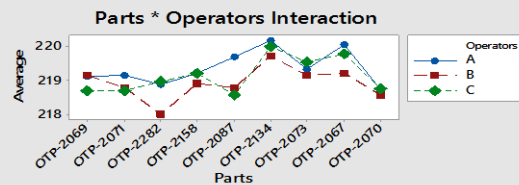
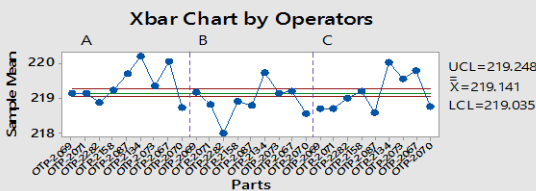
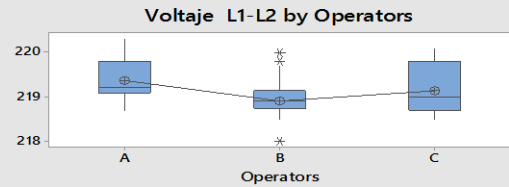
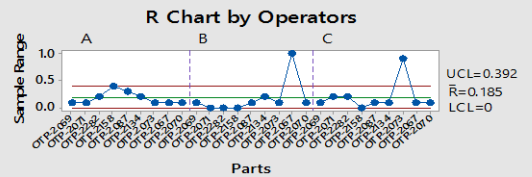
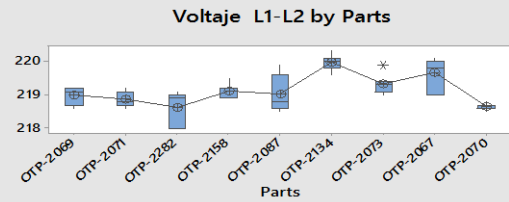
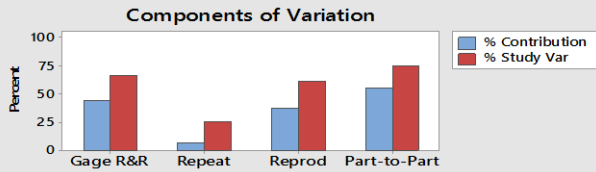


Imagen B.2 Análisis gráfico ANOVA del estudio R & R para el voltaje entre la Línea 1 y Línea 2 con una capacidad de carga eléctrica al 75%.

Gage Run Chart of Voltaje among L1-L2 by Parts, Operators

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %
Misc: Carga al 75 %

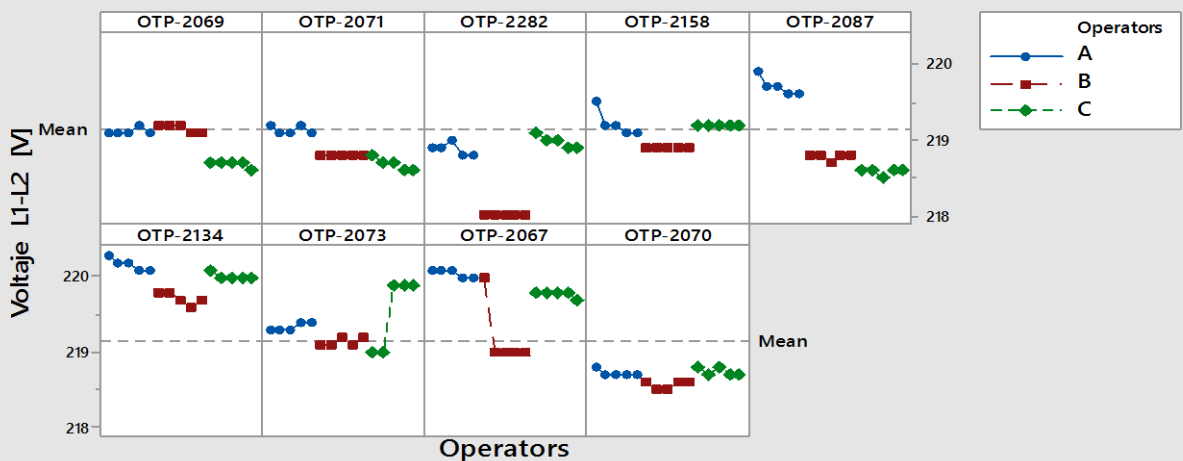


Imagen B.3 Gráfica de corridas para partes y operadores relacionadas al voltaje entre las Líneas 1 y 2 con una capacidad de carga en el banco resistivo del 75%.

Resultados para la diferencia de potencial eléctrica [V] entre las Líneas 1 y 3

Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.074086	47.54
Repeatability	0.000733	0.47
Reproducibility	0.073353	47.07
Part-To-Part	0.081742	52.46
Total Variation	0.155828	100.00

Tabla B.6 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.272187	1.63312	68.95
Repeatability	0.027070	0.16242	6.86
Reproducibility	0.270838	1.62503	68.61
Part-To-Part	0.285906	1.71543	72.43
Total Variation	0.394750	2.36850	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Tabla B.7 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (Xbar/R) Report for Voltaje among L1-L3

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%
Misc: 75% de catga

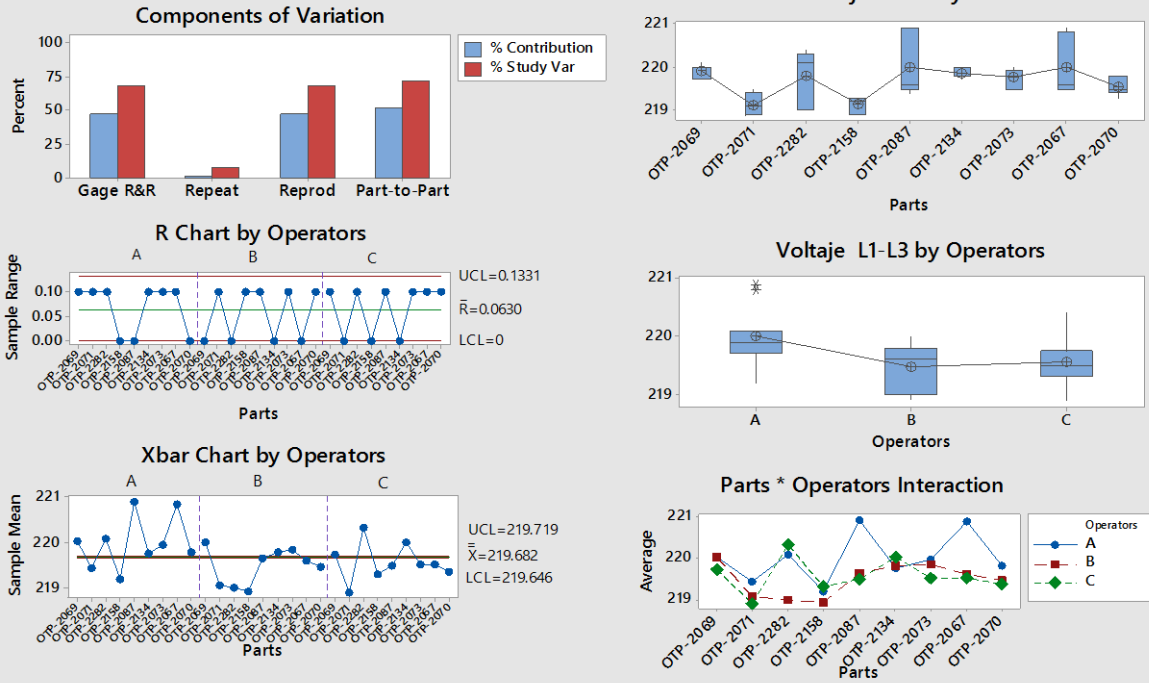


Imagen B.4 Análisis gráfico de estudio R & R con una capacidad de carga eléctrica en el banco resistivo del 75%, voltaje entre L1 y L3.

Estudio R & R para la diferencia de potencial entre L1 y L3. Método ANOVA

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	8	13.9293	1.74117	2.265	0.078
Operators	2	6.8991	3.44956	4.487	0.028
Parts * Operators	16	12.3009	0.76881	494.232	0.000
Repeatability	108	0.1680	0.00156		
Total	134	33.2973			

α to remove interaction term = 0.05

Tabla B.8 Tabla ANOVA con dos factores

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.214578	76.80
Repeatability	0.001556	0.56
Reproducibility	0.213022	76.24
Operators	0.059572	21.32
Operators*Parts	0.153450	54.92
Part-To-Part	0.064824	23.20
Total Variation	0.279402	100.00

Tabla B.9 Porcentaje de contribución de las fuentes de variación

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.463225	2.77935	87.64
Repeatability	0.039441	0.23664	7.46
Reproducibility	0.461543	2.76926	87.32
Operators	0.244074	1.46445	46.18
Operators*Parts	0.391727	2.35036	74.11
Part-To-Part	0.254606	1.52763	48.17
Total Variation	0.528585	3.17151	100.00

Number of Distinct Categories = 1

Tabla B.7 Porcentaje de variación de las fuentes de variación

Gage R&R (ANOVA) Report for Voltaje among L1-L3

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5%
Misc: 75% de catga

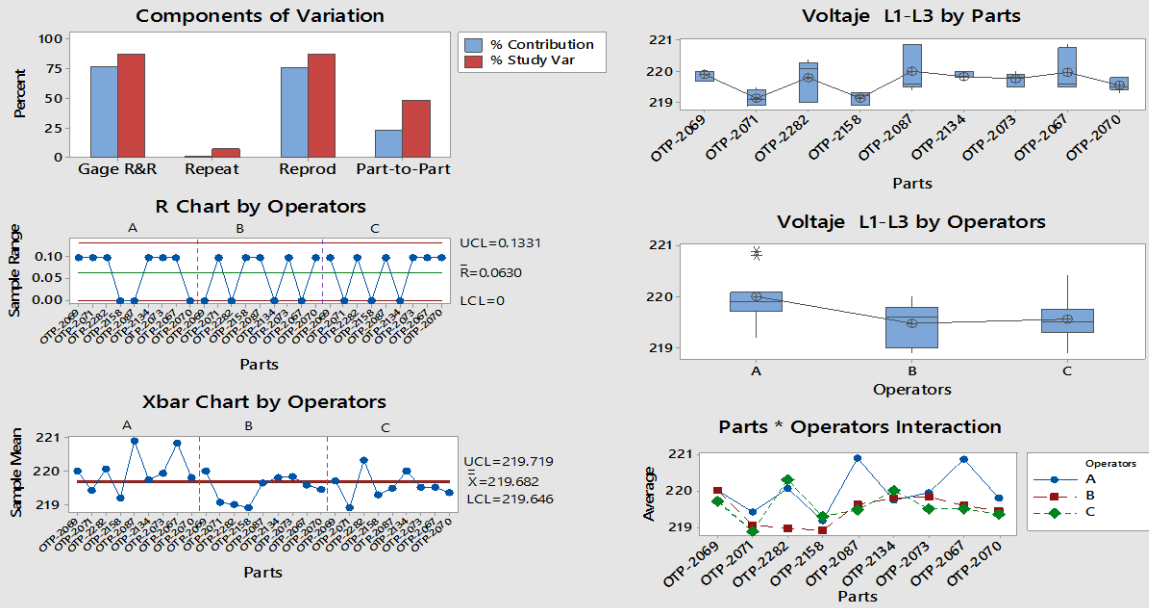


Imagen B.5 Análisis gráfico ANOVA del estudio R & R para el voltaje entre la Línea 1 y Línea 3 con una capacidad de carga eléctrica al 75%.

Gage Run Chart of Voltaje among L1-L3 by Parts, Operators

Gage name: Multímetro
Date of study: Enero 17

Reported by: Iván Colín
Tolerance: 5 %
Misc: 75% de carga

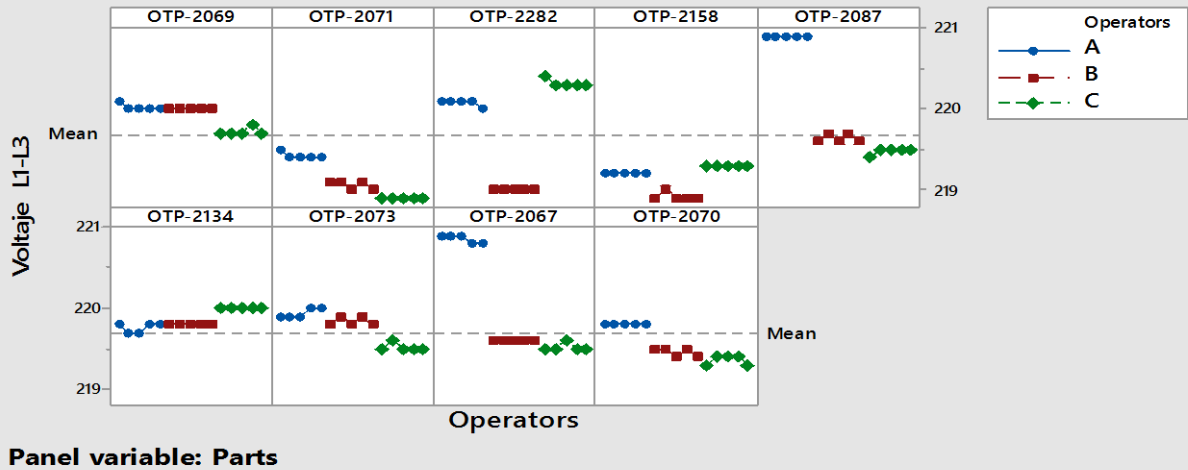


Imagen B.6 Gráfica de corridas para partes y operadores relacionadas al voltaje entre las Líneas 1 y 3 con una capacidad de carga en el banco resistivo del 75%.

Anexo C. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (AMEFP)

		ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E)										Código: AMEFP-01					
		<input type="checkbox"/> DISEÑO <input checked="" type="checkbox"/> PROCESO <input type="checkbox"/> MEDIOS										Edición: 1					
												Fecha: Enero 17					
Área:	Pruebas	Proceso a analizar:				Estudio R & R				Preparado por:				Iván Colín y equipo de trabajo			
Planta:	Planta 2	Referencia/s:				Toma de mediciones de voltaje y corriente eléctrica				Revisado por:				Gcia. De Calidad			
Descripción de la fase	Modo potencial de fallo	Efecto potencial del fallo	Gravedad	Tipo	Causas potenciales del fallos	Ocurrencia	Verificación y/o control(es) actual(es)	Detección	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Resultado de las acciones					
												Acciones realizadas	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR	
Ajuste de parámetros en el banco de carga.	Parámetros no ajustados al porcentaje carga seleccionada	Mediciones alejadas del valor de referencia	5	bajo	Cálculo de corriente teórica errónea.	3	Cálculo de corriente por hoja de cálculo.	3	45	Comparación con el cálculo del supervisor.	Técnicos, supervisor y coordinador	Quando se aprueben nuevas pruebas					
					Módulo de mando del banco averiado.	3	No se tiene.	7	105	Instalación de un display en el banco resistivo que indique la medición.	Área de mantenimiento.	Quando se aprueben nuevas pruebas					
					Error en la aplicación de la carga.	3	Verificación con el instrumento de medición.	3	45	Volver a rotular el módulo de mando del banco resistivo.	Área de mantenimiento.	Quando se aprueben nuevas pruebas					
	Carga eléctrica fuera del rango establecido	Promedios de las mediciones con variación significativa.	5	bajo	Módulo de mando del banco averiado.	3	No se tiene.	7	105	Instalación de un display en el banco resistivo que indique la medición.	Área de mantenimiento.	Quando se aprueben nuevas pruebas					

Anexo C. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (AMEFP)

		Rangos fuera de los límites de control	5	bajo	Error en la aplicación de la carga.	3	Verificación con el instrumento de medición.	3	45	Ajustar el valor referencia en el banco para cada planta de luz a probar.	Técnicos y supervisor.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
Medición de la variables con los instrumentos de medición seleccionados	Valores fuera de los límites de control	Resultado no satisfactorios en el estudio R & R	5	bajo	Banco de carga desbalanceado.	4	Monitoreo de la prueba con los instrumentos de medición.	5	100	Instalación de un display en el banco resistivo que indique la medición.	Área de mantenimiento.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
					Instrumento averiado.	4	Verificación periódica.	3	60	Pruebas de sesgo y linealidad.	Coordinador del estudio.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
					Negligencia por parte del operador.	3	Análisis estadístico.	3	45	Implementación de gráficas de control.	Supervisor y coordinador del estudio	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
	Valores fuera de los límites de control	Evaluación de resultados erróneo.	5	bajo	Banco de carga desbalanceado.	4	Monitoreo de la prueba con los instrumentos de medición.	5	100	Instalación de un display en el banco resistivo que indique la medición.	Área de mantenimiento.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
					Instrumento averiado.	4	Verificación periódica	3	60	Pruebas de sesgo y linealidad.	Coordinador del estudio.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
	Inestabilidad en los valores	Promedios y rangos de las mediciones con variación significativa.	4	Muy bajo	Falta de calibración del instrumento.	2	Verificación semestral.	3	24	Pruebas de sesgo y linealidad.	Coordinador del estudio.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				
					Sujeción y localización del instrumento inadecuada	3	ninguna	2	24	Definir un sitio exclusivo donde no haya inestabilidad	Coordinador del estudio, técnicos y supervisor.	Cuando se aprueben nuevas pruebas.				

Anexo D. Diagrama de Causa - Efecto (Ishikawa) para la variación del estudio R & R



Anexo E. Análisis y registro de Acción correctiva en el Formato 8 D's.

Reporte 8D			
RACP n°: 002CCm	Gravedad de la No conformidad : <input type="radio"/>		
Área donde se detecta: Pruebas	<input type="radio"/>		
Persona quien detecta: Equipo Auditor	<input type="radio"/>		
Fecha del hallazgo: 08/05/2016	<input checked="" type="radio"/>		
Fecha de Entrega: 11/05/2016	<input type="radio"/>		
	<input checked="" type="radio"/> Externa <input type="radio"/> Interna		
¿Es recurrente? : SI () / No (X)			
Etapa 1		Equipo de trabajo	
Metas del equipo	Nombre	Departamento	Responsabilidad
Definir un procedimiento para la realización de un estudio R & R.	Iván Colín Villeda	Calidad	Diseño de estudio R & R
	Ing. Martín Nuñez	Gerencia de eléctrica	Diseño de estudio R & R
	Ing. Mario González	Gerencia de Producción	Diseño de estudio R & R
Objetivos del equipo	Ing. Paulino Mendoza	Supervisor de Pruebas	Preparación de los equipos a probar
Determinar las fuentes de variación que afectan al sistema de medición del área de pruebas por medio de un estudio R & R para las variables voltaje y corriente eléctrica			
Etapa 2		Definición del problema / declaración y descripción	
¿Dónde ocurrió el problema?	En el área de pruebas de grupos electrógenos de Planta 2.	Bosquejo/Foto del problema:	
¿Cuándo se produce el problema?	En una revisión del protocolo de pruebas de equipos electrógenos.		
¿Quién es el responsable del proceso?	El supervisor del área de pruebas de equipos electrógenos.		
¿Por qué ocurrió el problema?:	No se cuenta con un procedimiento para estimar el porcentaje de variación en las mediciones del voltaje y corriente eléctrica en las líneas de fuerza de las plantas eléctricas.		
¿Cómo se detecta?	En una auditoría RETIE, revisando el protocolo de pruebas.		
¿Cuántas partes fueron afectadas?	El departamento de pruebas y el de aseguramiento de calidad.		
Comentarios adicionales:			
Descripción del problema: No se cuenta con un procedimiento para determinar la variación de las mediciones del voltaje y corriente eléctrica de acuerdo a la norma ISO 8528:2005 lo anterior incumple con el numeral 5.4.6 de la norma ISO/IEC 17025:2005.			
Contención			
Etapa 3		Definición e implementación de acciones de contención	
Que acciones se deben de tomar:			
	Actividad	Responsable	Fecha
	Realizar una reunión con el equipo de trabajo para definir y diseñar una metodología que contenga el problema	Equipo de trabajo	22/06/2016
	Reunir la información necesaria para determinar la causa raíz y encontrar propuestas de solución	Equipo de trabajo	30/06/2016
Aprobación de la contención			
Comentarios: La metodología y parte de la información debe ser mostrada en una presentación electrónica			Aprobado Fecha: 04/06/2016
Identificación y Verificación de la causa raíz			
Etapa 4		Análisis de Causa Raíz	
Análisis de los 5 por qué:			
¿Por qué sucedió esto?	No se cuenta con un procedimiento para calcular un estimado de la variación en las mediciones		
¿Por qué sucedió esto?	No se cuenta con un procedimiento para realizar un estudio de repetibilidad y reproducibilidad		
¿Por qué sucedió esto?	No se tenía considerado este procedimiento en la empresa		
¿Por qué sucedió esto?	No se tenía considerado la aplicación de la norma ISO/IEC 17025:2005 en la empresa		
¿Por qué sucedió esto?	Los clientes nunca habían pedido un análisis de variación en las mediciones hechas el área de pruebas		

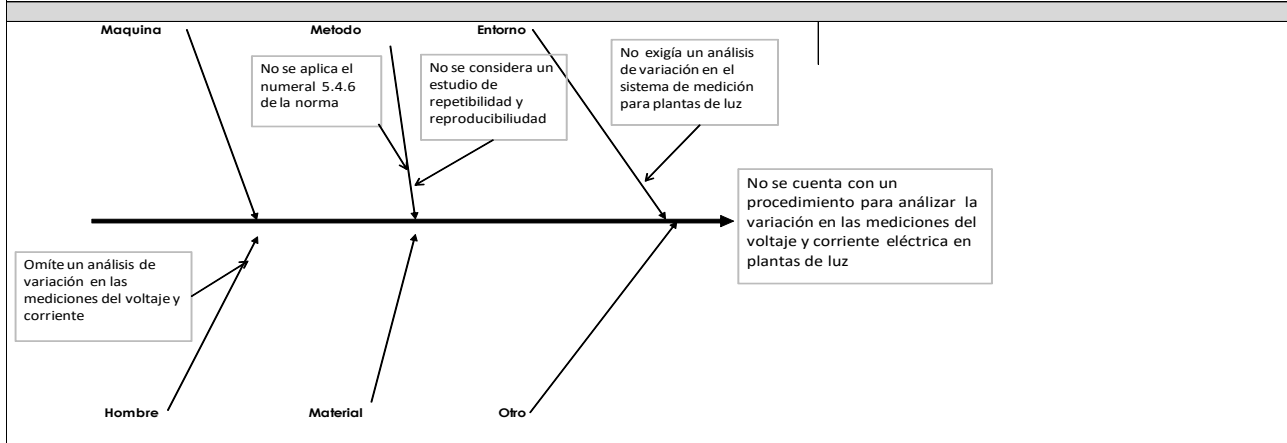
Imagen E.1 Registro de solución a no conformidad en el formato 8 D's, etapas 1, 2, 3 y 4.

4.1 ¿Por qué el proceso de planificación no predice el defecto?

Por que no se consideraba dentro de la planificación de la producción un estudio de variación en la mediciones

4.2 ¿Por qué el proceso de fabricación no impide el defecto?

Por que no se consideraba dentro del proceso de fabricación un estudio de variación en la mediciones



Etapa 5 Identificación e implementación de las acciones correctivas permanentes

5.1 Determinar las acciones para corregir la causa raíz

Acciones	Responsable	Fecha
1.- Revisión de las normas ISO/IEC 17025:2005 y NMX - CH - 5725 - IMNC	Equipo de trabajo	15/07/2016
2.- Reuniones con el equipo de trabajo para la planeación del estudio de R & R	Equipo de trabajo	28/07/2016
3.- Diseñar un plan de trabajo para la planeación y ejecución del estudio	Equipo de trabajo	03/08/2016
4.- Obtener una metodología estadística para el estudio de repetibilidad y reproducibilidad	Iván Colín	15/08/2016
5.- Diseñar un formato para el registro de las mediciones	Iván Colín	17/08/2016
6.- Presentar la metodología estadística al equipo de trabajo referente al estudio R & R	Iván Colín	24/08/2016
7.- Desarrollar un procedimiento para preparar y ejecutar las pruebas a los equipos así como la obtención de las medicio	Iván Colín	02/09/2016
8.- Realización de los ensayos de arranque y prueba de los equipos electrógeneos de acuerdo al procedimiento diseñad	Equipo de trabajo	24/11/2016
9.- Realizar análisis de resultados y presentar conclusiones	Iván Colín	10/01/2017

Etapa 6 Implementación y validación de las acciones

Muestra evidencia de las acciones tomadas :

SI NO

Fecha:

Las acciones tomadas fueron efectivas:

SI NO

Nota: Si las acciones no fueron efectivas se debe de analizar nuevamente la causa raíz y tomar las acciones correspondientes

Prevención de la ocurrencia

Etapa 7 Prevención de la ocurrencia

7.1. ¿Cómo va a evitar la aparición de este problema?

Acciones	Responsable	Fecha
1.- El estudio y análisis se realizará anualmente para verificar la efectividad de los resultados.	Equipo de trabajo	Posterior al estudio
2.- Se evaluará el procedimiento del estudio R & R para realizar cambios si es que son necesarios.	Equipo de trabajo	Posterior al estudio
3.- Se documentará todo el avance del estudio para analizar cambios y mejoras al procedimiento	Equipo de trabajo	Posterior al estudio

7.2. Revisión de los documentos/Sistema

Documento	¿Quién es el responsable?	Fecha de terminación		Documento	¿Quién es el responsable?	Fecha de terminación	
		Estimada	Real			Estimada	Real
Manual del Sistema de Gestión de Calidad y Medio ambiente				Instrumentación	FAC-PRO	Durante el estudio	
Instructivos de trabajo				Diseño de producto			
Diagramas de flujo				Ayudas visuales			
Procedimientos	FAC-PRO	Durante el estudio		Otros:			

Reconocimiento de equipo

Etapa 8 Felicitar a su equipo

Metodo de reconocimiento: Presentación de los resultados con las gerencias involucradas, Notificación del proyecto en el pizarron DRIVE TO ZERO.

Imagen E.2 2da. Parte del registro y metodología 8 D's, etapas 4, 5, 6, 7 y 8

Bibliografía

AIAG

Análisis de Sistemas de Medición,
Manual de referencia, traducción al español
Cuarta Edición
México 2010.

Morris Alan S,

Principios de mediciones e instrumentación
Pearson Educación
Primera Edición
México 2002.

Charbonneau Harvey C, Webster Gordon L.

Control de Calidad
Nueva editorial Interamericana S.A de C.V.
Primera Edición
México 1988

Kennedy John B, Neville Adam M.

Estadística para Ciencias e Ingeniería
Harla, Harper & Row Latinoamericana
Segunda Edición
México 1982

AIAG

Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales

Manual de referencia, traducción al español

Cuarta Edición

México 2008.

Martínez Lugo Cesar Alejandro

Implementación de un Análisis de Modo y Efecto de Falla en una línea de manufactura para juguetes

UANL, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, División de estudios de postgrado

México 2004.

Comité Conjunto para las Guías de Metrología (JCGM 200:2008)

Vocabulario Internacional de Metrología, Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM).

BIPM

Primera edición (traducción al español del VIM ^{3ra})

2008.

International Stadar ISO 5725-1: 1994, NMX-CH-5725-1-IMNC-2006

Exactitud (Veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición-Parte 1:

Principios Generales y Definiciones

IMNC

Primera edición

México 2006.

International Standar ISO/IEC 17025:2005 traducción oficial
Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de
calibración.
Secretaría Central de ISO
Segunda Edición
Suiza 2005.

International Standar ISO 9001:2008 traducción oficial
Sistemas de gestión de la Calidad- Requisitos
Secretaría Central de ISO
Cuarta Edición
Suiza 2008.

International Standar ISO 9001:2015 traducción oficial
Sistemas de gestión de la Calidad- Requisitos
Secretaría Central de ISO
Quinta Edición
Suiza 2015.

COVENIN - ISO 3534-1:1995
Estadística. Vocabulario y Símbolos, Parte 1: Términos relativos a probabilidades
y estadística general
COVENIN
Primera Edición
Venezuela 1995.

<https://www.minminas.gov.co/retie>

<http://es.slideshare.net/dianaguzmane/manualamef42008espanol>

http://www.portalcalidad.com/etiquetas/173-Acciones_correctivas_y_preventivas

<http://www.redalyc.org/pdf/849/84903579.pdf>

<http://www.e-medida.es/documentos/Numero-1/exactitud-no-es-lo-mismo-que-precision.htm>

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

<http://www.asqnogales.org/Presentaciones/MSA.pdf>

<http://www.icicm.com/files/CurAMEF.pdf>

<https://www.minitab.com/es-mx/Published-Articles/C%C3%B3mo-dise%C3%B1ar,-analizar-e-interpretar-los-resultados-de-un-estudio-R-R-ampliado-del-sistema-de-medici%C3%B3n/>