

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Escuela de Posgrado



**ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA PARA REDUCIR EL
TIEMPO TOTAL DE EJECUCIÓN DE LA VERIFICACIÓN DE MEDIDORES
INDUSTRIALES PARA GAS NATURAL MANTENIENDO LA CONFIABILIDAD
DE LOS RESULTADOS UTILIZANDO CIENCIA DE DATOS PARA LA
IMPLEMENTACIÓN POSTERIOR DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en
Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones que presenta:

Pedro Manuel Francia Ramírez

Asesor:

Ing. José Alan Rau Alvarez

Lima, 2024

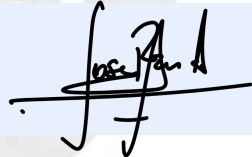
Informe de Similitud

Yo, José Alan Rau Alvarez, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) Análisis, Diagnóstico y Propuesta de Mejora para Reducir el Tiempo Total de Ejecución de la verificación de medidores industriales para Gas Natural manteniendo la confiabilidad de los resultados utilizando ciencia de datos para la implementación posterior de inteligencia artificial , de el autor Pedro Manuel Francia Ramírez, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 20%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 29/11/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 06 de enero del 2025.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>RAU ALVAREZ, JOSÉ ALAN</u>	
DNI: 07602255	Firma
ORCID: 0000-0003-0928-3994	

RESUMEN

El método acreditado y utilizado para la verificación de medidores industriales para gas natural es un procedimiento de comparación entre un medidor patrón y el medidor que se instalará en una estación de gas natural, la comparación se realiza en un rango de caudales a la cual funcionará el medidor y por cada caudal el método acreditado ejecuta tres repeticiones, las repeticiones en caudales menores pueden tomar un tiempo de ejecución de 2 a 3 horas, se ha visualizado que los resultados de las repeticiones en la mayoría de casos son aproximados es decir comparando los resultados de la primera y segunda repetición en algunos casos la diferencia es en centésimas y cuando se realiza la tercera repetición la diferencia sigue siendo en centésimas, en algunos casos el tiempo total realizando las tres repeticiones suman entre 6 y 9 horas lo cual es casi un día de trabajo y/o jornal, además de gastos de recursos humanos, recursos de infraestructura y de costos operativos.

Utilizando como referencia los datos registrados de las verificaciones realizadas en el periodo 2021 hasta el 2024 hemos desarrollado un método con el cual primero aplicando el cálculo del estadístico de comparación de dos grupos nos permite sustentar que el resultado de dos repeticiones durante la verificación son equivalentes al resultado obtenido con tres repeticiones, ya conociendo que podemos utilizar estadísticamente dos repeticiones hemos aplicado una segunda parte al método desarrollando un programa en Python que es una herramienta de inteligencia artificial para calcular si cada punto de verificación está dentro del rango aceptable y que calcule además si las dos repeticiones cumplen el criterio de aceptación lo cual quiere decir que sin cambiar la confiabilidad de los datos reduciremos en 33% de tiempo total de ejecución del servicio de verificación.

Se ha realizado el cálculo del TIR y el VAN para los años 2025, 2026 y 2027 de lo cual el resultado del VAN es de \$/21,360 dólares lo cual quiere decir que por año está rindiendo \$/7,120 y el valor del TIR es 59% lo cual es mayor comparado con el costo de oportunidad que es 10% lo cual concluye que el proyecto es rentable.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
INDICE DE CONTENIDO _____	ivv
LISTA DE TABLAS _____	vii
LISTA DE FIGURAS _____	vii
INTRODUCCIÓN _____	1
1.1 Investigaciones previas. _____	3
1.2 Conceptos y definiciones. _____	4
1.3 Herramientas de adquisición de datos, análisis de procesos y herramientas para el método propuesto. _____	10
CAPÍTULO 2 – DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA _____	13
2.1. Giro del negocio. _____	13
2.2. Organigrama _____	13
2.3. Proceso de Verificación _____	15
2.4. Indicador del tiempo en el cual se ejecuta la verificación _____	16
CAPÍTULO 3 – ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO _____	18
3.1. Justificación de la tesis _____	18
3.2. Identificación de problemas en la verificación de medidores industriales _____	18
3.3. Selección y Análisis de la causa raíz del problema crítico _____	19
CAPÍTULO 4 – PROPUESTA DEL MÉTODO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE VERIFICACIÓN _____	25
4.1. Método propuesto integrando dos etapas _____	25
4.2. Desarrollo de la propuesta de tesis _____	30
4.2.1. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°207-2024: _____	30
4.2.2. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°206-2024: _____	34
4.2.3. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°198-2024: _____	37
4.2.4. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°187-2024: _____	40
4.2.5. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°186-2024: _____	43
4.2.6. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°002-2023: _____	46
4.2.7. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°003-2023: _____	49
4.2.8. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°004-2023: _____	51
4.2.9. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°005-2023: _____	55
4.2.10. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°010-2023: _____	58
4.2.11. Aplicación de la ETAPA 2 a los resultados de las Verificaciones del periodo 2023 y 2024 _____	61

CAPÍTULO 5 – EVALUACIÓN ECONÓMICA	64
5.1. Inversión.	64
5.2. Ahorro	65
5.3. Costos de la propuesta	68
5.4. Tabla de flujo de caja para determinar los indicadores del TIR y elVAN	69
CAPÍTULO 6 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6.1. Conclusiones	70
6.2. Recomendaciones	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Proceso de la Verificación de medidores de uso industrial para gas.....	16
Tabla 2 Indicador de tiempo total del servicio de verificación.....	17
Tabla 3 Análisis de causas y medidas a tomar.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4 Registro de verificaciones realizadas desde el 2021 al 2024	30
Tabla 5 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-207-2024.....	30
Tabla 6 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-207-2024.....	31
Tabla 7 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-206-2024.....	34
Tabla 8 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-206-2024.....	34
Tabla 9 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-198-2024.....	37
Tabla 10 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-198-2024.....	37
Tabla 11 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-187-2024.....	40
Tabla 12 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-187-2024.....	40
Tabla 13 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-186-2024.....	43
Tabla 14 tabla de resultados con dos repeticiones para OS-186-2024.....	43
Tabla 15 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-002-2023.....	46
Tabla 16 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-002-2023.....	46
Tabla 17 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-003-2023.....	49
Tabla 18 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-003-2023.....	49
Tabla 19 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-004-2023.....	52
Tabla 20 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-003-2023.....	52
Tabla 21 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-005-2023.....	55
Tabla 22 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-005-2023.....	55
Tabla 23 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-010-2023.....	58
Tabla 24 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-010-2023.....	58
Tabla 25 Servicios de Verificaciones realizadas en el 2024.....	61
Tabla 26 Servicios de Verificaciones realizadas en el 2023.....	62
Tabla 27 Inversión Inicial	65
Tabla 28:Rango de tiempo en horas de las verificaciones en el 2024:.....	66
Tabla 29 Rango de tiempo en horas de las verificaciones en el 2023:.....	67
Tabla 30 Costos proyectados.....	68
Tabla 31 Calculo del TIR y el VAN.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema MACROGAS para verificar medidores de gas.	10
Figura 2 Diagrama de Ishikawa.....	11
Figura 3 Programa para optimizar el tiempo de ejecución de la verificación	12
Figura 4 Web con las cuatro unidades de negocio de GPI INDUSTRIAL EIRL.....	14
Figura 5 Organigrama del Organismo de Inspección	15
Figura 6 Procedimiento de verificación publicado en la web de INACAL	20
Figura 7 Renovación de la acreditación publicado en la web de INACAL.....	21
Figura 8 Ambiente del Organismo de Inspección.....	22
Figura 9 Materiales utilizados para la verificación de medidores.	22
Figura 10 Dos bancos para la verificación de medidores.....	23
Figura 11 Diagrama de Ishikawa identificado la causa raíz.....	24
Figura 12 Lógica de Actividades para la Comparación de dos grupos de datos.....	26
Figura 13 Lógica de actividades para la Comparación de dos repeticiones	29
Figura 14 Aplicación de MiniTab para OS-207-2024 con 3 repeticiones.....	32
Figura 15 Aplicación de MiniTab para OS-207-2024 con 2 repeticiones.....	32
Figura 16 Cálculo de T-Student para OS-207-2024.....	33
Figura 17 Aplicación de MiniTab para OS-206-2024 con 3 repeticiones.....	35
Figura 18 Aplicación de MiniTab para OS-206-2024 con 2 repeticiones.....	35
Figura 19 Cálculo de T-Student para OS-206-2024.....	36
Figura 20 Aplicación de MiniTab para OS-198-2024 con 3 repeticiones.....	38
Figura 21 Aplicación de MiniTab para OS-198-2024 con 2 repeticiones.....	38
Figura 22 Cálculo de Mann-Whitney para OS-198-2024.....	39
Figura 23 Aplicación de MiniTab para OS-187-2024 con 3 repeticiones.....	41
Figura 24 Aplicación de MiniTab para OS-187-2024 con 2 repeticiones.....	41
Figura 25 Cálculo de T-Student para OS-187-2024.....	42
Figura 26 Aplicación de MiniTab para OS-186-2024 con 3 repeticiones.....	44
Figura 27 Aplicación de MiniTab para OS-186-2024 con 2 repeticiones.....	44
Figura 28 Cálculo de T-Student para OS-186-2024.....	44
Figura 29 Aplicación de MiniTab para OS-002-2023 con 3 repeticiones.....	47
Figura 30 Aplicación de MiniTab para OS-002-2023 con 2 repeticiones.....	47
Figura 31 Cálculo de T-Student para OS-002-2023.....	47
Figura 32 Aplicación de MiniTab para OS-003-2023 con 3 repeticiones.....	50
Figura 33 Aplicación de MiniTab para OS-003-2023 con 2 repeticiones.....	50
Figura 34 Cálculo de T-Student para OS-003-2023.....	51
Figura 35 Aplicación de MiniTab para OS-004-2023 con 3 repeticiones.....	53
Figura 36 Aplicación de MiniTab para OS-004-2023 con 2 repeticiones.....	53
Figura 37 Cálculo de T-Student para OS-004-2023.....	53
Figura 38 Aplicación de MiniTab para OS-005-2023 con 3 repeticiones.....	56
Figura 39 Aplicación de MiniTab para OS-005-2023 con 2 repeticiones.....	56
Figura 40 Cálculo de T-Student para OS-005-2023.....	57
Figura 41 Aplicación de MiniTab para OS-010-2023 con 3 repeticiones.....	59
Figura 42 Aplicación de MiniTab para OS-010-2023 con 2 repeticiones.....	59
Figura 43 Cálculo de T-Student para OS-010-2023.....	60

INTRODUCCIÓN

En el Boletín G-18 emitido por el Measurement Canada menciona los períodos de re-verificación para contadores ó medidores para gas, dispositivos auxiliares e instalaciones de medición y menciona que Polonia realiza verificaciones para un medidor tipo rotativo cada cinco años, para un medidor tipo turbina cada 5 y para un corrector de volumen cada 10 años, en el caso de Canadá realiza verificaciones para un medidor tipo rotativo cada 20 años, para un medidor tipo turbina cada 6 y para un corrector de volumen cada 5 años.

En el caso de España en la Orden ICT/155/2020, de 7 de febrero, se regula el control metrológico legal del Estado de determinados instrumentos de medida y realizan verificaciones para un medidor tipo rotativo cada 6 años, para un medidor tipo turbina cada 4 y para un corrector de volumen cada 4 años.

En Latinoamérica existen lineamientos para la verificación de los medidores industriales para gas natural mediante laboratorios de verificación los cuales utilizan las referencias de los periodos que aplican en los países que si desarrollan estas actividades.

En el Perú se utilizan medidores para consumo industrial de tecnología de pistones Rotativos y de tecnología de Turbinas pero no existe un plan de revisiones periódicas de medidores industriales para gas natural hasta el presente año 2024 es decir tenemos medidores industriales instalados desde el año 2006 y que siguen funcionando sin ninguna trazabilidad metrológica, es decir actualmente existen medidores instalados desde hace 18 años sin evaluar ó verificar metrológicamente y que garanticen que el medidor esté funcionando o midiendo de forma confiable.

A continuación, se describirá el contenido del Informe de Tesis:

En el primer capítulo se presenta el marco teórico en el cual presentamos la situación de la metrología, el marco legal, así como la referencia normativa, los conceptos, definiciones relacionados a la verificación de medidores para

gas natural en el Perú y finalmente se presentan las herramientas tecnológicas que se utilizan para dar el soporte a la tesis.

En el segundo capítulo se describe el giro del negocio, el organigrama del Organismo de Inspección en la cual se implementará la propuesta de mejora, se presenta el proceso de verificación y el indicador del tiempo que toma la ejecución de la verificación.

En el tercer capítulo se presenta el análisis, diagnóstico y utilizando la herramienta del Diagrama de Ishikawa detectamos la causa raíz del problema.

En el cuarto capítulo se presenta el método propuesto el cual tiene dos etapas, la primera etapa es la que analiza los registros de las verificaciones realizadas en el periodo desde el 2021 hasta el 2024 y en la segunda etapa presenta el desarrollo del valor del Criterio de aceptación para evaluar los resultados y aplicar el nuevo método que permitirá optimizar el tiempo en la ejecución de la verificación de medidores para gas.

En el quinto capítulo se presenta la evaluación económica para la implementación del método propuesto.

Finalmente, en el último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1 – MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presentan las investigaciones previas al estudio, luego los conceptos, definiciones y finalmente las herramientas de análisis de procesos y técnicas para la propuesta de mejora.

1.1 Investigaciones previas.

(2018) Se publica la Resolución Directoral N°005-2018-INACAL/DM en el Diario El Peruano en la cual se menciona que las Unidades de Verificación Metrológicas autorizadas por la Dirección de Metrología de INACAL, realizarán la verificación posterior de los medidores de agua, medidores de energía eléctrica y medidores de gas, teniendo en cuenta las limitaciones y observaciones que establecen las disposiciones vigentes emitidas por los organismos reguladores pertinentes

(2021) INACAL publicó en su web la acreditación y reconoció como Organismo de Inspección de medidores industriales para gas natural a la empresa Gestión de Proyectos de Ingeniería Industrial EIRL (GPI INDUSTRIAL EIRL) el cual hasta la fecha 2024 es el único laboratorio que realiza este servicio en el Perú.

(2024) INACAL publicó en su web que desde el 05 de Julio del 2024 en el Alcance de Acreditación del Organismo de Inspección renovado a la empresa Gestión de Proyectos de Ingeniería Industrial EIRL (GPI INDUSTRIAL EIRL) se especifica que el documento normativo de referencia para la Verificación de medidores para gas es la Norma Metrológica Peruana NMP 016:2012 el cual contiene los requisitos metrológicos, técnicos, controles metrológicos y ensayos de funcionamiento que deben cumplir los medidores a verificarse, la verificación de medidores de gas es una actividad que consiste básicamente en verificar el error propio que tiene cada medidor de gas al momento de contabilizar el volumen de gas que pasa por este. En este mismo alcance ubicado en la web de INACAL especifica que el método ó procedimiento acreditado para la verificación de medidores industriales para gas natural es el GPI-PO-24 Ver.07, la verificación es realizada a través de la comparación directa del volumen registrado por el medidor de gas a verificar con el volumen

registrado por un medidor de gas patrón a una misma referencia termodinámica, para ello es necesario realizar mediciones de presión y temperatura.

1.2 Conceptos y definiciones.

(2012) INACAL publica NMP 016:2012 Medidores de Gas. Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos. Parte 2: Controles metrológicos y ensayos de funcionamiento la cual define los siguientes conceptos y definiciones:

Instrumento de medición

Dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.

Aprobación de modelo

Decisión de alcance legal, basada en la revisión del informe de evaluación de modelo, según la cual el tipo de instrumento de medición cumple con los requisitos reglamentarios aplicables y que conduce a la emisión del certificado de aprobación de modelo.

Verificación de un instrumento de medición

Procedimiento (distinto al de aprobación de modelo), que incluye el examen y marcado y / o la emisión de un certificado de verificación, que comprueba y confirma que el instrumento de medición cumple con los requisitos legales.

Verificación inicial

Verificación de un instrumento de medición que no ha sido verificado previamente.

Verificación posterior

Verificación de un instrumento de medición que se realiza después de una verificación anterior.

Nota 1

La verificación posterior incluye:

Verificación periódica obligatoria. Verificación después de la reparación.

Verificación voluntaria.

Nota 2

La verificación posterior de un instrumento de medición puede realizarse antes del vencimiento del período de validez de una verificación anterior, ya sea a solicitud del usuario (propietario) o cuando su verificación ha sido declarada vencida.

Patrón de medición

Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medición asociada, tomada como referencia.

Contador de desplazamiento rotativo (contador DR)

Contador de volumen de gas en el cual se forma un compartimento rígido de medida entre las paredes de una cámara inmóvil y el elemento o elementos rotativos. Cada ciclo de rotación de dicho elemento(s) desplaza un volumen fijo de gas que es registrado de forma acumulativa e indicado por un dispositivo indicador.

Contador de gas de turbina

Dispositivo de medición en el cual las fuerzas dinámicas del gas que fluyen causan el giro de un rotor de turbina con una velocidad que está en función del caudal volumétrico. El número de revoluciones del rotor de la turbina es la base para la indicación del volumen que pasa a través del contador.

Incertidumbre de medición

Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

Error (de medición)

Valor medido de una magnitud menos un valor de referencia.

Error máximo permitido

Valor extremo del error de medición, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medición dado.

Medidor de gas

Instrumento destinado a medir, memorizar y visualizar la cantidad de gas que pasa por el sensor de flujo.

Medidor de volumen de gas

Instrumento de medición que opera continuamente por el cual la cantidad de gas que pasó durante la operación de medición es medida directa o indirectamente e indicada en unidades de volumen.

Medidor de gas de membranas deformables (diafragma)

Contador de volumen de gas en el que el volumen de gas se mide mediante cámaras de medida con paredes deformables.

Error medio ponderado

El error medio ponderado (WME) dentro del alcance de la presente Recomendación está definido como:

$$WME = \frac{\sum_{i=1}^n k_i E_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$$

Con

$$k_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \quad \text{para } Q_i \leq 0.7Q_{\max}$$

$$k_i = 1.4 - \frac{Q_i}{Q_{\max}} \quad \text{para } 0.7Q_{\max} \leq Q_i < Q_{\max}$$

k_i = factor de ponderación al caudal Q_i E_i = el error al caudal Q_i

Q_{\max} = caudal máximo

Error intrínseco

Error determinado en las condiciones de referencia.

Clase de exactitud

Clase de instrumentos o sistemas de medición que satisfacen determinados requisitos metrológicos destinados a mantener los errores de medición o las

incertidumbres instrumentales dentro de límites especificados bajo condiciones de funcionamiento dadas

NOTA 1 Una clase de exactitud habitualmente se indica mediante un número o un símbolo adoptado por convención.

NOTA 2 El concepto de clase de exactitud es aplicable a las medidas materializadas.

Condiciones de referencia

Conjunto de valores de referencia, o alcances de referencia de las magnitudes de influencia, prescritos para los ensayos de funcionamiento de un medidor de gas o para la intercomparación de los resultados de las mediciones.

Condiciones base

Condiciones a las cuales se convierte el volumen medido de gas (ejemplos, temperatura base y presión base).

Nota: Las condiciones de operación y base se relacionan solamente con el volumen de gas a medir o indicar y no deberían confundirse con las “condiciones nominales de operación” y las “condiciones de referencia” (VIM 4.9 y 4.11) las cuales se refieren a las magnitudes de influencia.

Caudal

Cociente de la cantidad real de gas que pasa por el medidor de gas y el tiempo que esta cantidad tarda en pasar por el medidor de gas.

Intervalo de medición

Conjunto de los valores de magnitudes de la misma naturaleza que un instrumento o sistema de medición dado puede medir con una incertidumbre instrumental especificada bajo determinadas condiciones.

Nota 1 - En ciertos ámbitos se utiliza los términos “rango de medición” o “rango de medida”. Nota 2 - No debe confundirse el límite inferior de un intervalo de medición con el límite de detección de dicho instrumento.

Caudal Máximo, $Q_{m\acute{a}x}$.

Caudal más alto al cual se requiere que opere un medidor de gas dentro de los límites de su error máximo permisible cuando se opera bajo sus condiciones nominales de operación.

Caudal Mínimo, $Q_{m\acute{i}n}$.

Caudal más bajo al cual se requiere que opere un medidor de gas dentro de los límites de su error máximo permisible cuando se opera bajo sus condiciones nominales de operación.

Caudal de transición, Q_t

Caudal que ocurre entre el caudal máximo $Q_{m\acute{a}x}$. y el caudal mínimo $Q_{m\acute{i}n}$. en el cual el alcance del caudal se divide en dos zonas, la “zona superior” y la “zona inferior”, cada una de las cuales se caracteriza por su propio error máximo permisible.

Nota: El caudal de transición en los medidores de tipo diafragma normalmente es declarado al 10% del $Q_{m\acute{a}x}$.

Temperatura de trabajo, t_w

Temperatura del gas a medir en el medidor de gas.

Temperaturas de trabajo mínima y máxima, $t_{m\acute{i}n}$ y $t_{m\acute{a}x}$

Temperatura mínima y máxima del gas que un medidor de gas puede resistir, bajo sus condiciones nominales de operación, sin el deterioro inaceptable de su desempeño metrológico.

Presión de trabajo, p_w

Presión del gas a medir en el medidor de gas.

Presión de trabajo mínima y máxima, $p_{m\acute{i}n}$ y $p_{m\acute{a}x}$

Presión interna mínima y máxima que un medidor de gas puede resistir, bajo sus condiciones nominales de operación, sin el deterioro de su desempeño metrológico.

Sellado

Medio destinado a proteger el instrumento de medición contra cualquier intervención no autorizada, reajuste, retiro de partes, modificación de software, etc.

Nota: Esto puede realizarse mediante hardware, software o una combinación de ambos.

Marca de verificación

Marca colocada en el instrumento de medición de manera visible que certifica que se ha realizado la verificación de este y que se ha constatado el cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

Nota: La marca de verificación puede identificar al organismo responsable de la verificación y/o indicar el año o la fecha de verificación o su fecha de vencimiento.

Certificado de verificación

Documento que certifica que se ha realizado la verificación de un instrumento de medición y que se ha constatado el cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

Verificación inicial

Verificación de un instrumento de medición que no ha sido verificado previamente.

Tamaño del medidor

El tamaño de un medidor es un dato que caracteriza el tamaño del medidor de gas y proviene del máximo caudal de trabajo admisible. La identificación está formada, por ejemplo, por la letra G (Größe, que significa tamaño en idioma alemán) seguida de un número. El intervalo de medición se encuentra definido por el Q_{min} y el Q_{max} según lo indicado en la aprobación de modelo.

Condiciones de operación

Condiciones del gas (temperatura, presión y composición del gas) en las cuales se mide la cantidad de gas.

Dinámica

Relación entre Q_{min} y Q_{max} , es decir, los caudales mínimo y máximo respectivamente entre los cuales el contador se comporta dentro de los errores máximos permitidos.

1.3 Herramientas de adquisición de datos, análisis de procesos y herramientas para el método propuesto:

La adquisición de datos se realiza desde los sensores de presión, temperatura, caudal y se presentan en la hoja cálculo en Excel, el sistema automatizado que realiza la adquisición de datos con lo cual se realiza la verificación de medidores es el sistema denominado MACROGAS, el sistema MACROGAS es un programa desarrollado en LabView, la presentación del MACROGAS se muestra en la Figura 1.

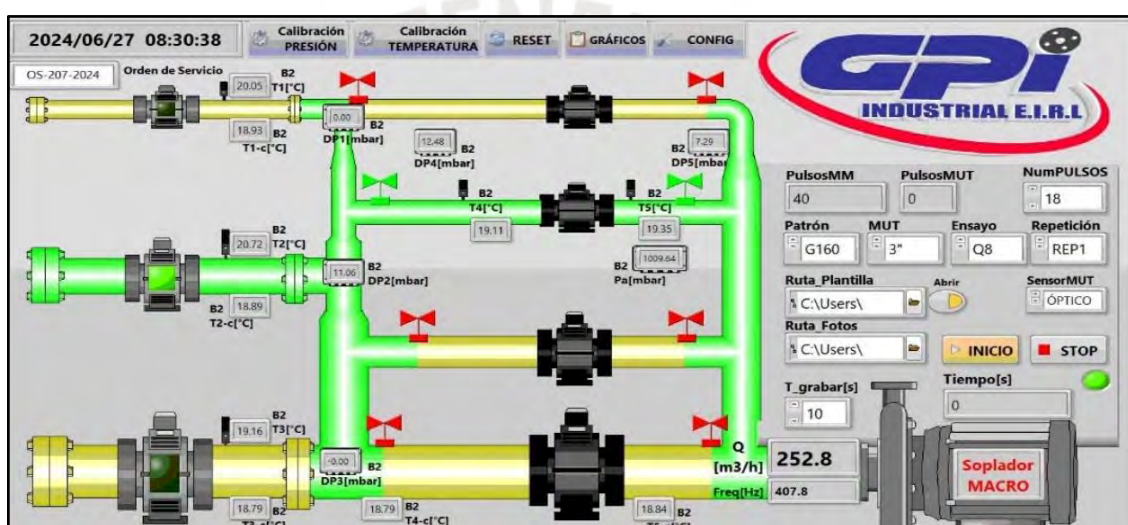


Figura 1: Sistema MACROGAS para verificar medidores de gas.
Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

(1943) Se crea el Diagrama de Ishikawa, este diagrama conocido para el análisis de problemas ó causa y efecto como el método de “La espina del pez” la hemos utilizado para analizar la causa del tiempo que demora todo el proceso de verificación de medidores de gas.

Para esta tesis utilizaremos el Diagrama de Ishikawa y el método de la 5M para la verificación de medidores: Método, Mano de Obra, Medio Ambiente, Materiales y Maquinaria.

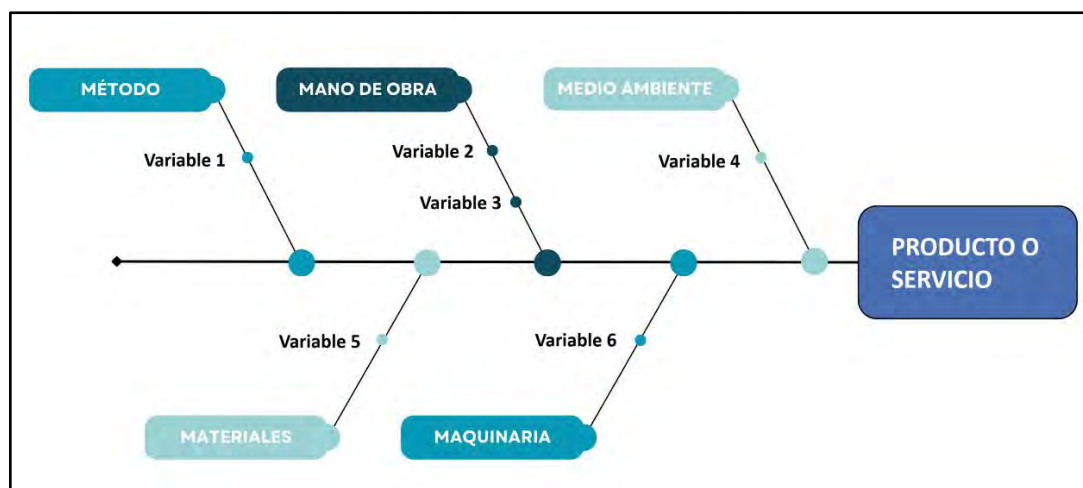



Figura 2 Diagrama de Ishikawa.
Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

(1989) Guido Van Rossum, un programador de computación de los Países Bajos, creó Python el cual es un lenguaje de código abierto para que cualquier persona pueda colaborar en su desarrollo o evolución.

(2015) Microsoft crea Visual Studio Code el cual es un editor de código fuente, en este editor hemos creado la lógica que se aplicará para la evaluación de los resultados de la verificación, toda esta lógica corre o se desarrolla en la plataforma Python. Para esta tesis hemos utilizado Python y Visual Studio Code como un programa con el cual evaluamos los resultados de la verificación de medidores de gas y logramos optimizar el tiempo de ejecución de la verificación. Presentamos el programa para optimizar el tiempo de ejecución de la verificación en la Figura 3:



```

1 import math
2 import pandas as pd
3
4 # pip install esoffcrypto
5 import esoffcrypto
6 import io
7
8 # Primer programa: Calcular valores de q=(e/n)
9
10 def calcular_n(q_max, q_min):
11     # Aplicar la fórmula  $n = 1 + 3 * \log(q_{max} / q_{min})$ 
12     n = 1 + 3 * math.log10(q_max / q_min)
13     # Redondear al entero más cercano
14     return round(n)
15
16 # Solicitar los datos al usuario
17 q_max = float(input("Ingresa el caudal máximo (Q_max): "))
18 q_min = float(input("Ingresa el caudal mínimo (Q_min): "))
19 no_serie = input("Ingresa el no. de serie del well: ")
20 archivo = input("Ingresa el nombre del archivo (con extensión): ")
21
22 def calcular_q(n):
23     # Lista para almacenar los valores de q
24     q_values = []
25     for i in range(1, n): # Ciclo desde 1 hasta n-1
26         # Calcular el valor de q usando la fórmula  $(10)^{(i-1)} * 25n$ 
27         qi = (math.pow(10, i/3))**(i - 1) * q_max
28         q_values.append(qi)
29     return q_values
30
31 # Calcular el valor de n
32 n = calcular_n(q_max, q_min)
33
34 # Calcular los valores de q y almacenarlos en una lista e invertir el orden
35 q_values = calcular_q(n)
36 q_values.append(q_min)
37

```

Figura 3 Programa para optimizar el tiempo de ejecución de la verificación
FUENTE: GPI INDUSTRIAL EIRL



CAPÍTULO 2 – DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

En este capítulo se presenta la organización de la empresa GPI INDUSTRIAL EIRL, se presenta la unidad de negocio que corresponde el Organismo de Inspección en el cual realizamos el proceso de verificación y el indicador del tiempo que se toma para ejecutar la verificación.

2.1. Giro del negocio.

(2021) El INACAL METROLOGÍA reconoce como Organismo de Inspección y el INACAL ACREDITACIÓN reconoce como Unidad de Verificación Metrológica a la empresa GPI INDUSTRIAL EIRL, la acreditación es la garantía que la infraestructura con la que cuenta el laboratorio es adecuada, que tiene la capacidad de controlar las condiciones ambientales en las áreas en la cual se encuentran los bancos de verificación y un factor muy importante es que tiene personal calificado, esto quiere decir que los datos y resultados obtenidos por el laboratorio son confiables.

2.2. Organigrama

(2021) GPI INDUSTRIAL EIRL presenta en su web www.gpi-industrial.com.pe que su organización tiene cuatro unidades de negocios relacionadas con el sector industrial de gas natural como se muestra en la Figura 4



Figura 4 Web con las cuatro unidades de negocio de GPI INDUSTRIAL EIRL
FUENTE: GPI INDUSTRIAL EIRL

Para el Organismo de Inspección la cual es el cuarta unidad de negocio es importante que cumplamos estrictamente con los requisitos de la NTP-ISO/IEC 17020:2012, el Organismo de Inspección está clasificado como TIPO A, debido a que mantiene la dependencia directa del mismo nivel superior de dirección, las actividades del Organismos de Inspección no están relacionadas al diseño, la fabricación, el suministro, la instalación, la compra, la posesión, la utilización o el mantenimiento de los medidores industriales para gas natural. Presentamos el organigrama del Organismo de Inspección en la Figura 5:

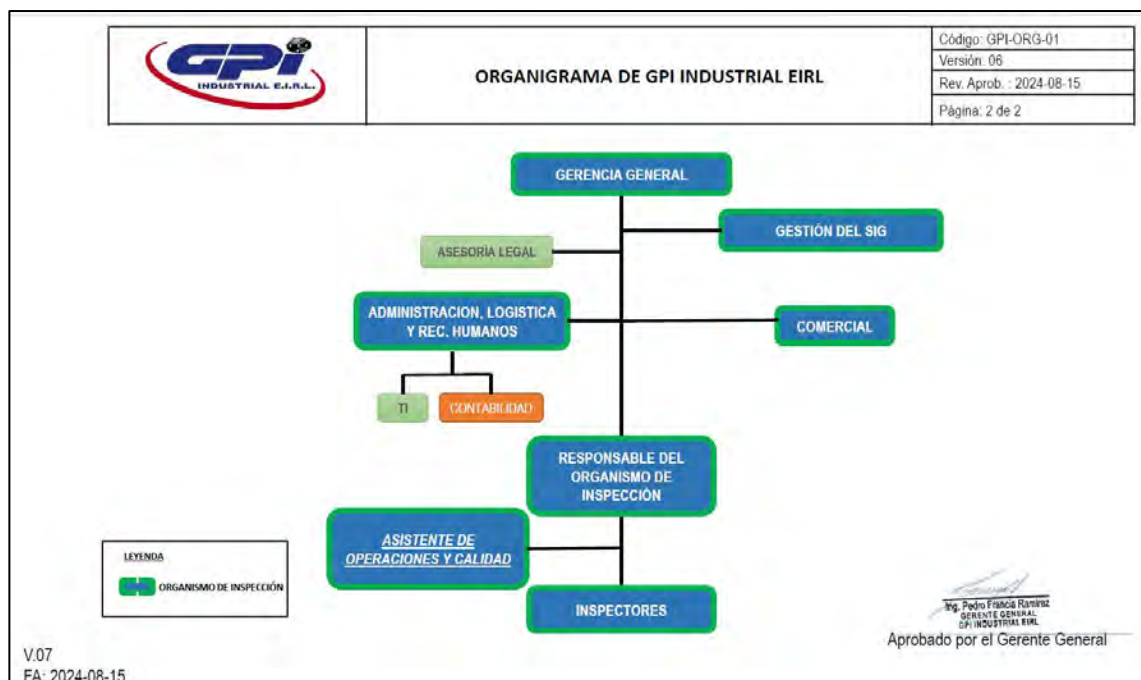


Figura 5 Organigrama del Organismo de Inspección
 FUENTE: GPI INDUSTRIAL EIRL

De la Figura 5 podemos visualizar que la tesis propuesta está enfocada en las **“funciones de los inspectores”**, específicamente en la ejecución de las verificaciones de medidores de gas de uso industrial.

2.3. Proceso de Verificación

El Organismos de Inspección al tener la acreditación cumple estrictamente con el Sistema de Gestión NTP-ISO/IEC-17020:2012 por lo cual es importante evidenciar cada paso de todo el servicio de verificación.

Para cumplir el servicio de verificación tenemos que cumplir todo el proceso de 17 pasos los cuales mostramos en la Tabla 2

Tabla 1 Proceso de la Verificación de medidores de uso industrial para gas

PASOS	RESPONSABLE	ITEM PO-23	SOPORTE
1	Responsable Comercial	6.1.2	GPI-FOR-112- Matriz Comercial
2	Responsable Comercial	6.1.3	GPI-PRO-07- Lista y Programa de Equipos
3	Responsable Comercial	6.1.4	GPI-PRG-23-Gestión de Compras
4	Responsable Comercial	6.1.5	GPI-FOR-111- Datos de medidor.
5	Responsable Comercial	6.2.1	GPI-FOR-92-Colización de servicios OI
6	Responsable Comercial	6.3.1	GPI-FOR-124- Control de pago para el servicio de verificación
7	Responsable Comercial	6.3.2	GPI-FOR-113-Orden de Servicio (PARTE I)
8	Inspector OI	6.4.2	GPI-FOR-120- Control de Ingreso de Medidor.
9	Inspector OI	6.4.5	GPI-FOR-11-Custodia y control de equipos en almacén
10	Responsable Comercial	6.4.6	GPI-FOR-90-Correlativos del servicio (PARTE I)
11	Inspector OI	6.5.1	GPI-PO-24- Procedimiento verificación de medidores de gas GPI-DL-05 Manual del Banco de Verificación
12	Inspector OI	6.5.2	GPI-FOR-91- Certificado de Inspección/ Verificación
13	Responsable del OI	6.6.1	GPI-PRO-08-Programa de Supervisión de la Inspección GPI-FOR-118 Supervisión del OI.
14	Inspector OI	6.7.1	GPI-FOR-90-Correlativos del servicio (PARTE II) GPI-FOR-113-Orden de Servicio (PARTE II)
15	Inspector OI	6.7.2	GPI-FOR-11-Custodia y control de equipos en almacén
16	Inspector OI /Responsable Comercial	6.7.3	GPI-FOR-121-Control de salida de medidor.
17	Responsable Comercial	6.7.4	GPI-FOR-113-Orden de Servicio (PARTE III). GPI-FOR-90-Correlativos del servicio (PARTE III)

De la Tabla 1 podemos visualizar que en el paso 11 especifica aplicar el Procedimiento de Verificación de medidores de gas, en este paso el Inspector del OI ejecuta la verificación del medidor.

2.4. Indicador del tiempo en el cual se ejecuta la verificación.

Para realizar la verificación se tienen datos de entrada, estos datos son el caudal mínimo y el caudal máximo con lo cual el sistema MACROGAS aplica la NMP 016:2012 y calcula la cantidad de puntos que deben ser verificados y calcula los valores de los caudales a los que debe verificar, por ejemplo, vamos a describir el contenido de la Tabla 2

Tabla 2 Indicador de tiempo total del servicio de verificación

n	8							
		N°	Q	V1	V2	V _{ensayo} (m3)	Pulsos	t(min)
Qmax	Q8	1	160,00	7	11,2	11,2	12	5
	Q7	2	74,27	7	5,2	7,0	7	6
	Q6	3	34,47	7	2,5	7,0	7	14
	Q5	4	16,00	7	1,2	7,0	7	30
	Q4	5	7,43	4	0,6	4,0	4	40
	Q3	6	3,45	4	0,3	4,0	4	87
	Q2	7	1,60	1	0,2	1,0	1	75
Qmin	Q1	8	0,8	1	0,1	1,0	1	150
Tiempo que tarda una repetición								6,8 h
Tiempo que tardan tres repeticiones								20,4 h

De la Tabla 2 podemos describir que el medidor en este caso tiene un rango de 0.8m³/h hasta 160m³/h por lo tanto los datos de entrada son Caudal máximo: 160m³/h y el Caudal mínimo: 0.8m³/h, con estos datos el programa ejecuta la formulas especificadas en la NMP 016:2012 y tenemos que la cantidad de puntos a verificar que para este caso son 8 puntos y los cuales se muestran en forma descendente desde el Q8 hasta el Q1, la verificación se realiza a cada punto y se realiza tres veces o tres repeticiones, esto debido a que esa es la forma que el sistema MACROGAS ejecuta la verificación en cada punto, cada verificación ó prueba o repetición de cada punto dura 6,8 horas lo cual si debemos realizar tres veces o tres repeticiones el tiempo total para este caso es de 20,4 horas.

La propuesta de la tesis es que el programa Python realice una evaluación de los resultados de cada verificación y concluya si es o no necesaria realizar la tercera repetición optimizando el tiempo total de la verificación.

Para el caso de ejemplo de la Tabla 2 si el programa concluye que solo son necesarias dos repeticiones entonces el tiempo total de la verificación sería 13.6 horas, este tiempo ahorraría el 33.3% del tiempo total de la verificación de medidores de gas natural en caso se realizaran las tres repeticiones.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO

En este capítulo se presenta el análisis del problema, el diagnóstico y se presenta el método del Diagrama de Ishikawa con la cual detectamos la causa o raíz del problema.

3.1. Justificación de la tesis

El servicio de verificación es un conjunto de 17 pasos como se demostró en la Tabla 1, y en este cumplimiento se integran dos procesos:

- A) Proceso Comercial.
- B) Proceso Técnico.

Nuestro proceso comercial no tiene actividades que participan en la ejecución de la verificación a diferencia que en nuestro proceso técnico si tiene como una de sus actividades la ejecución de la verificación y es ese punto en el cual hemos realizado el análisis para optimizar el tiempo de ejecución de la verificación.

3.2. Identificación de problemas en la verificación de medidores industriales

En el proceso técnico específicamente en la ejecución de la verificación hemos identificado cinco problemas que detallamos a continuación:

- a) Tiempo de 24 horas para ejecutar la verificación de un medidor rotatorio.
- b) Tiempo de 5 horas para ejecutar la verificación de un medidor turbina.
- c) El sistema automatizado de verificación no tiene implementado una lógica o programa que complemente y que evalúe los resultados y determine si es necesaria más de dos verificaciones por cada caudal determinado.
- d) El procedimiento de verificación GPI-PO-24 Ver.07 aplicado debe realizar tres verificaciones en cada caudal determinado.
- e) Se pierde tiempo entre la finalización de la verificación 1 y el inicio de la verificación 2, de la misma forma entre la finalización de la verificación 2 y el inicio de la verificación 3.

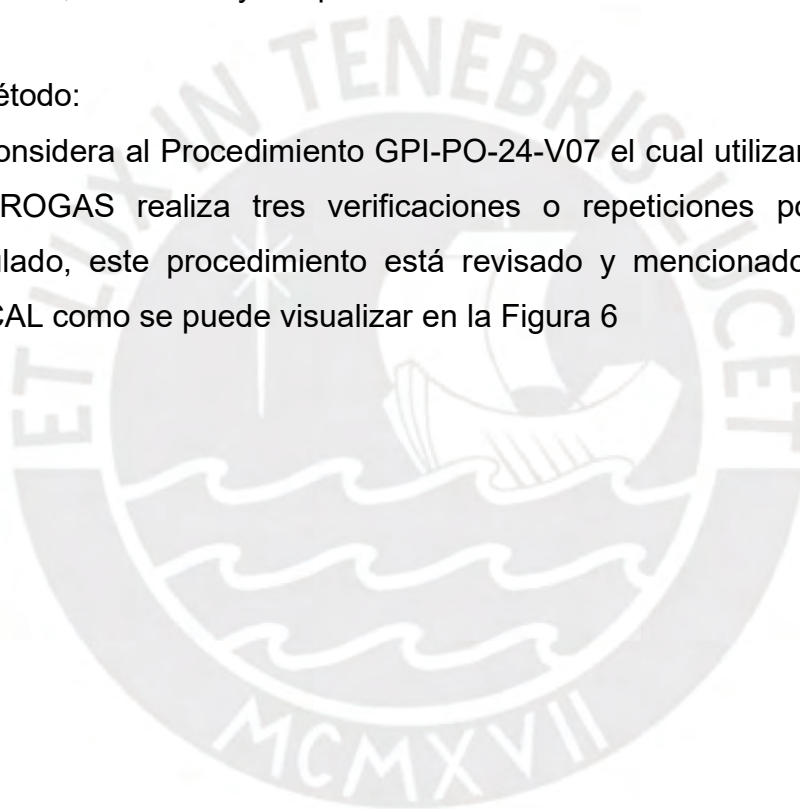
Podemos reconocer que los cinco problemas identificados tienen un común denominador que es el tiempo de ejecución y esto se debe al procedimiento GPI-PO-24 Ver.07 aplicado para la verificación de medidores industriales para gas natural.

3.3. Selección y Análisis de la causa raíz del problema crítico:

Utilizando el Diagrama de Ishikawa hemos analizado y aplicado dentro del proceso técnico el método de las 5M que son: **Método**, **Mano de Obra**, **Medio Ambiente**, **Materiales** y **Maquinaria**.

El Método:

Se considera al Procedimiento GPI-PO-24-V07 el cual utilizando el programa MACROGAS realiza tres verificaciones o repeticiones por cada caudal calculado, este procedimiento está revisado y mencionado en la web de INACAL como se puede visualizar en la Figura 6



ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN ORGANISMOS DE INSPECCIÓN

Actividades acreditadas como Organismo de Inspección Tipo "A1"

SECTOR: 26 FABRICACIÓN DE PRODUCTOS INFORMÁTICOS, ELECTRÓNICOS Y ÓPTICOS

SUBSECTOR: 26.51 FABRICACIÓN DE INSTRUMENTOS Y APARATOS DE MEDIDA, VERIFICACIÓN Y NAVEGACIÓN				
Nº	Producto / Proceso / Servicio/Instalación a inspeccionar	Actividad de Inspección	Método/ Procedimiento de Inspección	Documento Normativo
01	Medidores industriales de volumen de gas de tipo pistón rotativo con alcance de caudal de 0,5 m³/h a 1000 m³/h y Clase de exactitud 1,0 y 1,5	Verificación inicial, en laboratorio	GPI-PO-24 Ver. 07 Procedimiento de Verificación de Medidores de Gas	NMP 016:2012 MEDIDORES DE GAS Requisitos: 5.3.4 y 5.4
		Verificación posterior, en laboratorio	GPI-PO-24 Ver. 07 Procedimiento de Verificación de Medidores de Gas	NMP 016:2012 MEDIDORES DE GAS Requisitos: 5.3.4
02	Medidores industriales de volumen de gas de tipo turbina con alcance de caudal de 5 m³/h a 1000 m³/h y Clase de exactitud 1,0	Verificación inicial, en laboratorio	GPI-PO-24 Ver. 07 Procedimiento de Verificación de Medidores de Gas	NMP 016:2012 MEDIDORES DE GAS Requisitos: 5.3.4 y 5.4
		Verificación posterior, en laboratorio	GPI-PO-24 Ver. 07 Procedimiento de Verificación de Medidores de Gas	NMP 016:2012 MEDIDORES DE GAS Requisitos: 5.3.4

Figura 6 Procedimiento de verificación publicado en la web de INACAL.

Fuente: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2864800/2777391-82-gpi-2024-07-05.pdf?v=1720202860>

La Mano de obra:

Los inspectores que realizan las verificaciones tienen una formación constante y cada año son evaluados por un experto técnico durante la auditoría interna y por un segundo experto técnico durante la auditoría de seguimiento realizada por INACAL, el resultado de la auditoría de INACAL se muestra en la Figura 7

Certificado

INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL E.I.R.L. – GPI INDUSTRIAL E.I.R.L.

Organismo de Inspección Tipo "A"

En su sede ubicada en: Calle Fray Martín de Murua N° 150, int. 208, distrito de San Miguel, Provincia de Lima y departamento de Lima.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17020:2012 Evaluación de la conformidad. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección.

Facultándolo a emitir Informes y Certificados de Inspección con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-12F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 05 de julio de 2024
Fecha de Vencimiento: 04 de julio de 2028

Firmado por:
AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU 20600283015
soft
Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Fecha: 2024-07-09 18:21:29

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 09 de julio de 2024

Cédula N° : 00933-2024-INACAL/DA
Contrato de Acreditación N°027-2024/INACAL-DA
Registro N° : 01 - 082

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).



Figura 7 Renovación de la acreditación publicado en la web de INACAL

Fuente: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2864800/2777391-82-gpi-2024-07-05.pdf?v=1720202860>

Medio ambiente:

El laboratorio tiene un área de 45m² en la cual se controla la temperatura y humedad según el procedimiento acreditado GPI-PO-24-V07 como puede visualizarse en la Figura 8.

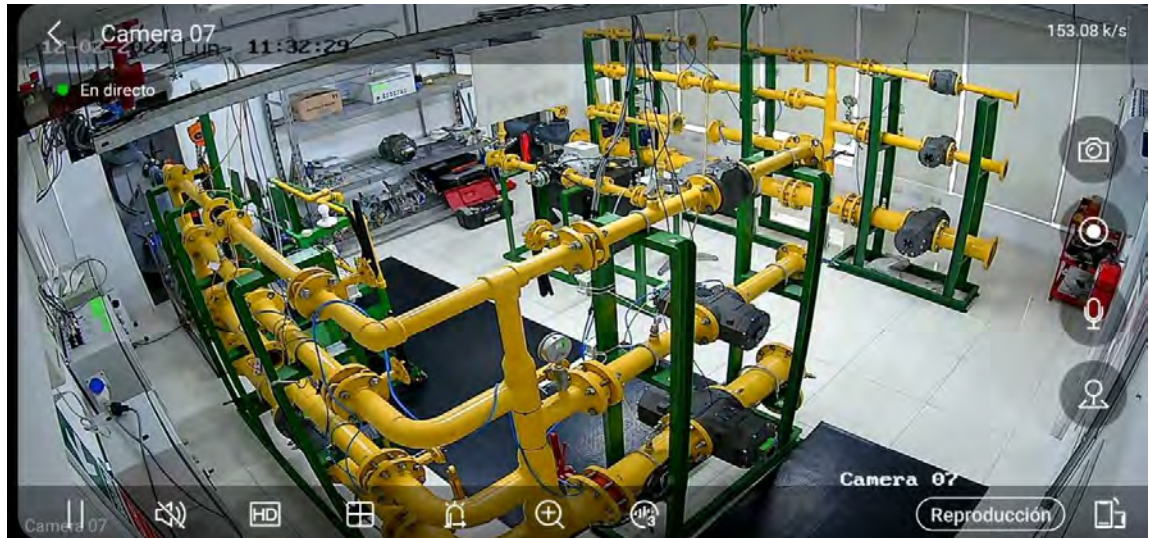


Figura 8 Ambiente del Organismo de Inspección
Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

Materiales:

El Organismo de Inspección tiene equipos eléctricos como son cuatro sopladores de aire el cual se configura o setea para cada caudal que se verificará, se tiene por cada banco de verificación 11 sensores de los cuales 5 sensores de presión, se tiene 1 de presión absoluta y 5 sensores de temperatura como se muestra en la Figura 9



Figura 9 Materiales utilizados para la verificación de medidores.

Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

Maquinaria

El Organismo de Inspección tiene dos bancos para la verificación de medidores los cuales son calibrados anualmente por INACAL, esta infraestructura garantiza que los resultados de las verificaciones sean confiables, se muestra en los dos bancos en la Figura 10



Figura 10 Dos bancos para la verificación de medidores.

Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

Con el análisis utilizando las 5M hemos elaborado el Diagrama de Ishikawa como se muestra en la Figura 11:

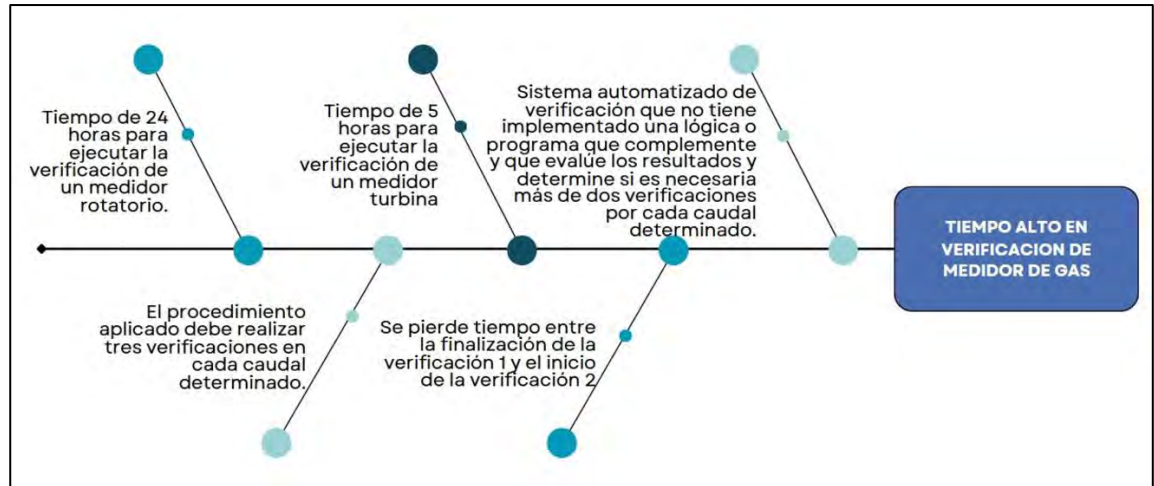


Figura 11 Diagrama de Ishikawa identificado la causa raíz

Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

Causa Raíz:

Se ha identificado que la causa raíz se encuentra en el Método quiere decir en el procedimiento GPI-PO-24-V07 el cual utilizamos para la verificación y determina realizar tres repeticiones en cada caudal a verificar.

La contramedida:

Utilizando el mismo procedimiento o método y sin cambiar la confiabilidad de los resultados logremos reducir el tiempo de ejecución de la verificación.

Presentamos el análisis de la causa raíz y las medidas a tomar en la Tabla 3

Tabla 3 Análisis de causas y medidas a tomar

CAUSA RAIZ	CONTRAMEDIDA	CIENCIA DE DATOS
El Método utilizado considera realizar tres repeticiones para cada caudal a verificar y los resultados de cada repetición tienen valores aproximados es decir difieren en centésimas	La contramedida es utilizar el mismo método que sin cambiar la confiabilidad de los resultados reduzca el tiempo de ejecución de la verificación lo cual permitirá reducir un 33% de tiempo total del servicio de verificación	Usando PYTHON se va a determinar si al realizar dos repeticiones se cumple con el criterio de aceptación establecido estadísticamente y así, poder prescindir de la tercera repetición

CAPÍTULO 4 – PROPUESTA DEL MÉTODO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE VERIFICACIÓN

En este capítulo se presenta el método para optimizar el tiempo de verificación de medidores, este método tiene dos etapas, en la primera etapa utilizamos los datos registrados de las verificaciones del periodo desde el 2021 hasta el 2024 y de la cuales hemos seleccionado 10 registros de verificaciones para aplicar el cálculo estadístico de la comparación de dos grupos con lo cual iniciaremos la segunda etapa, en la segunda etapa analizaremos los resultados y presentaremos el valor del criterio de aceptación con el cual podemos determinar la optimización del tiempo de ejecución de la verificación.

4.1. Método propuesto integrando dos etapas.

Para el Etapa 1 hemos analizado los datos de las verificaciones realizadas entre el periodo 2021 hasta el 2024 a los cuales hemos aplicado el método estadístico de comparación de dos grupos, el primer grupo contiene las tres repeticiones y el segundo grupo contiene solo dos repeticiones, ambos grupos tienen los mismos datos, luego realizamos el cálculo estadístico de comparación de dos grupos aplicando el programa Minitab con el objetivo de concluir si ambos grupos son iguales estadísticamente o no.

Para la Etapa 1 hemos elaborado una secuencia de pasos para realizar la comparación estadística de dos grupos, denominaremos a esta secuencia como la Lógica de actividades para la comparación de dos grupos de datos, como se muestra en la Figura 12

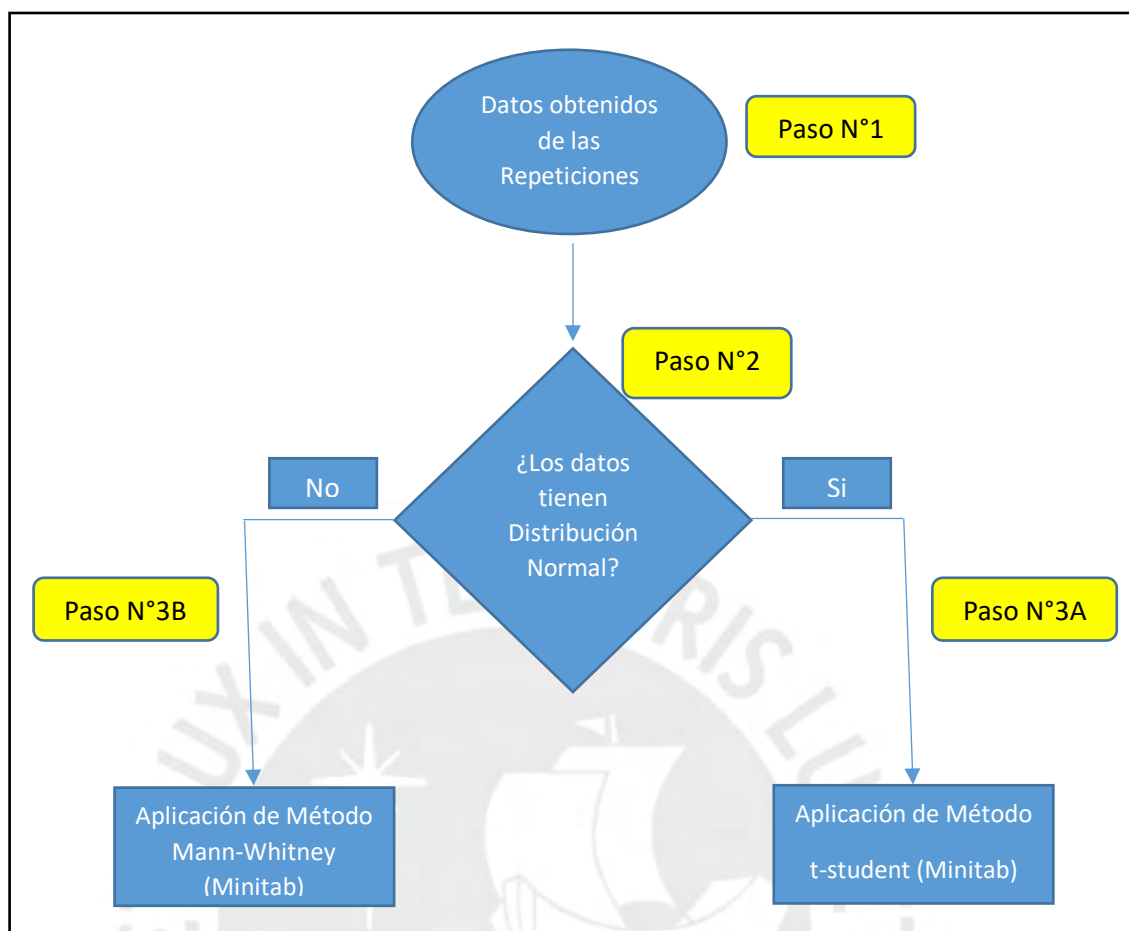


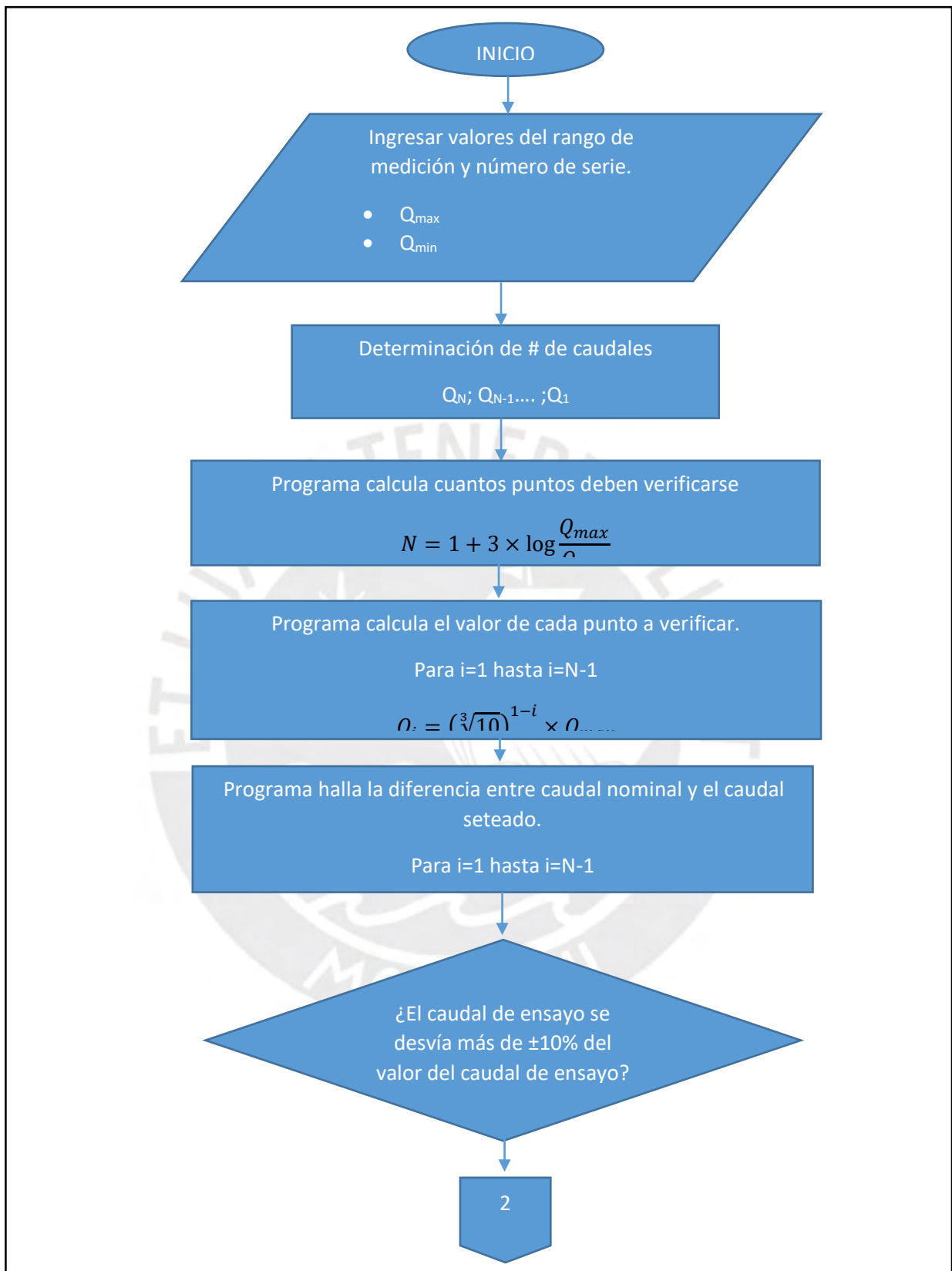
Figura 12 Lógica de Actividades para la Comparación de dos grupos de datos

Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

Para la Etapa 2 considerando que de la etapa 1 hemos determinado que ambos grupos son iguales estadísticamente entonces solo utilizaremos dos repeticiones es decir la primera y segunda repetición, de estas dos repeticiones vamos a determinar una diferencia promedio y a este valor le llamaremos Criterio de aceptación es decir si la diferencia entre la primera y segunda repetición es menor a $\frac{1}{4}$ del valor del Error Máximo Permitido (Norma Metroológica Peruana NMP 016:2012) entonces no será necesario realizar la tercera repetición caso contrario se debe realizar la tercera repetición, si no realizamos la tercera repetición estaremos ahorrando ese tiempo de ejecución equivalente a reducir en un 33% el tiempo total de ejecución del servicio de verificación en medidores industriales para gas natural.

Para la Etapa 2 hemos diseñado una lógica ó secuencia de actividades para la comparación entre los resultados de la repetición 1 y la repetición 2 lo cual hemos denominado “Lógica de actividades para la Comparación de dos repeticiones” como se muestra a continuación en la Figura 13:





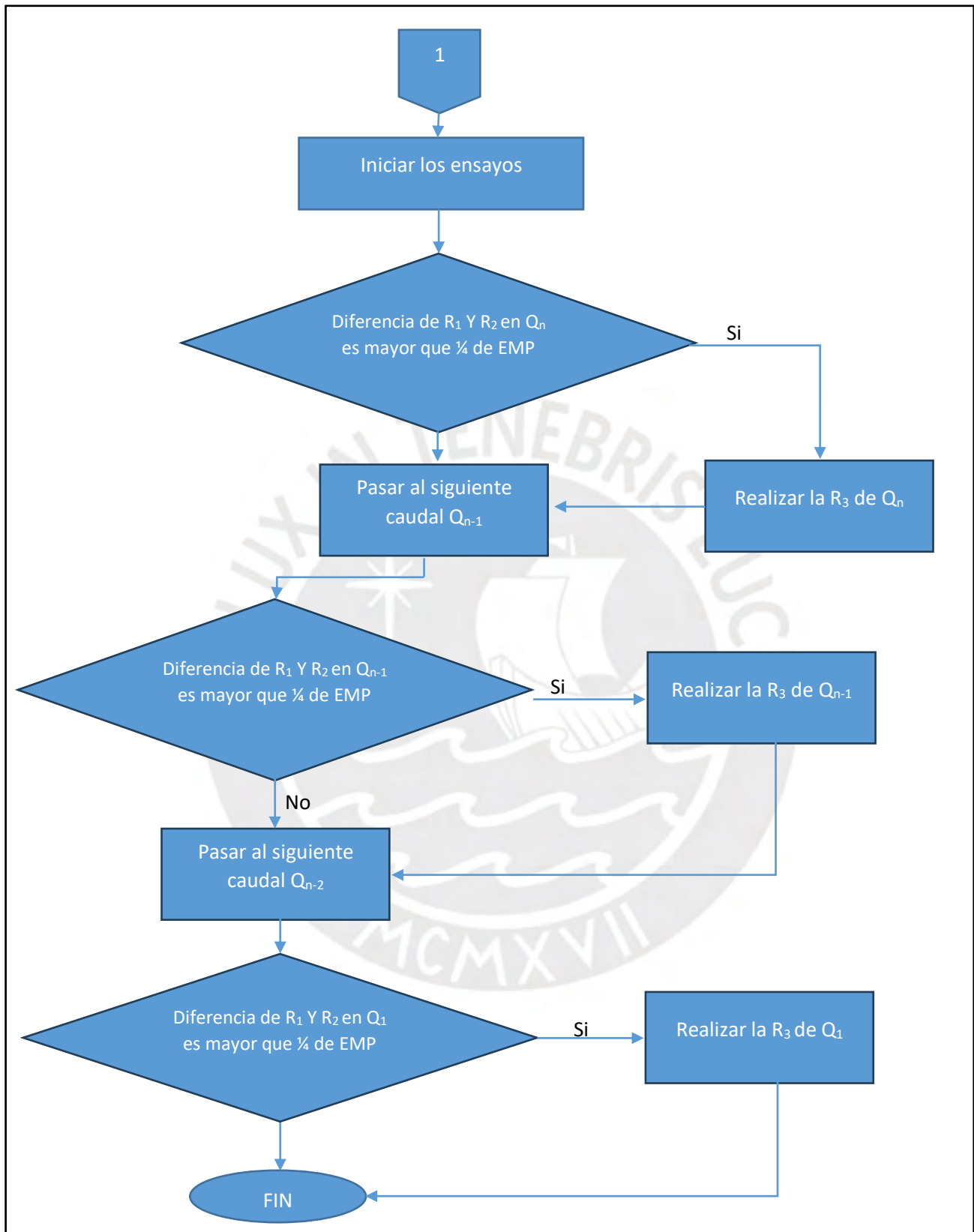


Figura 13 Lógica de actividades para la Comparación de dos repeticiones

Fuente: GPI INDUSTRIAL EIRL

4.2. Desarrollo de la propuesta de tesis:

Tenemos la siguiente población de datos es decir de registros de verificaciones realizadas en el Organismo de Inspección desde el inicio de operaciones en el 2021. A continuación, mostramos en la Tabla 4 la cantidad de Verificaciones realizadas por año:

Tabla 4 Registro de verificaciones realizadas desde el 2021 al 2024

AÑO	VERIFICACIÓN INICIAL	VERIFICACIÓN POSTERIOR	TOTAL
2021	41	1	42
2022	55	3	58
2023	104	2	106
2024	28	8	36

Se ha considerado cinco grupos de datos que corresponden a cinco verificaciones realizadas en el 2024 y cinco grupos de datos que corresponden a cinco verificaciones realizadas en el 2023, a estos 10 grupos hemos aplicado la Lógica de actividades para la comparación de dos grupos de datos que se menciona en la Etapa 1 del Método propuesto, obteniendo los siguientes resultados:

4.2.1. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°207-2024:

Trazabilidad: OS-207-2024

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2024 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 5 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 6 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 5 : Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-207-2024

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2	R3
1.68	-0.64	-0.40	-0.55	-0.96
2.46	-0.13	-0.05	-0.20	-0.15
5.44	-0.21	-0.18	-0.23	-0.21
11.56	-0.16	-0.13	-0.18	-0.16
24.93	-0.05	-0.03	-0.06	-0.06
54.12	-0.14	-0.14	-0.13	-0.15
116.18	0.18	0.19	0.18	0.18
248.11	0.59	0.57	0.59	0.62

Tabla 6 : Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-207-2024

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2
1.69	-0.48	-0.40	-0.55
2.46	-0.13	-0.05	-0.20
5.44	-0.21	-0.18	-0.23
11.56	-0.16	-0.13	-0.18
24.92	-0.05	-0.03	-0.06
54.11	-0.14	-0.14	-0.13
116.15	0.19	0.19	0.18
252.24	0.58	0.57	0.59

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 8, presentamos los resultados del grupo de tres repeticiones y en la Figura 9 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones

Figura 14 Aplicación de Minitab para OS-207-2024 con 3 repeticiones

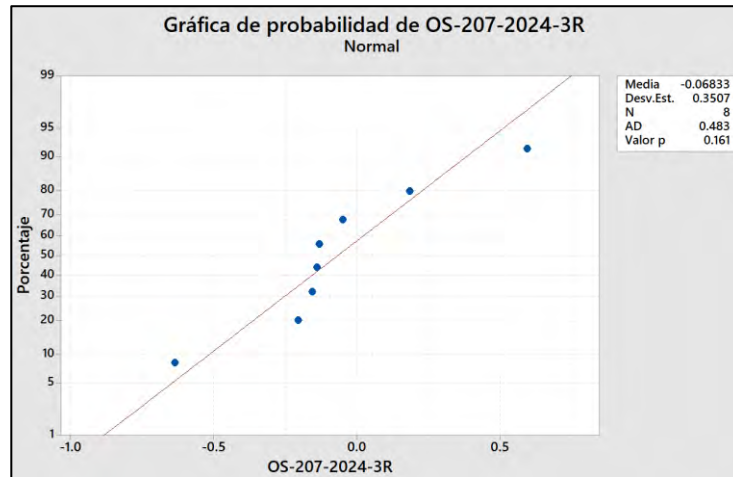
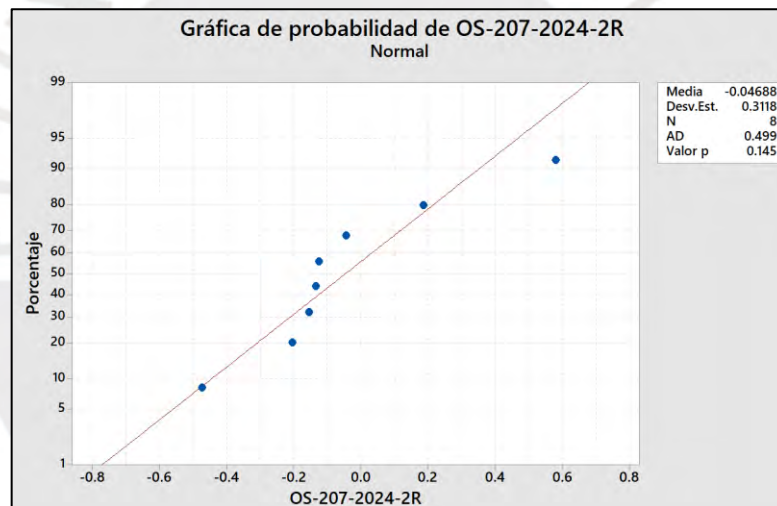
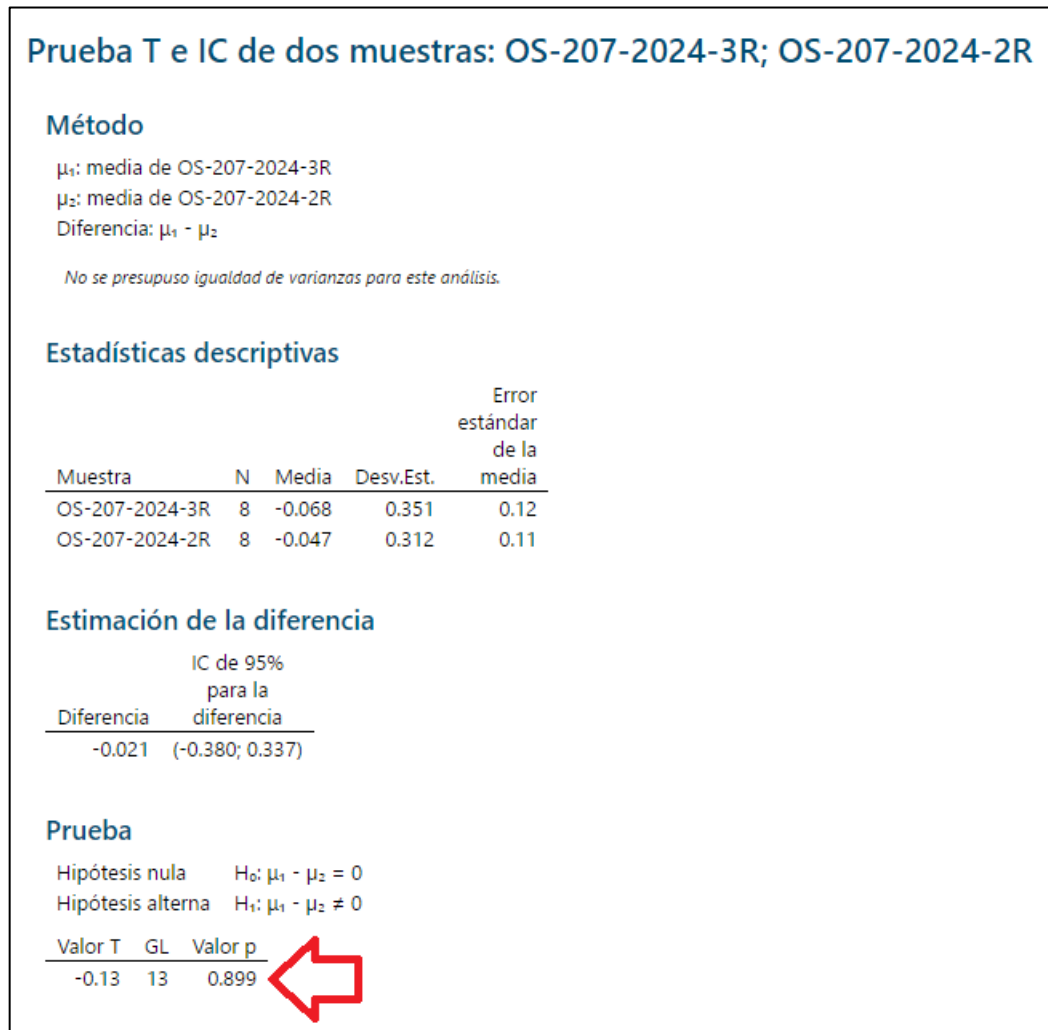


Figura 15 Aplicación de MiniTab para OS-207-2024 con 2 repeticiones

**Paso N°3:**

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 16:

Figura 16 Cálculo de T-Student para OS-207-2024

**Conclusiones:**

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.2. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°206-2024:

Trazabilidad: OS-206-2024

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2024 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 7 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 8 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 7 : Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-206-2024

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2	R3
1.64	-1.19	-1.16	-1.32	-1.10
2.54	-0.76	-0.74	-0.69	-0.84
5.37	-0.41	-0.40	-0.44	-0.38
11.64	-0.32	-0.34	-0.32	-0.31
25.03	0.02	0.03	0.01	0.02
53.97	0.06	0.06	0.04	0.07
116.19	0.42	0.44	0.41	0.41
251.76	0.44	0.42	0.44	0.45

Tabla 8 : Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-206-2024

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2
1.65	-1.24	-1.16	-1.32
2.54	-0.72	-0.74	-0.69
5.36	-0.42	-0.40	-0.44
11.64	-0.33	-0.34	-0.32
25.03	0.02	0.03	0.01
53.98	0.05	0.06	0.04
116.20	0.43	0.44	0.41
251.99	0.43	0.42	0.44

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 17, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 18 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones

Figura 17 Aplicación de MiniTab para OS-206-2024 con 3 repeticiones

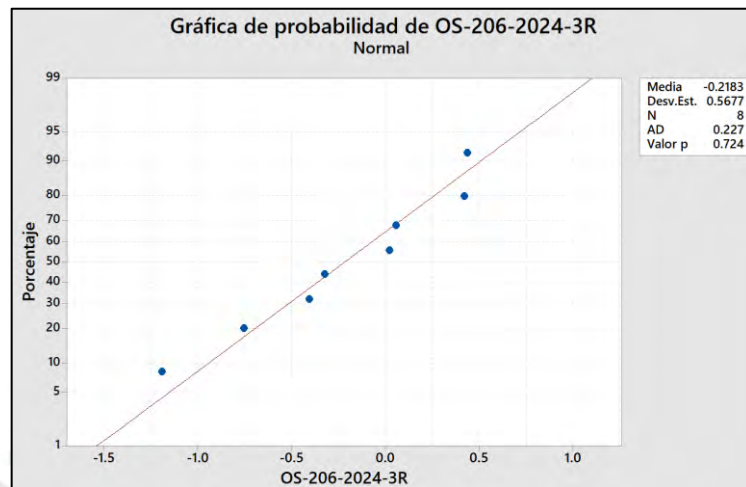
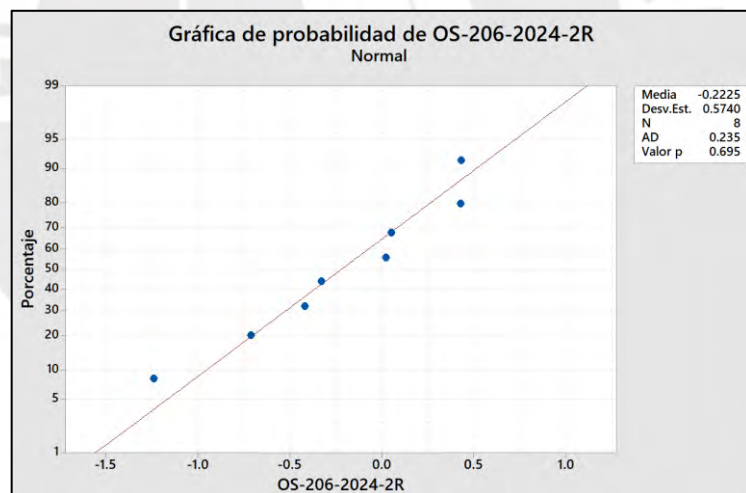


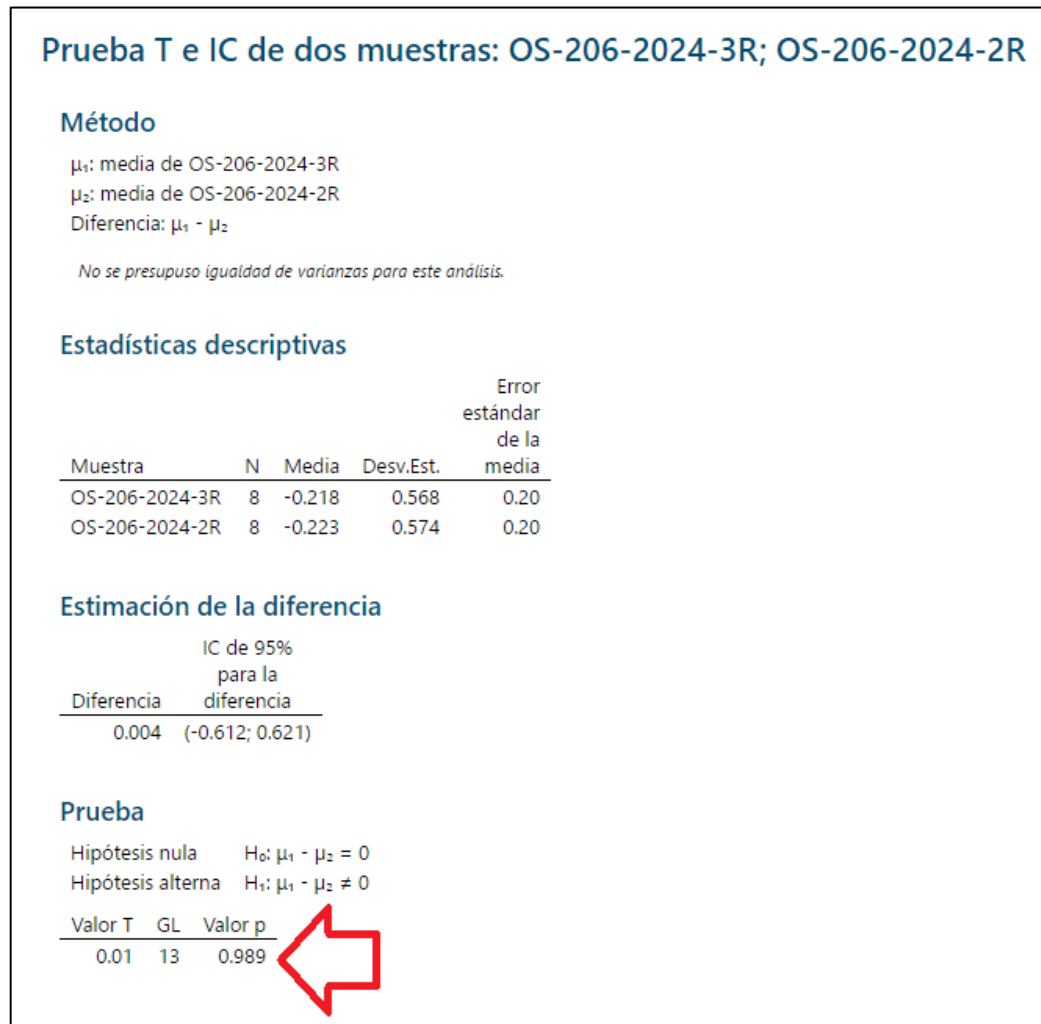
Figura 18 Aplicación de MiniTab para OS-206-2024 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 19

Figura 19 Cálculo de T-Student para OS-206-2024



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.3. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°198-2024:

Trazabilidad: OS-198-2024

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2024 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 9 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 10 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 9 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-198-2024

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2	R3
0.82	-1.52	-1.59	-1.50	-1.48
1.62	-0.73	-0.86	-0.85	-0.47
3.44	0.14	0.22	0.14	0.05
7.49	0.05	0.00	0.04	0.11
16.03	0.09	0.15	0.20	-0.09
34.92	0.14	0.11	0.15	0.16
74.57	0.29	0.33	0.20	0.33
159.88	0.44	0.46	0.42	0.44

Tabla 10 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-198-2024

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2
0.82	-1.55	-1.59	-1.50
1.62	-0.86	-0.86	-0.85
3.44	0.18	0.22	0.14
7.48	0.02	0.00	0.04
16.04	0.18	0.15	0.20
34.90	0.13	0.11	0.15
74.59	0.27	0.33	0.20
159.88	0.44	0.46	0.42

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 20, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 21 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones

Figura 20 Aplicación de MiniTab para OS-198-2024 con 3 repeticiones

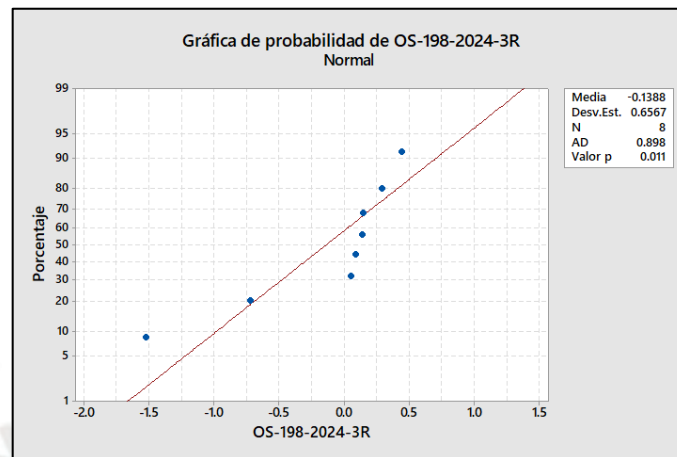
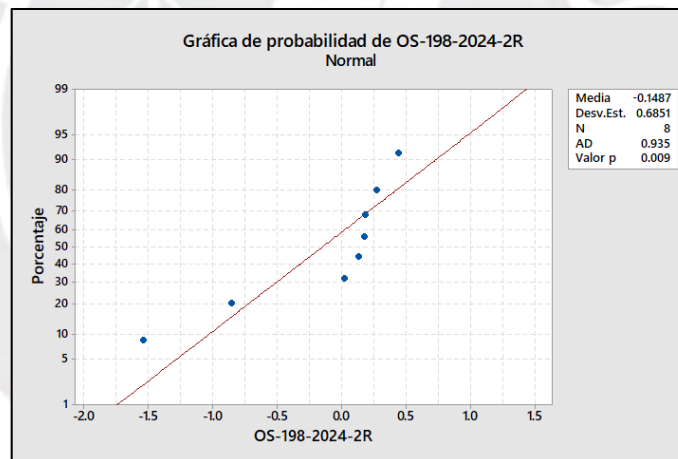


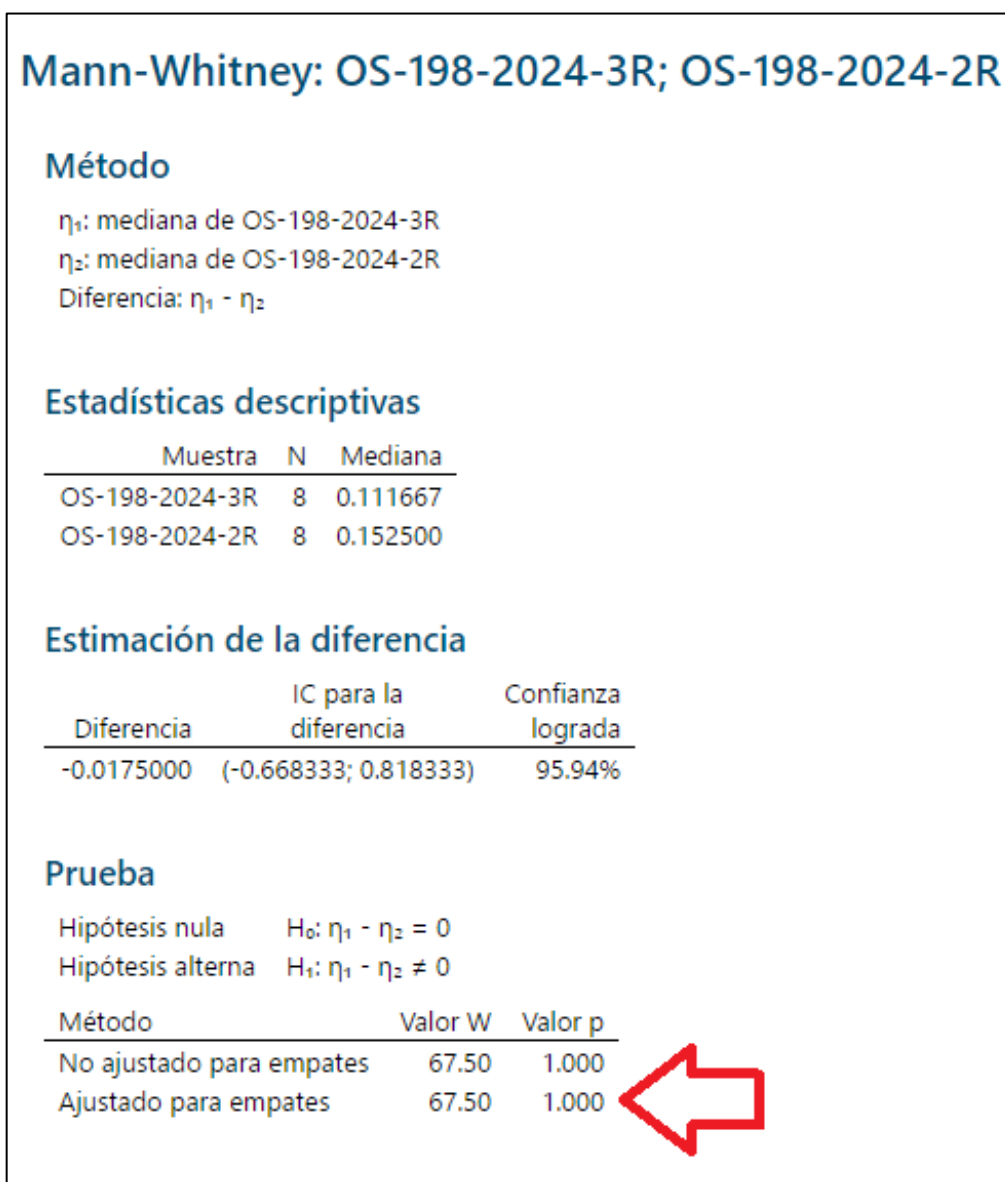
Figura 21 Aplicación de MiniTab para OS-198-2024 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos “No tienen distribución normal” entonces calculamos el estadístico “Mann-Whitney”, presentamos el resultado en la Figura 22

Figura 22 Cálculo de Mann-Whitney para OS-198-2024



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.4. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°187-2024:

Trazabilidad: OS-187-2024

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2024 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 11 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 12 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 11 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-187-2024

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2	R3
0.54	-0.92	-0.98	-0.90	-0.89
1.44	-0.25	-0.30	-0.24	-0.20
2.95	-0.47	-0.52	-0.49	-0.41
6.47	-0.18	-0.19	-0.18	-0.17
14.06	0.66	0.66	0.66	0.65
30.41	0.59	0.60	0.58	0.58
65.09	0.26	0.28	0.26	0.25

Tabla 12 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-187-2024

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2
0.54	-0.94	-0.98	-0.90
1.42	-0.27	-0.30	-0.24
2.99	-0.51	-0.52	-0.49
6.48	-0.19	-0.19	-0.18
14.07	0.66	0.66	0.66
30.45	0.59	0.60	0.58
65.11	0.27	0.28	0.26

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 23, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 24 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones

Figura 23 Aplicación de MiniTab para OS-187-2024 con 3 repeticiones

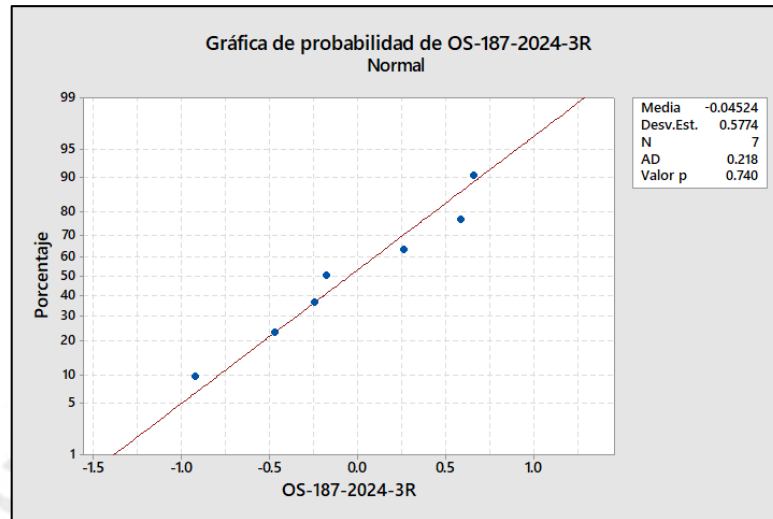
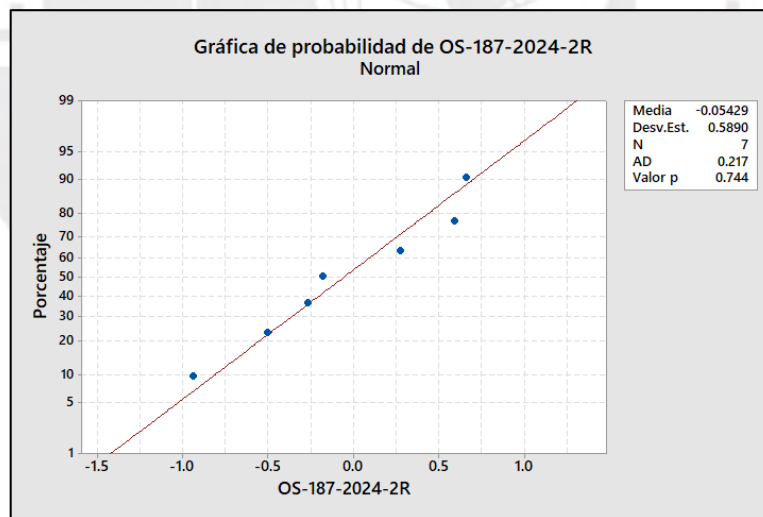


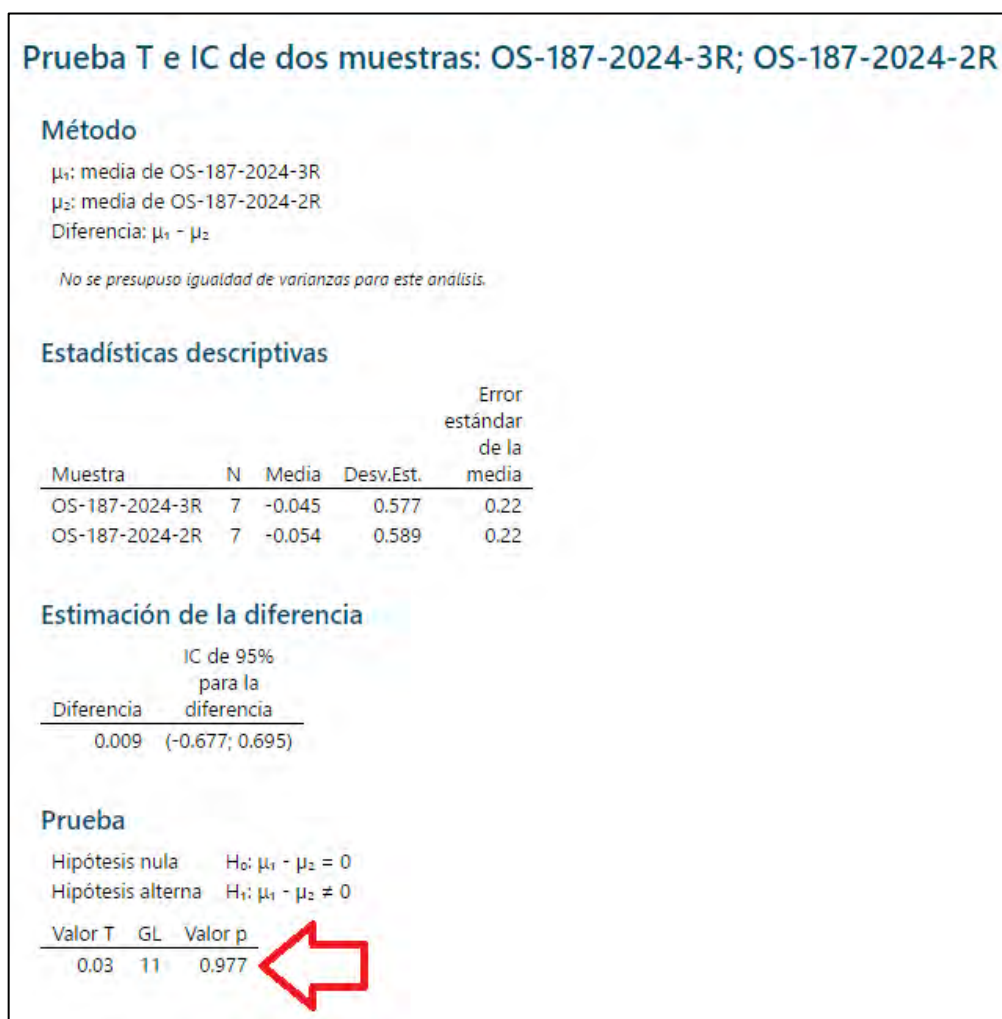
Figura 24 Aplicación de MiniTab para OS-187-2024 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 25

Figura 25 Cálculo de T-Student para OS-187-2024



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.5. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°186-2024:

Trazabilidad: OS-186-2024

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2024 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 13 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 14 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 13 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-186-2024

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2	R3
1.63	-1.56	-1.66	-1.69	-1.32
2.50	-1.00	-0.92	-0.89	-1.18
5.39	-0.39	-0.37	-0.45	-0.36
11.68	-0.13	-0.24	0.10	-0.26
24.95	0.08	0.09	0.13	0.03
54.30	0.01	0.18	-0.06	-0.10
116.52	0.18	0.16	0.21	0.17
249.95	-0.24	-0.25	-0.25	-0.23

Tabla 14 tabla de resultados con dos repeticiones para OS-186-2024

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2
1.62	-1.68	-1.66	-1.69
2.51	-0.91	-0.92	-0.89
5.39	-0.41	-0.37	-0.45
11.68	-0.07	-0.24	0.10
24.95	0.11	0.09	0.13
54.26	0.06	0.18	-0.06
116.51	0.19	0.16	0.21
249.99	-0.25	-0.25	-0.25

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 26, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 27 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones

Figura 26 Aplicación de MiniTab para OS-186-2024 con 3 repeticiones

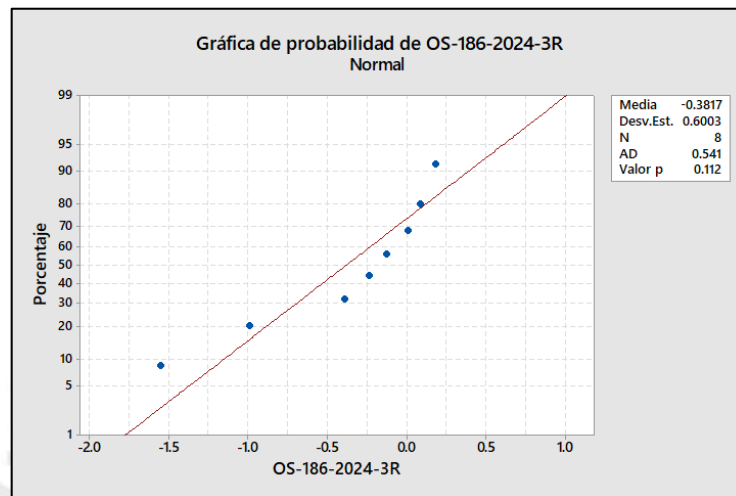
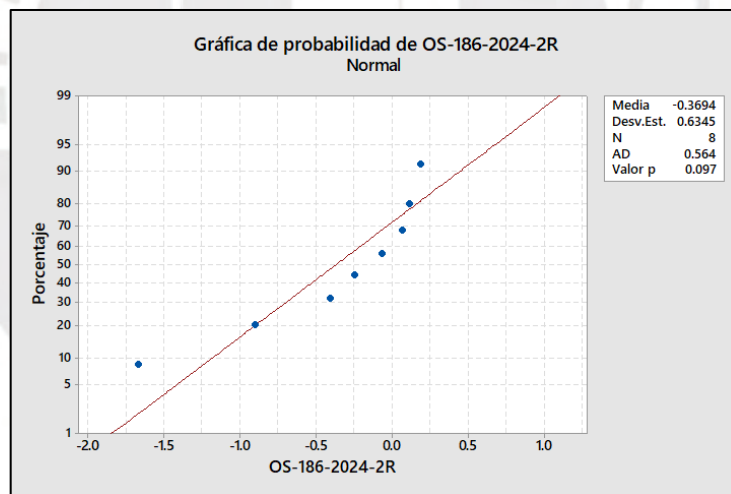


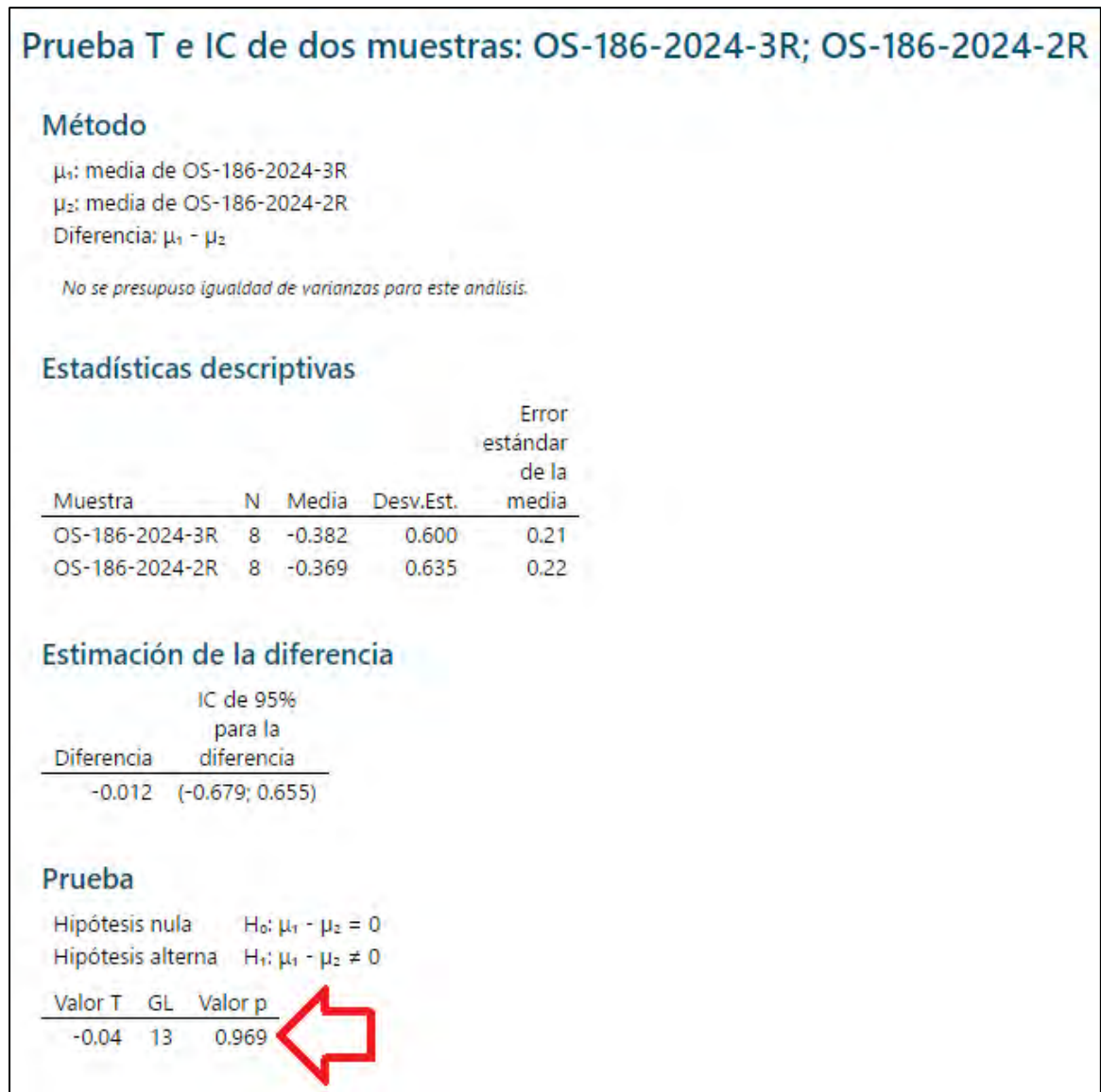
Figura 27 Aplicación de MiniTab para OS-186-2024 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 28

Figura 28 Cálculo de T-Student para OS-186-2024



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.6. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°002-2023:

Trazabilidad: OS-002-2023

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2023 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 15 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 16 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 15 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-002-2023

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2	R3
1,71	-0,64	-0,39	-0,91	-0,63
2,60	-0,29	-0,33	-0,25	-0,28
5,45	-0,04	-0,05	-0,04	-0,02
11,91	0,27	0,23	0,29	0,29
25,33	0,30	0,30	0,29	0,30
53,92	0,14	0,10	0,15	0,16
116,75	0,30	0,26	0,31	0,33
250,19	0,66	0,67	0,67	0,65

Tabla 16 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-002-2023

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2
1,70	-0,65	-0,39	-0,91
2,60	-0,29	-0,33	-0,25
5,48	-0,05	-0,05	-0,04
11,91	0,26	0,23	0,29
25,30	0,30	0,30	0,29
53,90	0,13	0,10	0,15
116,70	0,29	0,26	0,31
250,21	0,67	0,67	0,67

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 29, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 30 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones.

Figura 29 Aplicación de MiniTab para OS-002-2023 con 3 repeticiones

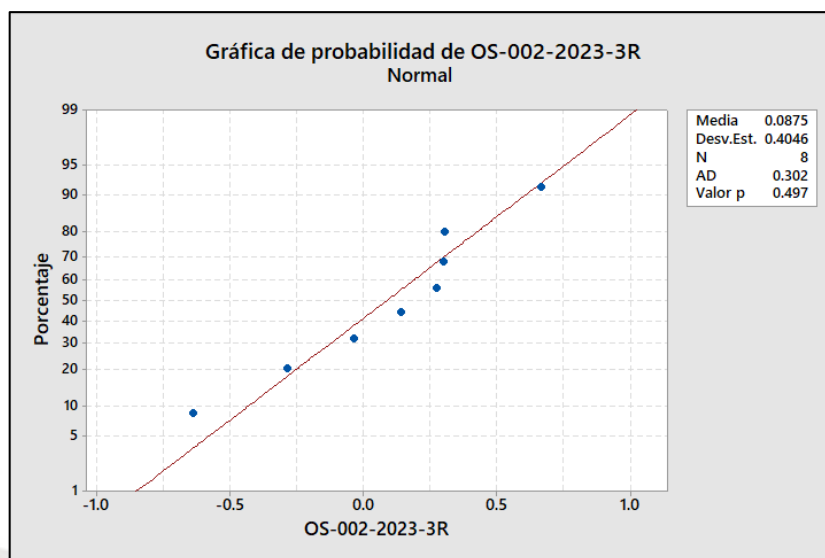
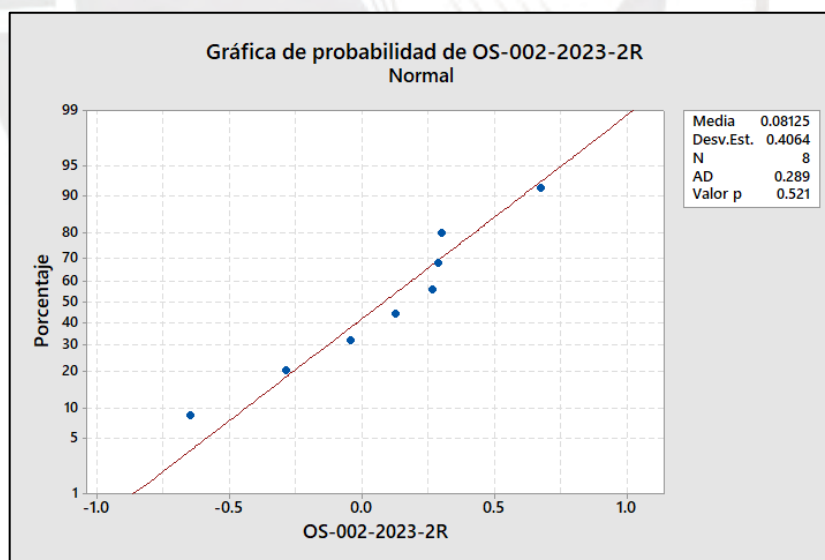


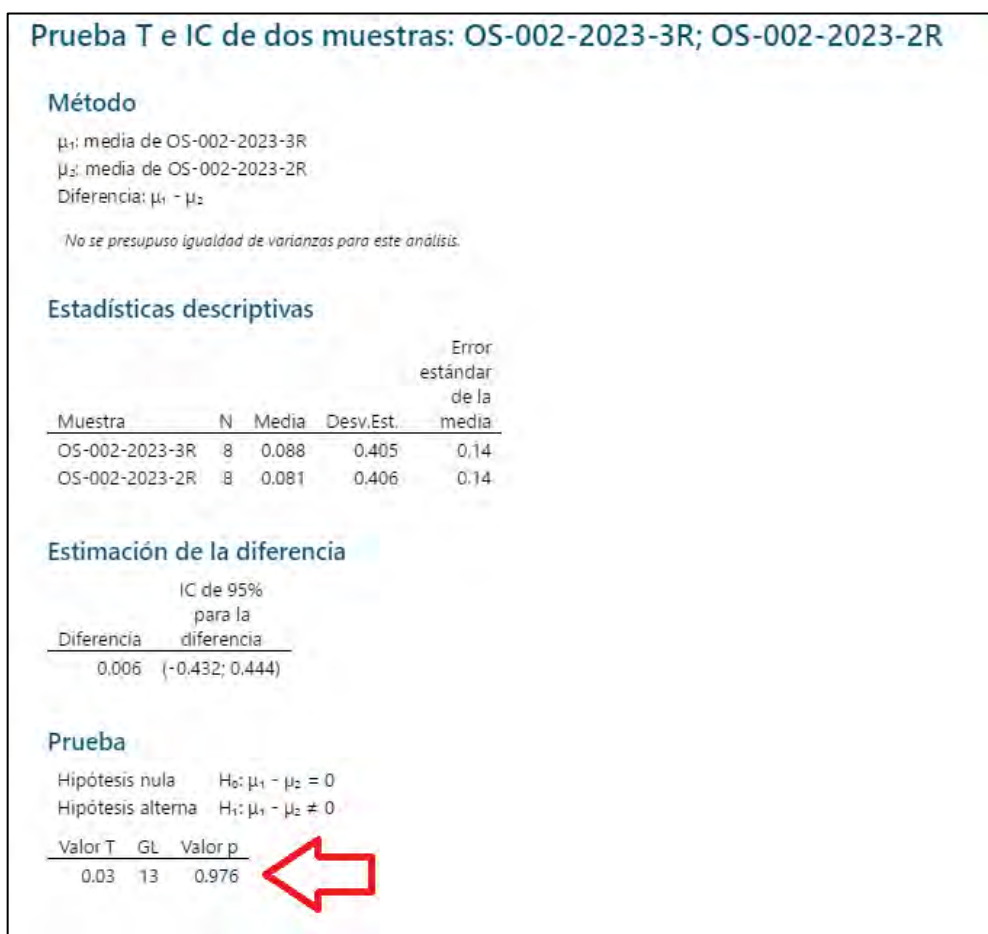
Figura 30 Aplicación de MiniTab para OS-002-2023 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 31

Figura 31 Cálculo de T-Student para OS-002-2023



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.7. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°003-2023:

Trazabilidad: OS-003-2023

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2023 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 17 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 18 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 17 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-003-2023

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2	R3
0,67	-1,12	-1,10	-1,10	-1,16
0,98	-0,90	-0,92	-0,88	-0,91
2,22	-0,61	-0,60	-0,61	-0,62
4,72	-0,25	-0,26	-0,25	-0,24
10,37	0,11	0,13	0,11	0,10
21,57	0,03	0,05	0,02	0,01
46,93	0,17	0,17	0,16	0,17
100,21	0,25	0,25	0,26	0,25

Tabla 18 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-003-2023

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2
0,67	-1,10	-1,10	-1,10
0,99	-0,90	-0,92	-0,88
2,23	-0,61	-0,60	-0,61
4,70	-0,26	-0,26	-0,25
10,37	0,12	0,13	0,11
21,56	0,04	0,05	0,02
46,82	0,17	0,17	0,16
100,20	0,26	0,25	0,26

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 32, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 33 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones.

Figura 32 Aplicación de MiniTab para OS-003-2023 con 3 repeticiones

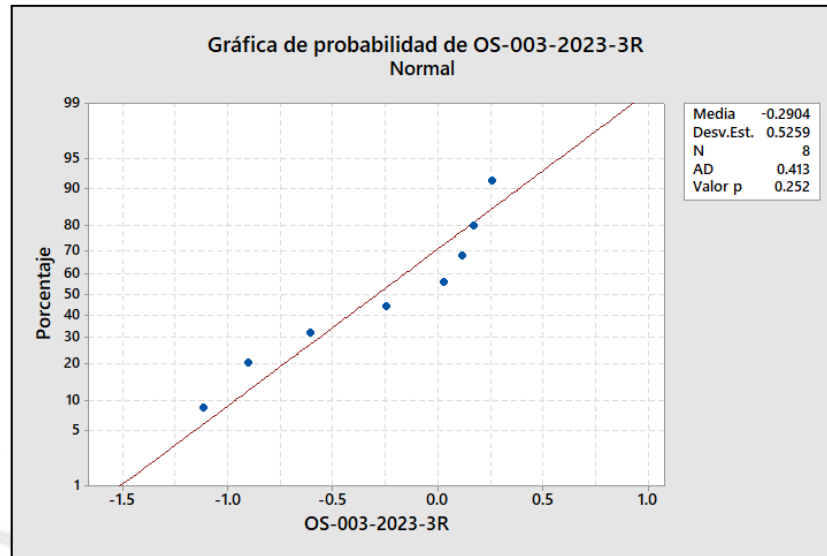
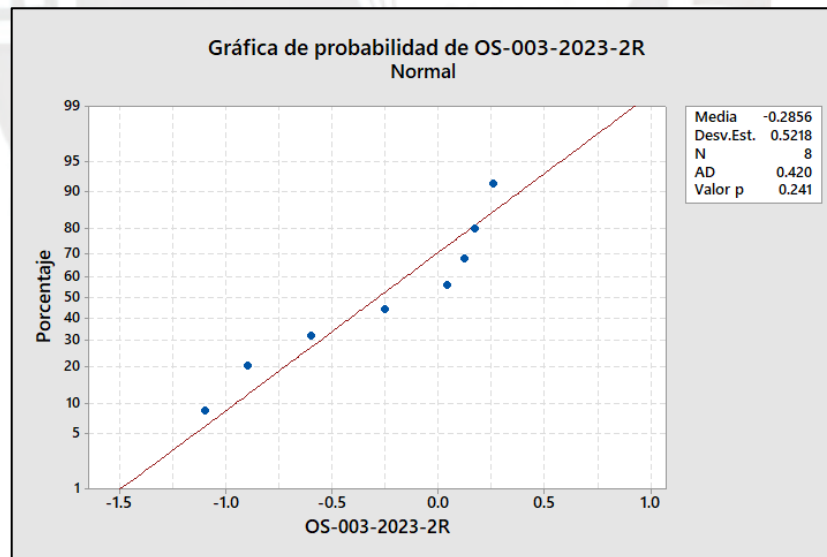


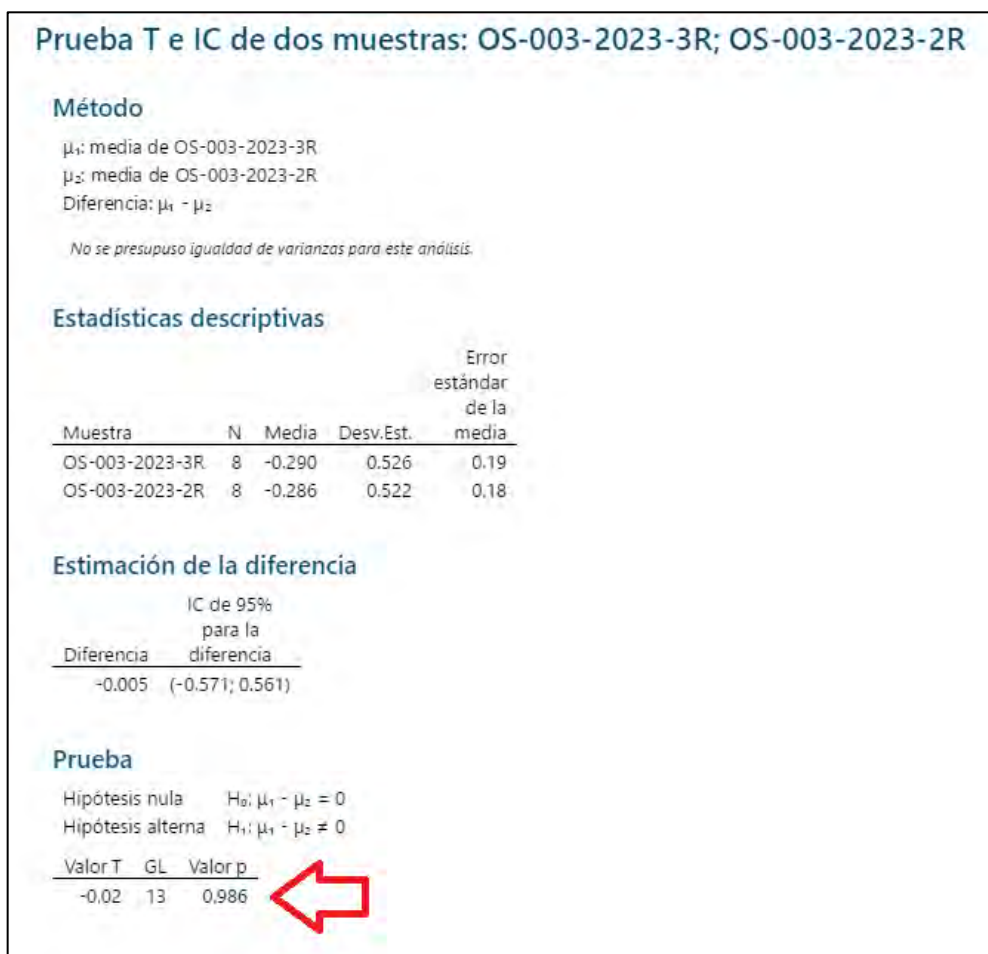
Figura 33 Aplicación de MiniTab para OS-003-2023 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 34

Figura 34 Cálculo de T-Student para OS-003-2023



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica

4.2.8. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°004-2023:

Trazabilidad: OS-004-2023

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2023 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 19 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 20 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 19 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-004-2023

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2	R3
0,67	-1,27	-1,30	-1,24	-1,28
1,05	-0,75	-0,77	-0,75	-0,73
2,20	-0,68	-0,70	-0,67	-0,67
4,68	-0,28	-0,28	-0,28	-0,28
10,08	0,23	0,24	0,23	0,23
21,74	0,18	0,21	0,18	0,16
46,22	0,27	0,26	0,27	0,27
99,98	0,50	0,50	0,49	0,50

Tabla 20 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-003-2023

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2
0,67	-1,27	-1,30	-1,24
1,05	-0,76	-0,77	-0,75
2,20	-0,69	-0,70	-0,67
4,68	-0,28	-0,28	-0,28
10,08	0,24	0,24	0,23
21,74	0,20	0,21	0,18
46,18	0,27	0,26	0,27
100,02	0,50	0,50	0,49

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 35, presentamos los resultados del grupo de tres repeticiones y en la Figura 36 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones.

Figura 35 Aplicación de MiniTab para OS-004-2023 con 3 repeticiones

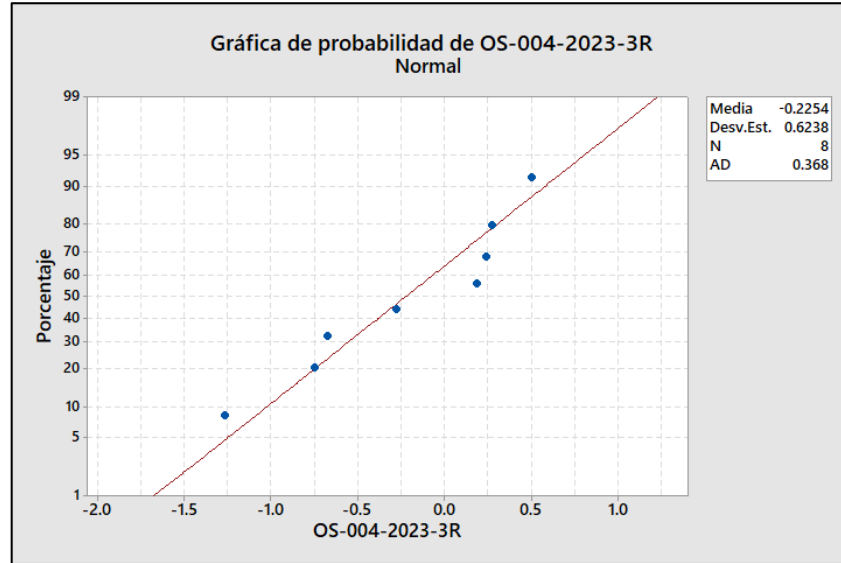
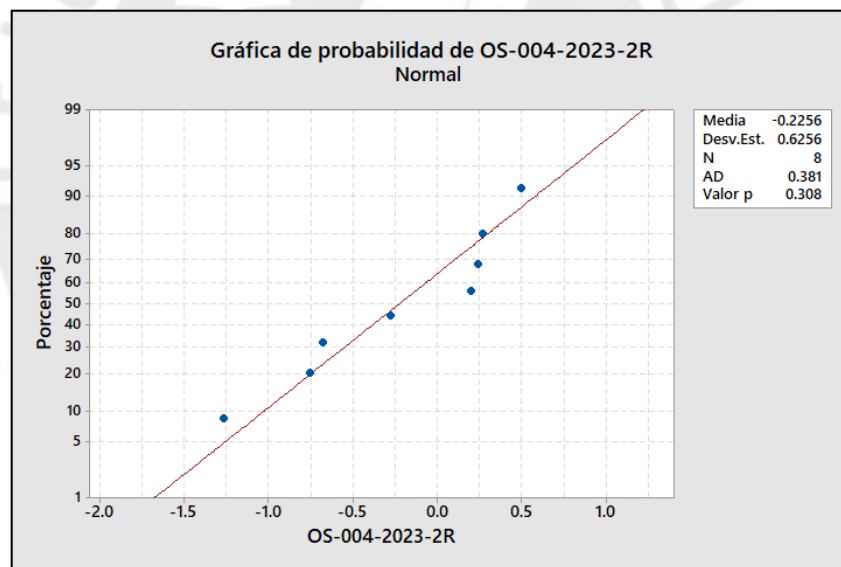
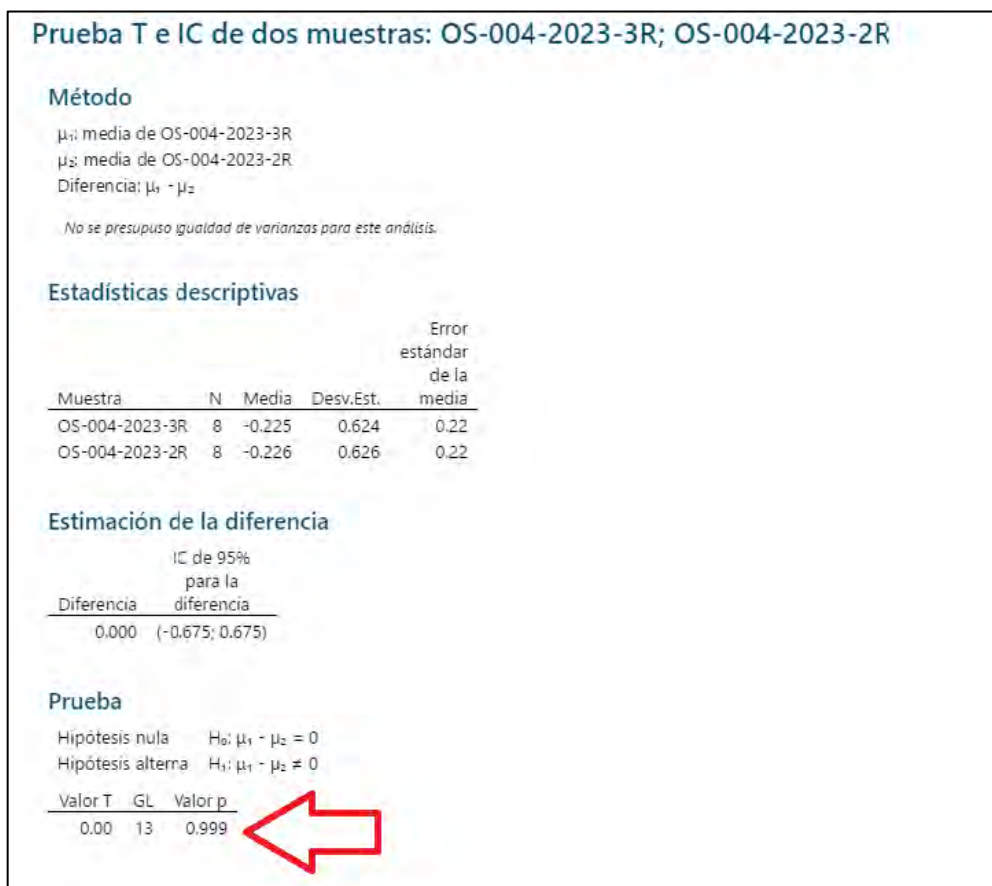


Figura 36 Aplicación de MiniTab para OS-004-2023 con 2 repeticiones

**Paso N°3:**

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 37

Figura 37 Cálculo de T-Student para OS-004-2023



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.9. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°005-2023:

Trazabilidad: OS-005-2023

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2023 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 21 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 22 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 21 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-005-2023

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2	R3
0,70	-1,15	-1,15	-1,16	-1,14
1,35	-0,81	-0,80	-0,81	-0,81
3,01	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
6,49	0,01	0,01	0,03	0,00
14,00	0,18	0,16	0,17	0,20
30,19	0,38	0,38	0,37	0,39
65,12	0,19	0,19	0,19	0,20

Tabla 22 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-005-2023

Caudal [m ³ /h]	Error [%]	R1	R2
0,70	-1,16	-1,15	-1,16
1,36	-0,81	-0,80	-0,81
3,01	-0,47	-0,47	-0,47
6,49	0,02	0,01	0,03
13,99	0,17	0,16	0,17
30,17	0,38	0,38	0,37
65,14	0,19	0,19	0,19

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 38, presentamos los resultados del grupo de tres repeticiones y en la Figura 39 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones.

Figura 38 Aplicación de MiniTab para OS-005-2023 con 3 repeticiones

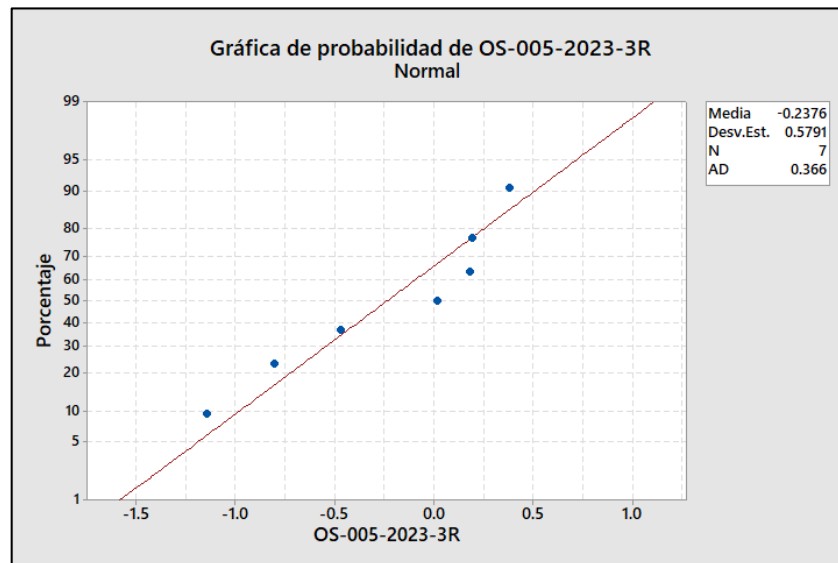
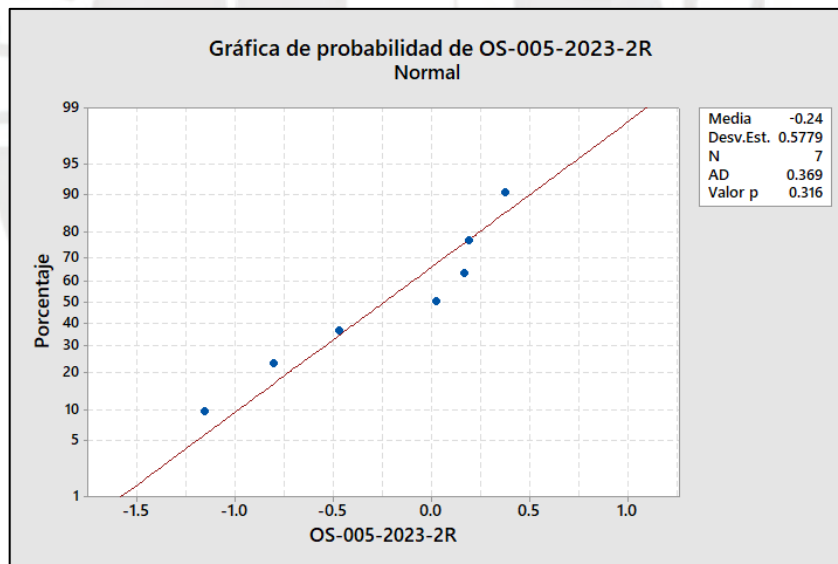
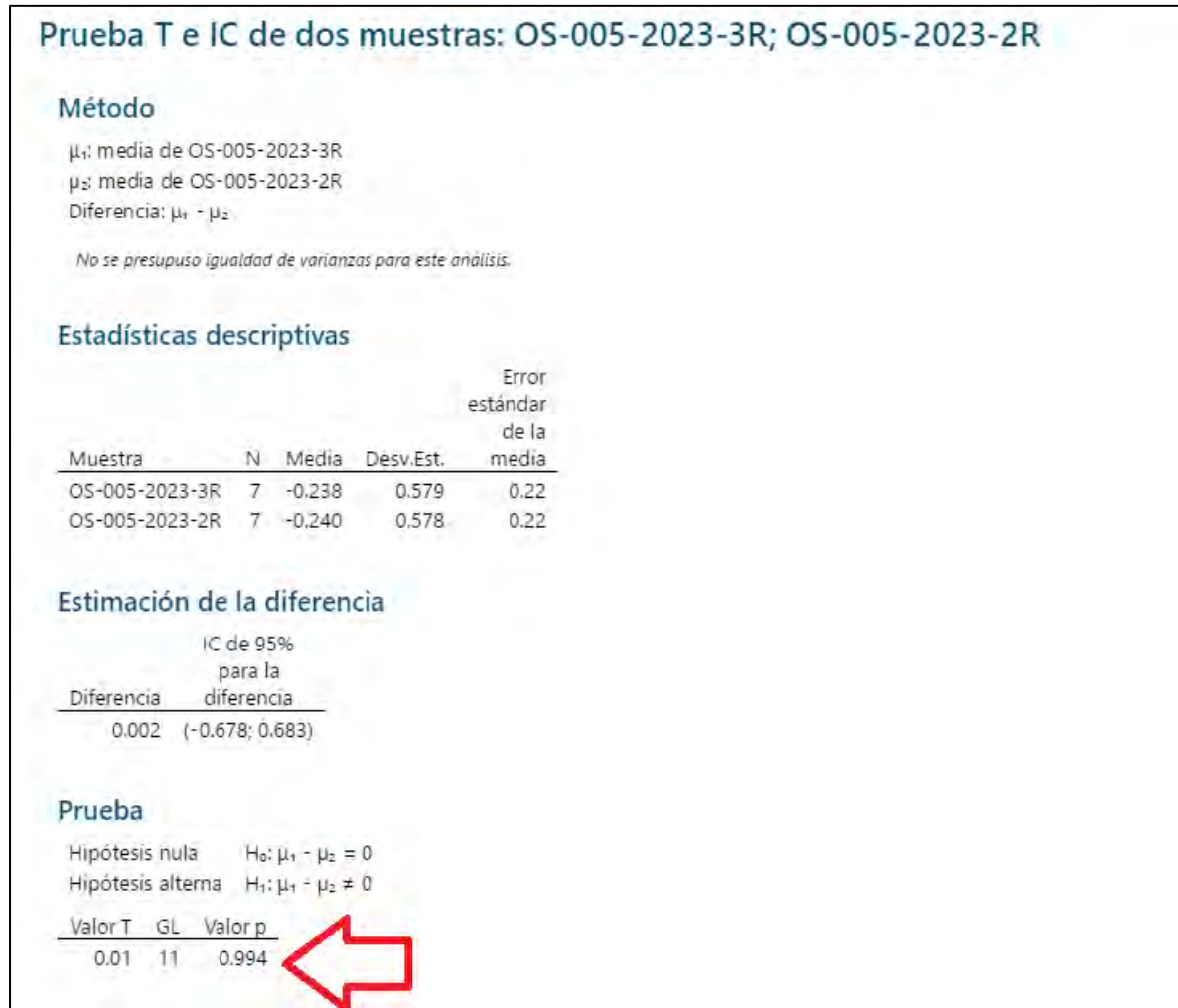


Figura 39 Aplicación de MiniTab para OS-005-2023 con 2 repeticiones

**Paso N°3:**

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 40

Figura 40 Cálculo de T-Student para OS-005-2023



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.10. Aplicación de la ETAPA 1 a los datos de la VERIFICACIÓN N°010-2023:

Trazabilidad: OS-010-2023

Paso N°1:

De los registros de verificaciones realizadas en el 2023 tenemos las tres repeticiones a cada caudal verificado, en la Tabla 23 se presenta el grupo de tres repeticiones y en la Tabla 24 se presenta el grupo considerando solo las dos primeras repeticiones:

Tabla 23 Tabla de resultados de tres repeticiones para OS-010-2023

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2	R3
1,62	-0,79	-0,80	-0,83	-0,75
3,44	-0,43	-0,49	-0,39	-0,42
7,50	-0,01	0,01	0,00	-0,05
16,06	0,20	0,22	0,21	0,16
35,19	0,31	0,32	0,28	0,34
73,92	0,41	0,43	0,41	0,39
160,00	0,51	0,51	0,51	0,52

Tabla 24 Tabla de resultados con dos repeticiones para OS-010-2023

Caudal [m³/h]	Error [%]	R1	R2
1,61	-0,82	-0,80	-0,83
3,44	-0,44	-0,49	-0,39
7,50	0,01	0,01	0,00
16,06	0,22	0,22	0,21
35,19	0,30	0,32	0,28
73,92	0,42	0,43	0,41
160,09	0,51	0,51	0,51

Paso N°2:

Aplicando el programa Minitab evaluamos si cada grupo tiene o no tiene distribución normal. En la Figura 41, presentamos los resultados del grupo

de tres repeticiones y en la Figura 42 presentamos los resultados del grupo de dos repeticiones.

Figura 41 Aplicación de MiniTab para OS-010-2023 con 3 repeticiones

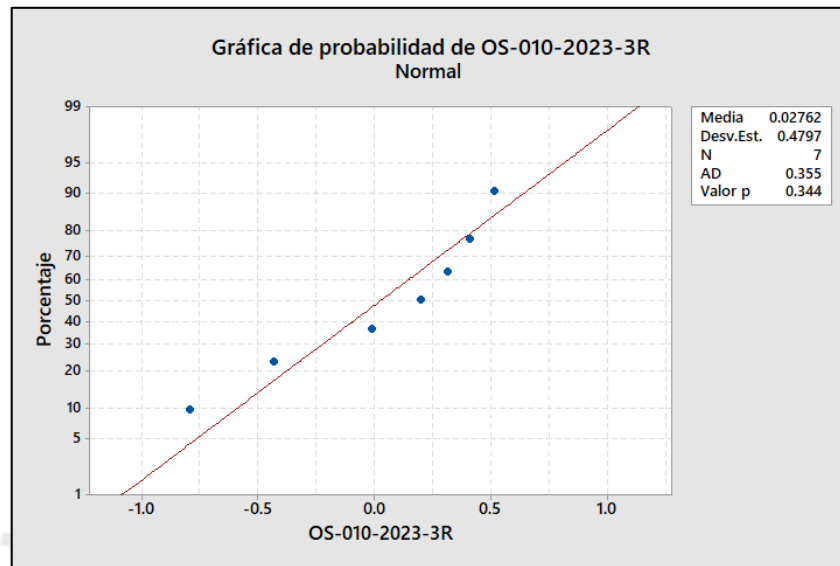
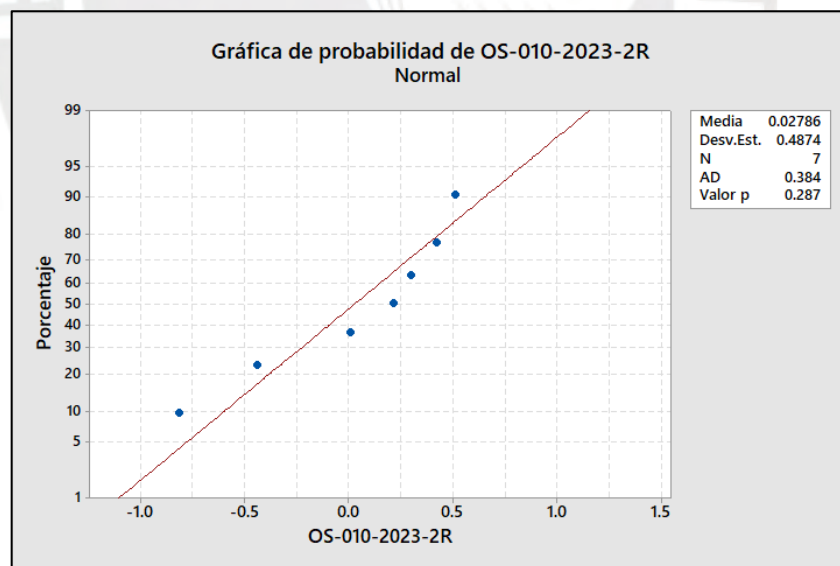


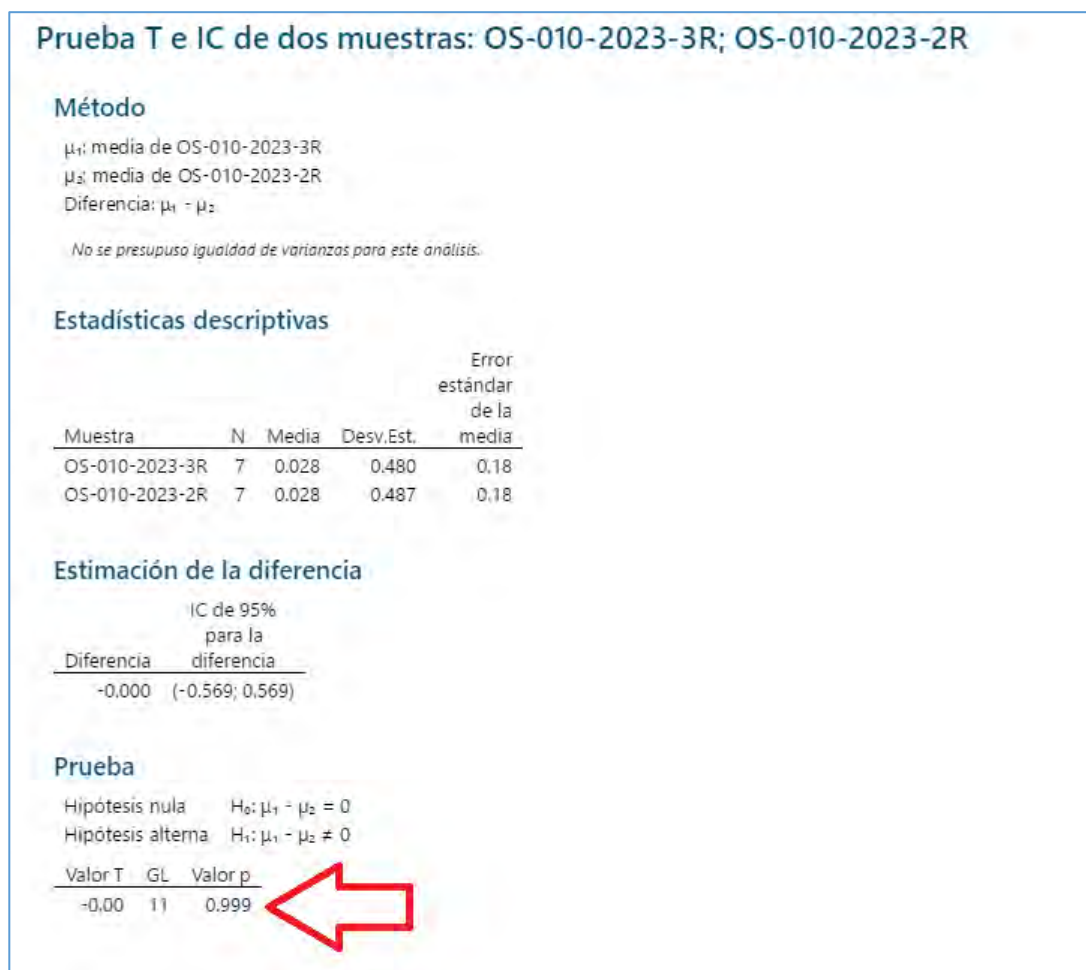
Figura 42 Aplicación de MiniTab para OS-010-2023 con 2 repeticiones



Paso N°3:

Los dos grupos tienen “distribución normal” entonces calculamos el estadístico “t-student”, presentamos el resultado en la Figura 43

Figura 43 Cálculo de T-Student para OS-010-2023



Conclusiones:

- 1) El resultado de P es mayor que 0.05 es decir que el grupo de datos obtenido de dos repeticiones es equivalente al grupo de datos obtenido de tres repeticiones por lo tanto no fue necesario realizar la tercera repetición.
- 2) El impacto de no realizar la tercera repetición AYUDA a que se AHORRE los recursos de horas hombre y gasto de energía eléctrica.

4.2.11. Aplicación de la ETAPA 2 a los resultados de las Verificaciones del periodo 2023 y 2024

De los registros de las verificaciones en el 2024 en la repetición 1 y la repetición 2 tenemos resultados aproximados lo cual muestra una repetibilidad, estos valores se presentan en la columna R1 y R2 de la Tabla 25

Tabla 25 Servicios de Verificaciones realizadas en el 2024

	Caudal [m³/h]	Error [%]	R1 [%]	R2 [%]	Repetibilidad [%]	E.M.P. [%]	Fracción de E.M.P. [%]
OS-207-2024 G160 DN80	1,69	-0,48	-0,40	-0,55	0,15	2	0,08
	2,46	-0,13	-0,05	-0,20	0,15	2	0,08
	5,44	-0,21	-0,18	-0,23	0,05	2	0,03
	11,56	-0,16	-0,13	-0,18	0,05	2	0,03
	24,92	-0,05	-0,03	-0,06	0,03	1	0,03
	54,11	-0,14	-0,14	-0,13	0,01	1	0,01
	116,15	0,19	0,19	0,18	0,01	1	0,01
252,24	0,58	0,57	0,59	0,02	1	0,02	
OS-206-2024 G160 DN80	1,65	-1,24	-1,16	-1,32	0,16	2	0,08
	2,54	-0,72	-0,74	-0,69	0,05	2	0,03
	5,36	-0,42	-0,40	-0,44	0,04	2	0,02
	11,64	-0,33	-0,34	-0,32	0,02	2	0,01
	25,03	0,02	0,03	0,01	0,02	1	0,02
	53,98	0,05	0,06	0,04	0,02	1	0,02
	116,20	0,43	0,44	0,41	0,03	1	0,03
251,99	0,43	0,42	0,44	0,02	1	0,02	
OS-198-2024 G100 DN80	0,82	-1,55	-1,59	-1,50	0,09	2	0,05
	1,62	-0,86	-0,86	-0,85	0,01	2	0,01
	3,44	0,18	0,22	0,14	0,08	2	0,04
	7,48	0,02	0,00	0,04	0,04	2	0,02
	16,04	0,18	0,15	0,20	0,05	1	0,05
	34,90	0,13	0,11	0,15	0,04	1	0,04
	74,59	0,27	0,33	0,20	0,13	1	0,13
159,88	0,44	0,46	0,42	0,04	1	0,04	
OS-187-2024 G40 DN50	0,54	-0,94	-0,98	-0,90	0,08	2	0,04
	1,42	-0,27	-0,30	-0,24	0,06	2	0,03
	2,99	-0,51	-0,52	-0,49	0,03	2	0,02
	6,48	-0,19	-0,19	-0,18	0,01	1	0,01
	14,07	0,66	0,66	0,66	0,00	1	0,00
	30,45	0,59	0,60	0,58	0,02	1	0,02
	65,11	0,27	0,28	0,26	0,02	1	0,02
OS-186-2024 G160 DN80	1,62	-1,68	-1,66	-1,69	0,03	2	0,02
	2,51	-0,91	-0,92	-0,89	0,03	2	0,02
	5,39	-0,41	-0,37	-0,45	0,08	2	0,04
	11,68	-0,07	-0,24	0,10	0,34	2	0,17
	24,95	0,11	0,09	0,13	0,04	1	0,04
	54,26	0,06	0,18	-0,06	0,24	1	0,24
	116,51	0,19	0,16	0,21	0,05	1	0,05
249,99	-0,25	-0,25	-0,25	0,00	1	0,00	
				Máxima Diferencia	0,34	Máxima Diferencia	1/4

De la misma forma en los registros de las verificaciones en el 2023 en la repetición 1 y la repetición 2 tenemos resultados aproximados lo cual muestra una repetibilidad, estos valores se presentan en la columna R1 y R2 de la Tabla 26

Tabla 26 Servicios de Verificaciones realizadas en el 2023

	Caudal [m³/h]	Error [%]	R1 [%]	R2 [%]	Repetibilidad [%]	E.M.P. [%]	Fracción de E.M.P. [%]
OS-002-2023 G160 DN80	1,70	-0,65	-0,39	-0,91	0,52	2	0,26
	2,60	-0,29	-0,33	-0,25	0,08	2	0,04
	5,48	-0,05	-0,05	-0,04	0,01	2	0,01
	11,91	0,26	0,23	0,29	0,06	2	0,03
	25,30	0,30	0,30	0,29	0,01	1	0,01
	53,90	0,13	0,10	0,15	0,05	1	0,05
	116,70	0,29	0,26	0,31	0,05	1	0,05
250,21	0,67	0,67	0,67	0,00	1	0,00	
OS-003-2023 G65 DN50	0,67	-1,10	-1,10	-1,10	0,00	2	0,00
	0,99	-0,90	-0,92	-0,88	0,04	2	0,02
	2,23	-0,61	-0,60	-0,61	0,01	2	0,01
	4,70	-0,26	-0,26	-0,25	0,01	2	0,01
	10,37	0,12	0,13	0,11	0,02	1	0,02
	21,56	0,04	0,05	0,02	0,03	1	0,03
	46,82	0,17	0,17	0,16	0,01	1	0,01
100,20	0,26	0,25	0,26	0,01	1	0,01	
OS-004-2023 G65 DN50	0,67	-1,27	-1,30	-1,24	0,06	2	0,03
	1,05	-0,76	-0,77	-0,75	0,02	2	0,01
	2,20	-0,69	-0,70	-0,67	0,03	2	0,02
	4,68	-0,28	-0,28	-0,28	0,00	2	0,00
	10,08	0,24	0,24	0,23	0,01	1	0,01
	21,74	0,20	0,21	0,18	0,03	1	0,03
	46,18	0,27	0,26	0,27	0,01	1	0,01
100,02	0,50	0,50	0,49	0,01	1	0,01	
OS-005-2023 G40 DN50	0,70	-1,16	-1,15	-1,16	0,01	2	0,01
	1,36	-0,81	-0,80	-0,81	0,01	2	0,01
	3,01	-0,47	-0,47	-0,47	0,00	2	0,00
	6,49	0,02	0,01	0,03	0,02	1	0,02
	13,99	0,17	0,16	0,17	0,01	1	0,01
	30,17	0,38	0,38	0,37	0,01	1	0,01
	65,14	0,19	0,19	0,19	0,00	1	0,00
OS-010-2023 G100 DN50	1,61	-0,82	-0,80	-0,83	0,03	2	0,02
	3,44	-0,44	-0,49	-0,39	0,10	2	0,05
	7,50	0,01	0,01	0,00	0,01	2	0,01
	16,06	0,22	0,22	0,21	0,01	2	0,01
	35,19	0,30	0,32	0,28	0,04	1	0,04
	73,92	0,42	0,43	0,41	0,02	1	0,02
	160,09	0,51	0,51	0,51	0,00	1	0,00
				Máxima Diferencia	0,52	Máxima Diferencia	1/4

Conclusiones de la ETAPA 2:

- Considerando los resultados de la columna Repetibilidad (%) y EMP (%) en la Tabla 25 y en la Tabla 26 se presenta que el mayor valor de repetibilidad obtenido es 0.52 y este valor representa un cuarto del error máximo permisible EMP(%) aplicable, el cual es menor que la incertidumbre máxima permitida en la verificación de medidores de gas (un tercio del EMP aplicable).
- Es apropiado establecer el valor de un cuarto del error máximo permisible (EMP) aplicable como la diferencia máxima entre las dos repeticiones para garantizar la confiabilidad de los resultados de las verificaciones de medidores de gas.
- Consideramos al valor de un cuarto de error máximo permisible como Criterio de aceptación es decir si la diferencia entre el valor de la repetición 1 y el valor de la repetición 2 es menor que el valor del Criterio de aceptación entonces no se debe realizar la tercera repetición.
- Con la secuencia de actividades de la etapa 2 el cual se presenta en la Figura 13 y considerando el valor del Criterio de aceptación hemos elaborado el programa en Python el cual complementa y ayuda a reducir el tiempo total de las verificaciones.

CAPÍTULO 5 – EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se presenta la inversión para la implementación del método en el año 2024, el ahorro enfocado en el tiempo de ejecución de la verificación de medidores de gas, los costos para el año 2025 y el año 2026 y finalmente el cálculo del TIR y el VAN para presentar la rentabilidad de la implementación del método.

5.1. Inversión.

El proyecto para la implementación del método tiene una inversión de \$/22,284.21 dólares los cuales se distribuyen en cinco variables y explicamos a continuación:

- Capacitación en el programa Python: Se debe capacitar para conocer los comandos que se incluirán en el programa editor Visual Code.
- Programador: Es la persona que se dedicará exclusivamente a la elaboración de la estructura del código para que se aplique según la lógica ya diseñada, esto será aplicado a los resultados (dos repeticiones) obtenidos de la verificación de medidores industriales para gas natural.
- Mantenimiento: Revisar la operación del código ó el programa el cual se aplicará a las muestras que se han considerado para esta tesis.
- Horas de prueba: Es el tiempo que se dedica a la ejecución ó pruebas que el programa realizará a los resultados, el objetivo es revisar y confirmar que el programa responde de la misma forma en varios intentos.
- Consultoría: La tesis tiene un objetivo que es minimizar el tiempo de verificación en 1/3 del tiempo total para lo cual se debe contratar un

experto técnico que revise que la integridad de los datos no ha variado y que los resultados siguen confiables utilizando el método de validez de resultados.

- Estudio de Optimización: Se ha realizado una evaluación del servicio y se ha detectado que se puede optimizar usando un diseño de un programa con inteligencia artificial con el objetivo de incrementar la capacidad de los servicios con la misma infraestructura.

De manera resumida se presenta la inversión en la Tabla 27:

Tabla 27 Inversión Inicial

INVERSION INICIAL	\$22,284.21
Capacitación en el programa Python	\$1,000.00
Programador	\$5,100.00
Mantenimiento	\$3,000.00
Horas de prueba	\$3,947.37
Consultoría	\$7,000.00
Estudio de Optimización	\$2,236.84

5.2. Ahorro

Cuando tratamos de calcular el ahorro en dinero asociado con el servicio brindado, nos enfrentamos a un desafío, los costos de cada servicio pueden variar considerablemente por el modelo y tipo de medidor a verificar. Por lo tanto, no es práctico establecer un valor monetario exacto para el ahorro sin considerar estas variaciones. En cambio, lo que sí podemos medir con precisión es el ahorro de tiempo. El tiempo es un recurso más uniforme y medible.

A continuación, presentamos el rango de tiempo en horas de las 3 repeticiones realizadas en las verificaciones del año 2024, este rango de tiempo se presenta en la Tabla 28:

Tabla 28: Rango de tiempo en horas de las Verificaciones en el 2024

	Caudal [m³/h]	Error [%]	tiempo de la R3 [minutos]	tiempo total [horas]
OS-207-2024 G160 DN80	1,69	-0,48	75,0	4,3
	2,46	-0,13	48,0	
	5,44	-0,21	55,7	
	11,56	-0,16	41,4	
	24,92	-0,05	19,2	
	54,11	-0,14	8,9	
	116,15	0,19	5,2	
	252,24	0,58	4,6	
OS-206-2024 G160 DN80	1,65	-1,24	75,0	4,3
	2,54	-0,72	48,0	
	5,36	-0,42	55,7	
	11,64	-0,33	41,4	
	25,03	0,02	19,2	
	53,98	0,05	8,9	
	116,20	0,43	5,2	
	251,99	0,43	4,6	
OS-198-2024 G100 DN80	0,82	-1,55	150,0	6,8
	1,62	-0,86	75,0	
	3,44	0,18	87,0	
	7,48	0,02	40,4	
	16,04	0,18	30,0	
	34,90	0,13	13,9	
	74,59	0,27	6,5	
	159,88	0,44	4,9	
OS-187-2024 G40 DN50	0,54	-0,94	60,0	2,2
	1,42	-0,27	34,3	
	2,99	-0,51	15,9	
	6,48	-0,19	7,4	
	14,07	0,66	4,7	
	30,45	0,59	4,6	
	65,11	0,27	4,3	
OS-186-2024 G160 DN80	1,62	-1,68	75,0	4,3
	2,51	-0,91	48,0	
	5,39	-0,41	55,7	
	11,68	-0,07	41,4	
	24,95	0,11	19,2	
	54,26	0,06	8,9	
	116,51	0,19	5,2	
	249,99	-0,25	4,6	
		Tiempo máximo [horas]	6,8	
		Tiempo mínimo [horas]	2,2	

Presentamos el rango de tiempo en horas de las 3 repeticiones realizadas en las verificaciones del año 2023, este rango de tiempo se presenta en la Tabla 29:

Tabla 29 Rango de tiempo en horas de las Verificaciones en el 2023:

	Caudal [m ³ /h]	Error [%]	tiempo de la R3 [minutos]	tiempo total [horas]
OS-002-2023 G160 DN80	1,70	-0,65	75,0	4,3
	2,60	-0,29	48,0	
	5,48	-0,05	55,7	
	11,91	0,26	41,4	
	25,30	0,30	19,2	
	53,90	0,13	8,9	
	116,70	0,29	5,2	
	250,21	0,67	4,6	
OS-003-2023 G65 DN50	0,67	-1,10	46,2	3,0
	0,99	-0,90	66,0	
	2,23	-0,61	30,7	
	4,70	-0,26	14,2	
	10,37	0,12	6,6	
	21,56	0,04	5,8	
	46,82	0,17	5,3	
100,20	0,26	4,3		
OS-004-2023 G65 DN50	0,67	-1,27	46,2	3,0
	1,05	-0,76	66,0	
	2,20	-0,69	30,7	
	4,68	-0,28	14,2	
	10,08	0,24	6,6	
	21,74	0,20	5,8	
	46,18	0,27	5,3	
	100,02	0,50	4,3	
OS-005-2023 G40 DN50	0,70	-1,16	46,2	2,3
	1,36	-0,81	47,1	
	3,01	-0,47	21,9	
	6,49	0,02	10,2	
	13,99	0,17	4,7	
	30,17	0,38	6,2	
	65,14	0,19	4,7	
OS-010-2023 G100 DN50	1,61	-0,82	75,0	4,3
	3,44	-0,44	87,0	
	7,50	0,01	40,4	
	16,06	0,22	30,0	
	35,19	0,30	13,9	
	73,92	0,42	6,5	
	160,09	0,51	4,9	
			Tiempo máximo [horas]	4,3
			Tiempo mínimo [horas]	2,3

Conclusiones:

- Considerando los resultados presentados en la Tabla 28 y en la Tabla 29 visualizamos que el tiempo máximo de la tercera repetición es de 6.8

horas entre las 10 verificaciones seleccionadas, podemos mencionar que el ahorro sería en no ejecutar esta repetición.

- Otra forma de interpretar estos análisis es que el programa en Python determine no ejecutar la tercera repetición con lo cual ahorramos la tercera parte (1/3) del tiempo total de todo el servicio de verificación, así como el ahorro de las horas en la que los inspectores realizan esta actividad y también el costo que esto genera.

5.3. Costos de la propuesta

El proyecto tiene costos proyectados para los años 2025 y 2026 los cuales explicamos a continuación:

- Licencia de Python: Para empezar a operar el programa con todos sus beneficios es necesario considerar el costo de la licencia.
- Capacitaciones: En el 2025 y en el 2026 se debe capacitar al personal que participa en el análisis de resultados el cual utiliza el programa Python.
- Computadoras con procesadores de alto tráfico de datos en el caso que el programa necesite ir desarrollando más datos es probable que las computadoras necesiten más procesadores por lo que se menciona este costo solo en este hipotético caso.

De manera resumida se presenta los costos en la Tabla 30:

Tabla 30 Costos proyectados

Costos	2025	2026
Licencia Python	\$/150	\$/150
Capacitaciones	\$/600	\$/600
Computadoras robusta en procesadoras		

5.4. Tabla de flujo de caja para determinar los indicadores del TIR y el VAN

A continuación, en la Tabla 31 se muestra en un flujo de caja para las inversiones, los costos generados por para la aplicación del método propuesto y el ahorro por los cambios.

Tabla 31 Calculo del TIR y el VAN

INVERSION INICIAL	\$22,284.21				
INGRESOS		EGRESOS		FLUJO DE EFECTIVO NETO	
AÑO	INGRESO	AÑO	EGRESO	AÑO	A-B
2025	\$35,100.00	2025	\$17,550.00	2025	\$17,550.00
2026	\$35,100.00	2026	\$17,550.00	2026	\$17,550.00
2027	\$35,100.00	2027	\$17,550.00	2027	\$17,550.00
TOTAL	\$105,300.00	TOTAL	52650		
TASA	0.1			VAN	\$21,360.04
				TIR	59%

Se ha realizado el cálculo del TIR y el VAN para los años 2025, 2026 y 2027 de lo cual el resultado del VAN es de \$/21,360 dólares lo cual quiere decir que por año está rindiendo \$/7,120 y el valor del TIR es 59% lo cual es mayor comparado con el costo de oportunidad que es 10% lo cual concluye que el proyecto es rentable.

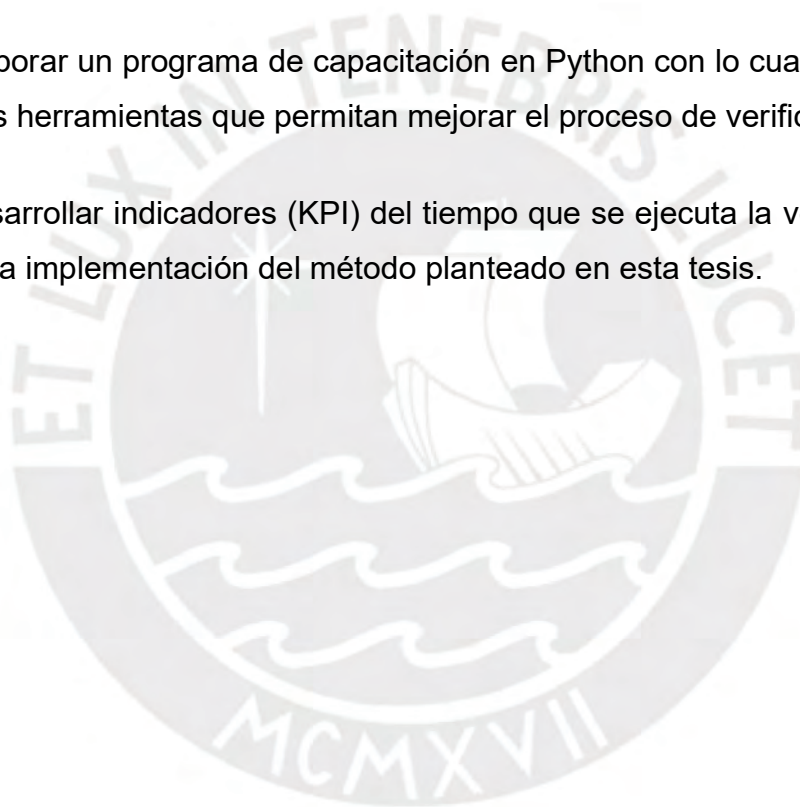
CAPÍTULO 6 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Utilizando el Diagrama de Ishikawa y aplicando el método de las 5M hemos detectado la causa raíz del problema que es el procedimiento de verificación GPI-PO-24 Ver.07, la contramedida que hemos desarrollado ha logrado reducir el tiempo en la ejecución de la verificación.
- El método propuesto para la verificación en su etapa 1 ha utilizado el programa Minitab del cual se ha aplicado el método estadístico de comparación de dos grupos, esta herramienta ha permitido demostrar que estadísticamente las verificaciones de medidores considerando dos repeticiones son equivalentes a las verificaciones de medidores con tres repeticiones.
- El método propuesto para la verificación en su etapa 2 ha servido para diseñar una lógica de actividades la cual se ha programado en Python y con lo cual el programa determina si se debe realizar o no se debe realizar la tercera repetición de la verificación.
- Aplicando el método propuesto y sin cambiar la confiabilidad de los datos hemos logrado reducir el tiempo de verificación en un 33%.
- La aplicación del método propuesto reduce en un 33% el tiempo de ejecución de la verificación y directamente amplía la capacidad de realizar más cantidad de servicios de verificación.
- Al reducir en 33% el tiempo de ejecución de la verificación también optimizamos el servicio haciendo un sistema más eficiente que ahorra las horas de ejecución por parte de los inspectores, tiempo de vida de las instalaciones y ahorramos energía eléctrica cuidando el planeta.

6.2. Recomendaciones

- Mantener estrictamente el cumplimiento del Programa de Validez de resultados, esto permitirá garantizar la confiabilidad de los datos.
- Seguir con la ejecución del programa en Python lo cual permitirá con más datos de más verificaciones poder predecir resultados de verificaciones utilizando la programación de neuronas que permitan aprender y que el programa pueda predecir los resultados.
- Elaborar un programa de capacitación en Python con lo cual podemos tener más herramientas que permitan mejorar el proceso de verificación.
- Desarrollar indicadores (KPI) del tiempo que se ejecuta la verificación luego de la implementación del método planteado en esta tesis.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Resolución Directoral N° 005-2018-INACAL/DM emitida el 3 de Agosto de 2018 y publicada en el Diario el Peruano el miércoles 8 de Agosto de 2018, Referencia: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/normas-legales/1503731-005-2018-inacal-dm>
- (2012) INDECOPI publicó en el Diario el Peruano el 27 de diciembre del 2012 la Resolución del Servicio Nacional de Metrología N°007.2012/SNM-INDECOPI aprobando la Norma Metrológica Peruana sobre medidores de gas NMP 016:2012
Referencia: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/informes-publicaciones/2777391-29-gestion-de-proyectos-de-ingenieria-industrial-e-irl-gpi-industrial-e-i-r-l>
- (2012) INACAL publica NMP 016:2012 Medidores de Gas. Parte 1: Requisitos metrológicos y técnicos. Parte 2: Controles metrológicos y ensayos de funcionamiento.
Referencia: https://www.inacal.gob.pe/inacal/files/metrologia/normas-metrologicas-peruanas/NMP_016_2012-1.pdf
- (1943) Se crea el Diagrama de Ishikawa, este diagrama conocido para el análisis de procesos como el método de “La espina del pez”
Referencia: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa
- (1989) Guido Van Rossum crea el Programa Python, este lenguaje es de código abierto para que cualquier persona pueda colaborar en su evolución.
Referencia: https://es.wikipedia.org/wiki/Guido_van_Rossum
- (2015) Microsoft crea Visual Studio Code el cual es un editor de código fuente.
Referencia: https://es.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio_Code
- (2021) GPI INDUSTRIAL EIRL muestra en su web sus cuatro unidades de negocio.
Referencia: <https://gpi-industrial.com.pe/>