

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“APLICACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA VERIFICAR EL DESEMPEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE POZOS GEOLÓGICOS, EN POZO DE SIMULACIÓN, EN LA EMPRESA GEODATA CONTROL PERÚ SAC CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Bachiller. Miguel Angel Robles Curay

Asesor:

Mg.Ing. Frank Alberto Tello Legoas

Cajamarca - Perú

2019

## **DEDICATORIA**

A Dios por Iluminarme día a día.

A mis padres y hermanos, por demostrarme tanto amor.

A mi esposa e hijos, que aprendo de ellos día a día.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Privada del Norte, a mis docentes, al Ing. Alex Marinovic, por su gran apoyo profesional, a la empresa Geodata Control Perú, y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para culminar la presente tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática .....	9
1.2. Formulación del problema .....	11
1.3. Objetivos .....	11
1.4. Hipótesis .....	11
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
2.1. Tipo de investigación.....	12
2.2. Procedimiento .....	28
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
3.1. Resultados cálculo de la línea central y límites de control para línea base .....	34
3.2. Resultados mediante gráficas de control $\bar{X}$ para variables continuas.....	39
3.3. Resultados mediante capacidad de procesos.....	53
3.4. Operacionalización de variables .....	59
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
4.1. Discusión.....	61
4.2. Conclusiones .....	62
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Materiales utilizados .....	14
Tabla 2 Matriz de técnicas e instrumento .....	15
Tabla 3 Lista de verificación de técnicas e instrumentos .....	16
Tabla 4 Registro de medición .....	34
Tabla 5 Consolidado datos azimut veinte mediciones .....	35
Tabla 6 Consolidado datos inclinación veinte mediciones .....	36
Tabla 7 Consolidado datos azimut cinco mediciones .....	39
Tabla 8 Consolidado datos inclinación cinco mediciones .....	46
Tabla 9 Consolidado capacidad de procesos azimut .....	54
Tabla 10 Consolidado capacidad de procesos inclinación .....	57
Tabla 11 Operacionalización de variables .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad vs. Control .....	24
Figura 2. Significados de medidas del Cpk .....	26
Figura 3. Valores Cp y su interpretación .....	27
Figura 4. Diagrama de flujo medición desempeño .....	30
Figura 5. Gráfico de procesos medición en pozo de prueba .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 6. Gráfico promedio y límites de control azimuth.....	37
Figura 7. Gráfico promedio y límites de control inclinación.....	38
Figura 8. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 1 azimuth .....	40
Figura 9. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 2 azimuth .....	41
Figura 10. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 3 azimuth .....	42
Figura 11. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 4 azimuth .....	43
Figura 12. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 5 azimuth .....	44
Figura 13. Gráfico desempeño instrumento medición cinco pruebas azimuth.....	45
Figura 14. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 1 inclinación .....	47
Figura 15. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 2 inclinación .....	48
Figura 16. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 3 inclinación. ....	49
Figura 17. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 4 inclinación .....	50
Figura 18. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 5 inclinación. ....	51
Figura 19. Gráfico desempeño instrumento de medición cinco pruebas inclinación .....	52
Figura 20. Gráfico capacidad de procesos cinco pruebas azimuth .....	53
Figura 21. Gráfico capacidad de procesos cinco pruebas inclinación .....	56
Figura 22. Diagrama de flujo procedimiento redundante de registro en pozo de prueba.....	60

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Media .....	18
Ecuación 2. Varianza .....	19
Ecuación 3. Desviación estándar .....	19
Ecuación 4. Límites de control .....	20
Ecuación 5. Razón de capacidad de proceso .....	25
Ecuación 6. Índice de capacidad de proceso.....	25

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Instrumento de medición ReflexGyro .....	65
Anexo 2 Instrumento de medición ReflexGyro especificaciones .....	66
Anexo 3 Procedimiento de medición pozo de prueba 1 de 4.....	67
Anexo 4 Procedimiento de medición pozo de prueba 2 de 4.....	68
Anexo 5 Procedimiento de medición pozo de prueba 3 de 4.....	69
Anexo 6 Procedimiento de medición pozo de prueba 4 de 4.....	70
Anexo 7 Pozo de prueba .....	71
Anexo 8 Preparación instrumento de medición .....	72
Anexo 9 Preparación instrumento de medición .....	73
Anexo 10 Camioneta posicionada en pozo de prueba .....	74
Anexo 11 Medición en pozo de prueba .....	75
Anexo 12 Tabla distribución normal .....	76
Anexo 13 Registro de medición 01.....	77
Anexo 14 Registro de medición 02.....	78
Anexo 15 Registro de medición 03.....	79
Anexo 16 Registro de medición 04.....	80
Anexo 17 Registro de medición 05.....	81



## **RESUMEN**

Actualmente Geodata Control Perú no cuenta con un sistema de control estadístico de procesos para monitorear la variabilidad de sus resultados, asimismo los clientes necesitan tener la certeza que se les está entregando información confiable.

La presente tesis aborda la calidad como concepto objetivo ya que se ha medido la variabilidad con indicadores cuantitativos, y consiste en demostrar la utilidad y adaptación del control estadístico de procesos en productos de servicio (información) en una actividad dentro del sector minero.

Se describe el desempeño y cumplimiento de especificaciones del instrumento de medición de pozos geológicos Réflex Gyro con código E449 mediante la aplicación de técnicas del control estadístico de procesos como gráficos de control de variables continuas e índices de capacidad de procesos.

Para el presente estudio de tesis el instrumento Réflex Gyro fue sometido a veinticinco pruebas en pozo de simulación a una profundidad de 150m. Y se utilizó como indicadores de desempeño al azimut e inclinación.

En cuanto a los resultados en base a diez pruebas. Para la medición del desempeño el instrumento entregó información bajo control estadístico en ocho pruebas, en tanto dos pruebas resultaron fuera de control estadístico. Y con respecto a la capacidad de procesos en el caso del indicador inclinación se comprobó que el proceso es capaz, en el caso del indicador azimut se comprobó que el proceso no es capaz según los resultados.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En general, se acepta que conforme la variación disminuye, la calidad mejora. En ocasiones, este conocimiento es intuitivo. Sin embargo, los ingenieros saben también que es imposible tener una variabilidad de cero (Chase y Jacobs, 2014).

A menudo los clientes utilizan un término general calidad para describir su nivel de satisfacción con un producto o servicio. La conformidad de las especificaciones puede relacionarse con la uniformidad en la calidad. (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

Muchos clientes piden a sus proveedores que proporcionen evidencias de un control estadístico de sus procesos. De modo que el SPC (control estadístico de procesos) ofrece un medio para que la empresa demuestre su capacidad para la calidad (Evans y Lindsay, 2008).

Con respecto a la variabilidad, no hay dos servicios o productos exactamente iguales, porque los procesos que se utilizan para producirlos contienen muchas fuentes de variación, es importante minimizar la variación de las salidas porque con frecuencia la variación es lo que el cliente ve y siente (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

El control estadístico de procesos (CEP) es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un proceso está entregando lo que los clientes quieren. En el CEP, las herramientas llamadas graficas de control se utilizan principalmente para detectar servicios o productos defectuosos o para indicar que el proceso ha cambiado y que los servicios o productos se desviaran de sus especificaciones de diseño. Estudiaremos la variabilidad y sus implicaciones sobre la capacidad de procesos para desempeñarse a un nivel aceptable cuando presentemos las herramientas de CEP. El desempeño se

puede evaluar de dos maneras. Una es medir variables; esto es, las características del servicio o producto, como peso, longitud, volumen o tiempo que se pueda medir. (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

Marinovic menciona en la definición de términos básicos, el azimut como ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo. Lo más usual es medir el azimut desde el norte (sea verdadero, magnético o arbitrario), pero a veces se usa el sur como referencia, varían desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  y no se requiere indicar el cuadrante que ocupa la línea observada.

En la actualidad, en la gran y mediana minería existe bastante demanda por parte del área de geología de exploraciones y planeamiento de medir la trayectoria en la perforación (Azimut e Inclinación) (Marinovic, 2015).

En este sentido, los registros de la trayectoria agregan consistencia a la información geológica descubierta en las exploraciones (Silva, 2008).

Geodata Control Perú empresa especializada en medición de trayectoria en taladros de perforación presta servicio al sector minero, actualmente no cuenta con un sistema de control estadístico de procesos para monitorear la variabilidad de sus resultados. Hoy en día existen cada vez más empresas que brindan el mismo servicio, e incluso con variedad de tecnología, por ello estamos obligados a ser más competitivos brindando un servicio de calidad.

La variabilidad debido a causas asignables de los instrumentos utilizados en el proceso de medición de rumbo en taladros geológicos afecta directamente a la empresa Geodata Control Perú, cuando el cliente percibe una alta variabilidad en los datos entregados, la percepción del servicio de calidad de la empresa disminuye. Esto se debe a que existe una relación inversa entre la variabilidad y calidad. Se acepta que

conforme la variación disminuye, la calidad mejora. En ocasiones, este conocimiento es intuitivo (Chase y Jacobs, 2014).

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo la aplicación del control estadístico de procesos nos permite verificar el desempeño del instrumento ReflexGyro E449 en pozo de simulación?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Aplicar el control estadístico de procesos para verificar el desempeño del instrumento ReflexGyro E449 en el proceso de medición de rumbo de taladros geológicos, en pozo de simulación.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Calcular la media y límites de control para obtener la línea base a través del registro de veinte pruebas con instrumento Réflex Gyro E449 en pozo de simulación.
- Registrar cinco pruebas para analizar la variabilidad del instrumento ReflexGyro E 449.
- Calcular el desempeño del instrumento réflex Gyro E449 mediante gráfico de control para variables continuas.
- Comprobar mediante la capacidad de procesos el cumplimiento de especificación del instrumento ReflexGyro E449.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La aplicación del control estadístico de procesos, permitirá verificar el desempeño del instrumento ReflexGyro E449 en pozo de simulación.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según el propósito: Aplicada

Esto debido a que la investigación se centró en demostrar la utilización de técnica con fundamentos existentes.

Se le denomina también activa o dinámica y se encuentra íntimamente ligada a la investigación pura ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Busca confrontar la teoría con la realidad es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas, ese tipo de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías (Quezada, 2010)

Según su profundidad: Descriptiva

En el presente estudio se utiliza el control estadístico de proceso para verificar el desempeño del instrumento Réflex Gyro E449. El control estadístico del proceso es la aplicación de técnicas estadísticas para asegurar que los procesos cumplan con los estándares (Heizer y Render, 2014).

Mediante la aplicación del SPC se espera resultados conocidos los cuales son interpretados posteriormente. De modo que no se está adentrando a un estudio exploratorio.

Los estudios exploratorios son como realizar un viaje a un sitio desconocido, del cual no hemos visto ningún documental ni leído ningún libro, ignoramos mucho del sitio, lo primero que hacemos es explorar (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Los estudios descriptivos buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.

Con frecuencia, la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar como son y se manifiestan. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Según la naturaleza de datos: Cuantitativa

Ya que el análisis se va a ser mediante magnitudes numéricas.

Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

### 2.2.1 Materiales:

Los materiales utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1  
*Materiales utilizados*

<b>Materiales</b>	<b>Uso</b>
ReflexGyro E449	Instrumento de medición de pozos geológicos
Camioneta 4x4	Es donde está montado el Winche eléctrico
Winche Eléctrico	Está provisto de cable de acero, se utiliza para descender el instrumento en pozo de simulación
Material Bibliográfico	Administración de Operaciones, Control Estadístico de la Calidad
Laptop	Incluye software utilizados para el procesamiento y presentación de información
Impresora	Impresión
USB	Almacenamiento y traslado información
Cuaderno, Papel, Folder	Apuntes en campo y entrega información
Lapicero, Lápiz, Resaltador	Apuntes en campo y entrega información
Engrapador, Perforador	Apuntes en campo e entrega información
Cámara fotográfica	Tomar evidencias investigación de campo

Fuente: elaboración propia

### 2.2.2 Instrumentos:

La tabla 2, muestra las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la obtención de información necesaria para desarrollar el primer objetivo específico.

Se indican además las fuentes de información bibliográfica referentes a la obtención de datos.

Tabla 2  
*Matriz de técnicas e instrumentos*

<b>Matriz de Técnicas e Instrumentos</b>				
<b>Objetivo Especifico</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Fuente</b>
				<b>Bibliográfica</b>
1. Calcular la media y límites de control para la línea base por medio del registro de veinte pruebas con instrumento Réflex Gyro E449 en pozo de simulación, posteriormente se registra cinco pruebas como materia de estudio.	*Azimut *Inclinación	Análisis documental	Hoja de registro de datos	Administración de operaciones, procesos y cadena de suministro (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

Fuente: elaboración propia



La tabla 3, nos permitirá verificar si contamos con los medios necesarios para la recopilación de datos y poder procesarlos posteriormente para su análisis y posterior conclusión.

*Tabla 3*  
*Lista de verificación de técnicas e instrumentos*

<b>Lista de Verificación Técnicas e Instrumentos</b>		
	<b>Si</b> <b>/</b> <b>No</b>	<b>Acciones a Tomar</b>
¿Se cuenta con las facilidades y recursos e información por parte de la empresa especialista para las pruebas en pozo de simulación?	Si	
¿Se cuenta con la información relacionada con la operación del instrumento ReflexGyro por parte de la empresa especializada?	Si	
¿Se cuenta con información por parte de la empresa representante de fábrica en Perú del instrumento de medición respecto a la información técnica del mismo?	Si	

Fuente: elaboración propia

### **2.2.3 Métodos:**

El control estadístico de procesos (CEP) es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un proceso está entregando lo que los clientes quieren. En el CEP, las herramientas llamadas graficas de control se utilizan principalmente para detectar servicios o productos defectuosos o para indicar que el proceso ha cambiado y que los servicios o productos se desviarán de sus especificaciones de diseño, a menos que se haga algo para corregir la situación (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

### **Cálculo de la media y límites de control y uso de gráficos de control $\bar{x}$ para variables continuas**

#### **Registro de mediciones**

Deben tomarse por lo menos 20 muestras de tamaño  $n$  para construir una gráfica de control (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

Una vez creada la gráfica de línea base, es posible comparar cada muestra tomada con la gráfica y decidir si el proceso es aceptable. Sin embargo, para elaborar las gráficas, la prudencia y las estadísticas sugieren alrededor de 25 muestras (Chase y Jacobs, 2014).

#### **Línea central (media)**

De acuerdo a la metodología del control estadístico de procesos

Se debe calcular los valores estadísticos relevantes: promedios, rangos, proporciones, etcétera.

Establecimiento de los límites de control de prueba

Trazar la línea central (promedio del proceso) en la gráfica. (Evans y Lindsay, 2008).

### Ecuación 1. Media

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dónde: n es el tamaño de la muestra

X son todos los valores que toma la muestra

$\bar{X}$  Media muestral

### Límites de control

Una práctica estándar, en el control estadístico del proceso para las variables, es establecer límites de control de hasta tres desviaciones estándar sobre la media y tres desviaciones estándar debajo de ella. Esto significa que se espera que 99.7% de las medias de la muestra se mantengan dentro de los límites de control (es decir, en un intervalo de confianza de 99.7%). De ahí que, si la media de una muestra sale fuera de esta banda ancha obvia, se tienen pruebas sólidas de que el proceso está fuera de control (Chase y Jacobs, 2014).

Los límites de control están basados en las propiedades de la distribución normal

Si X es una variable aleatoria con distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ ,  $N(\mu, \sigma^2)$ , entonces se cumple que:

1.  $P(\mu - \sigma < X < \mu + \sigma) = 0.6827$
2.  $P(\mu - 2\sigma < X < \mu + 2\sigma) = 0.9545$
3.  $P(\mu - 3\sigma < X < \mu + 3\sigma) = 0.9973$
4.  $P(X = a) = 0$  para cualquier número a.

Estas propiedades señalan la proporción de la distribución normal que se localiza en torno a la media  $\mu$ . por ejemplo, entre más menos una desviación estándar respecto a la media se ubica el 68.27% del área; y en la media más menos tres veces  $\sigma$  se encuentra 99.73% de la distribución.

El punto tres, que da el área o probabilidad entre la media más menos 3 sigmas, es muy utilizado en control estadístico de calidad, por ejemplo para definir los límites reales del proceso o los límites de las cartas de control, el cuarto punto señala que la probabilidad de un valor particular en una distribución continua es igual a cero, al no haber área sobre él (Gutiérrez y De La Vara, 2013).

*Ecuación 2. Varianza*

$$S^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:  $x$  son los valores de la muestra  
 $\bar{x}$  es la media  
 $n$  es el número de observaciones.

*Ecuación 3. Desviación estándar*

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Dónde:  $x$  son los valores de la muestra,  
 $\bar{x}$  es la media  
 $n$  es el número de observaciones.

Ecuación 4. Límites de control

$$ULC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + Z\sigma_{\bar{X}}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - Z\sigma_{\bar{X}}$$

Donde:

$\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n}$  = desviación estándar de las medias de la muestra

$\sigma$  = Desviación estándar de la distribución del proceso

$n$  = Tamaño de la muestra

$z$  = desvió normal (número de desviaciones estándar, 2 para el 95.45% de nivel de confianza y 3 para el 99.73% de nivel de confianza)

$\bar{\bar{X}}$  = Línea central del gráfico, que puede ser el promedio de las medias de las muestras pasadas o un valor establecido como objetivo para el proceso.

### **Cálculo del desempeño del instrumento ReflexGyro E449 mediante el gráfico $\bar{X}$ de control para variables continuas**

El desempeño se puede evaluar de dos maneras, una es medir las variables; esto es, las características del servicio o producto, como peso, longitud, volumen o tiempo que se puedan medir (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

Para la presente tesis se hizo uso de gráficos  $\bar{X}$  de control para variables continuas con desviación estándar.

La ventaja de esta forma de gráfico  $\bar{X}$  es que el analista ajusta la separación de los límites de control cambiando el valor de  $z$ . Este enfoque suele ser útil para equilibrar el efecto de los errores tipo I y II (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

El rango se emplea como una medida de la variación simplemente por conveniencia, sobre todo cuando los trabajadores en el área del trabajo realizan a mano los cálculos

de la gráfica de control. Para muestras grandes y cuando los datos se analizan mediante un programa de computadora, la desviación estándar es una mejor medida de la variabilidad (Evans y Lindsay, 2008).

La siguiente lista proporciona un conjunto de reglas generales para analizar un proceso a fin de determinar si está bajo control:

1. Ningún punto se encuentra fuera de los límites de control.
2. El número de puntos por encima y por debajo de la línea central es casi igual.
3. Los puntos parecen caer en forma aleatoria arriba y debajo de la línea central.
4. La mayoría de los puntos, pero no todos, están cerca de la línea central, y sólo algunos están cerca de los límites de control.

La suposición subyacente detrás de estas reglas es que la distribución de la media de las muestras es normal. Esta suposición se deduce del teorema del límite central de la estadística,

Que establece que la distribución de las medias de las muestras se aproxima a la distribución normal conforme aumenta el tamaño de la muestra, sin importar la distribución original. Desde luego, para tamaños de muestra pequeños, la distribución de los datos originales debe ser razonablemente normal a fin de que esta suposición se mantenga. Los límites de control superior e inferior se calculan en tres desviaciones estándar de la media general. Por tanto, la probabilidad de que cualquier media de muestra caiga fuera de los límites de control es menor. Esta probabilidad es el origen de la regla 1.

Como la distribución normal es simétrica, casi el mismo número de puntos caen por encima y por debajo de la línea central. Asimismo, como la media de la distribución normal es igual a la mediana, casi la mitad de los puntos caen en cualquiera de los lados

de la línea central. Por último, alrededor de 68 por ciento de una distribución normal cae en una desviación estándar de la media; por consiguiente, la mayoría de los puntos, pero no todos, deben estar cerca de la línea central. Estas características se van a conservar siempre que la media y la varianza de los datos originales no hayan cambiado durante el tiempo que se recopilaron los datos; es decir, el proceso es estable.

En las gráficas de control surgen diversos tipos de patrones poco comunes, que se revisan en esta sección con una indicación de las causas típicas de estos patrones. (Evans y Lindsay, 2008).

Cuando un proceso está bajo control estadístico, los puntos en la gráfica de control fluctúan en forma aleatoria entre los límites de control, sin seguir ningún patrón que se pueda reconocer (Evans y Lindsay, 2008).

### **Cálculo de la capacidad de procesos para el cumplimiento de especificaciones del instrumento ReflexGyro E449 mediante la razón de capacidad de procesos e índice de capacidad de procesos**

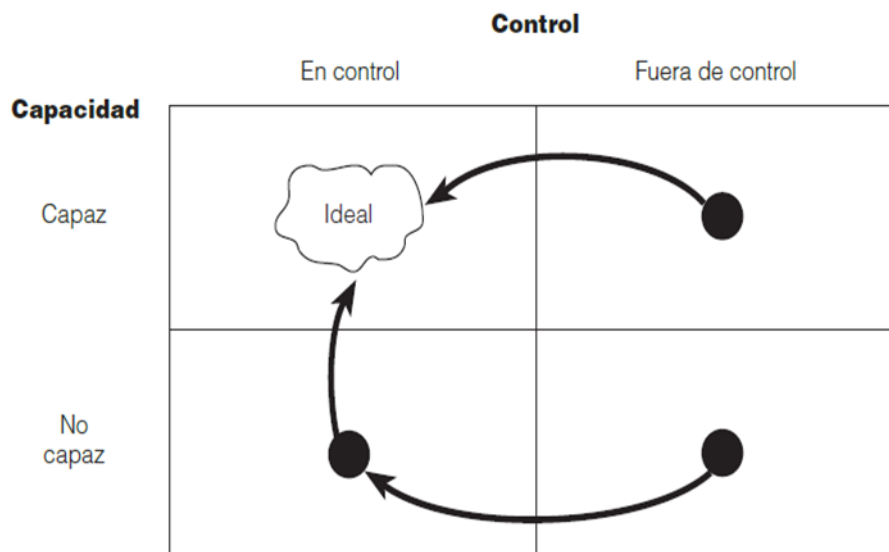
Los límites de las gráficas de control señalan cuando cambia la media o variancia del proceso. Sin embargo, un proceso que está en control estadístico, quizá no está produciendo los servicios o productos de acuerdo a las especificaciones de diseño porque los límites de control se basan en la media y la variabilidad de la distribución muestral, no en las especificaciones de diseño.

La capacidad del proceso se refiere a la habilidad del este para cumplir las especificaciones de diseño para un servicio o producto. Las especificaciones de diseño, con frecuencia, se expresan como un valor nominal o meta, y una tolerancia o valores permitidos arriba o abajo del valor nominal (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

Dicho de otro modo, La habilidad de un proceso para cumplir las especificaciones de diseño, establecidas por ingeniería de diseño o por los requerimientos del cliente, se

denomina habilidad del proceso. Aun cuando un proceso esté bajo control estadístico (estable), el resultado de ese proceso podría no apegarse a las especificaciones (Heizer y Render, 2014).





*Figura 1. Capacidad vs. Control* (las flechas indican la dirección de la acción Administrativa apropiada).

Fuente: (Evans y Lindsay, 2008).

En la figura, se puede observar las situaciones que se podrían presentar: proceso fuera de control pero capaz, proceso fuera de control e incapaz, proceso bajo control pero incapaz. Y la situación ideal proceso bajo control y capaz.

### Razón de habilidad del proceso (Cp)

Para que un proceso sea capaz, sus valores deben caer dentro de las especificaciones superior e inferior. Por lo general, esto significa que la habilidad del proceso está dentro de  $\pm 3$  desviaciones estándar de la media del proceso. Como este rango de valores es de 6 desviaciones estándar, la tolerancia de un proceso capaz, la tolerancia de un proceso capaz, que es la diferencia entre las especificaciones superior e inferior, debe ser mayor o igual a 6 (Heizer y Render, 2014).

Podemos intuir que un proceso es capaz si su variabilidad es menor que la amplitud de tolerancia por las especificaciones.

La razón de la habilidad del proceso, **Cp**, se calcula como:

*Ecuación 5. Razón de capacidad de proceso*

$$C_p = \frac{\text{Especificacion superior} - \text{Especificacion inferior}}{6\sigma}$$

### Índice de habilidad del proceso (Cpk)

Índice de capacidad que mide el potencial del proceso para generar productos defectuosos en relación con la especificación superior o inferior.

La fórmula para Cpk es:

*Ecuación 6. Índice de capacidad de proceso*

$$C_{pk} = \text{Minimo de } \left[ \frac{\bar{X} - \text{Especificacion inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{Especificacion superior} - \bar{X}}{3\sigma} \right]$$

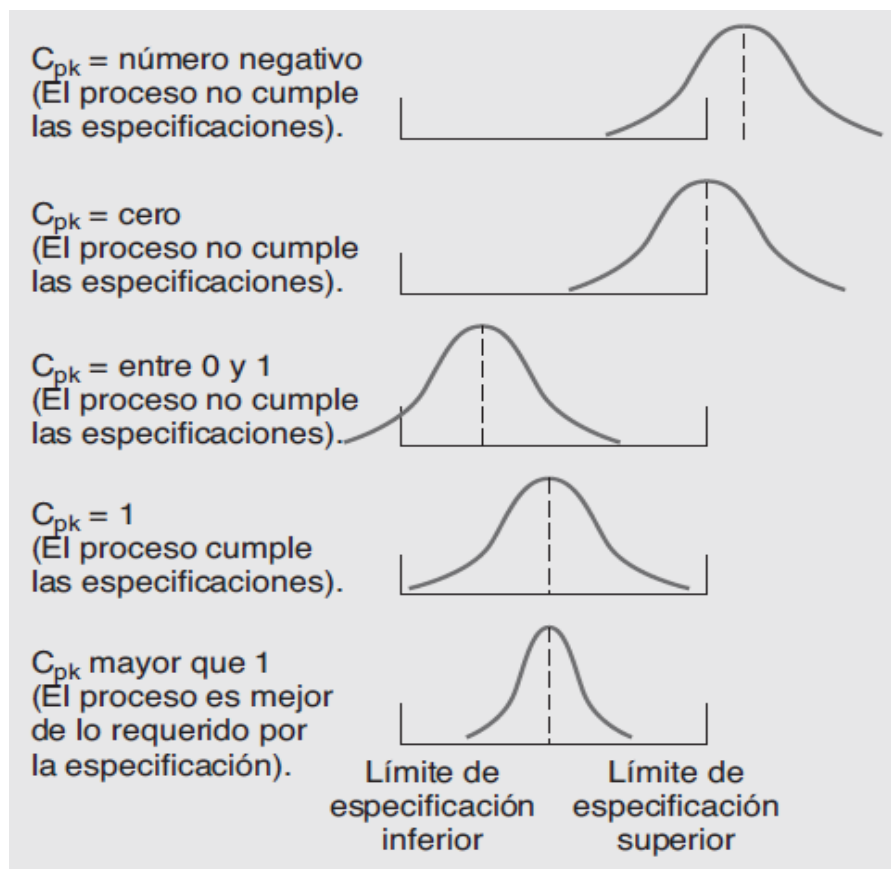


Figura 2. Significados de medidas del Cpk

Fuente: (Heizer y Render, 2014).

En la figura, se representa la distribución normal y la variabilidad de los datos, para resultados

$C_{pk} < 1$  el proceso está descentrado, para  $C_{pk} \geq 1$  el proceso está centrado.

Valor del índice $C_p$	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

*Figura 3. Valores  $C_p$  y su interpretación*

Fuente: (Gutiérrez y De La Vara, 2013)

En la figura se muestra la valoración del valor de índice de la razón de capacidad de proceso ( $C_p$ ).

## 2.2. Procedimiento

Para el procedimiento de la presente tesis es necesario tener en cuenta las características intrínsecas de las muestras. Cada prueba o medición que se realizara consta de 31 datos independientes, que no necesariamente deberían ser iguales porque cada dato tomado corresponde a un posicionamiento diferente del instrumento conforme va descendiendo en el interior del taladro, estos datos corresponden a la trayectoria medida en el pozo de prueba de 0m a 150m de profundidad.

Los datos más relevantes que se utilizara para la presente tesis son: el azimut y la inclinación de los cuales se realizara un análisis independiente para cada uno de estos indicadores.

Cabe mencionar que parte de las características del equipo de medición ReflexGyro es que dicho equipo mide la inclinación autónomamente, mientras que respecto al azimut mide la desviación respecto al valor del azimut del punto 0 metros hasta el metraje final.

Para la presente tesis se utilizara gráficos de control  $\bar{X}$  para variables continuas con desviación estándar y el análisis de capacidad de procesos para medir el desempeño(control) y cumplimiento de especificación (capacidad) respectivamente del instrumento ReflexGyro E449 mediante los indicadores azimut e inclinación, cabe mencionar que se hizo uso del programa Excel para los cálculos y gráficos.

Gráfico de Procesos : Medición en Pozo de Prueba

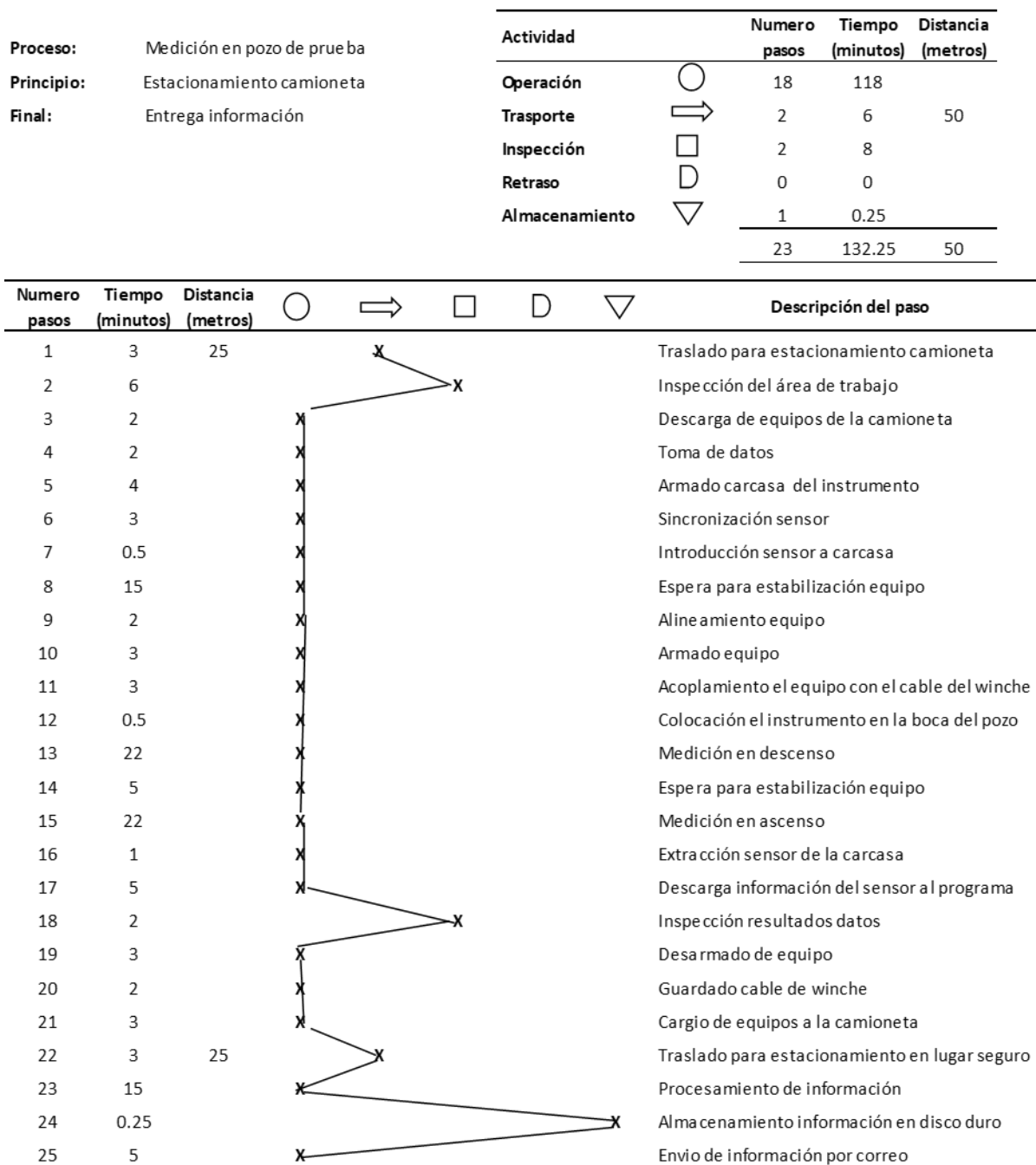


Figura 4. Gráfico de procesos medición en pozo de prueba  
Fuente: elaboración propia

Se muestra el desarrollo del proceso de medición en el pozo de prueba

**MEDICIÓN DEL CONTROL Y CAPACIDAD REFLEXGYRO E449**

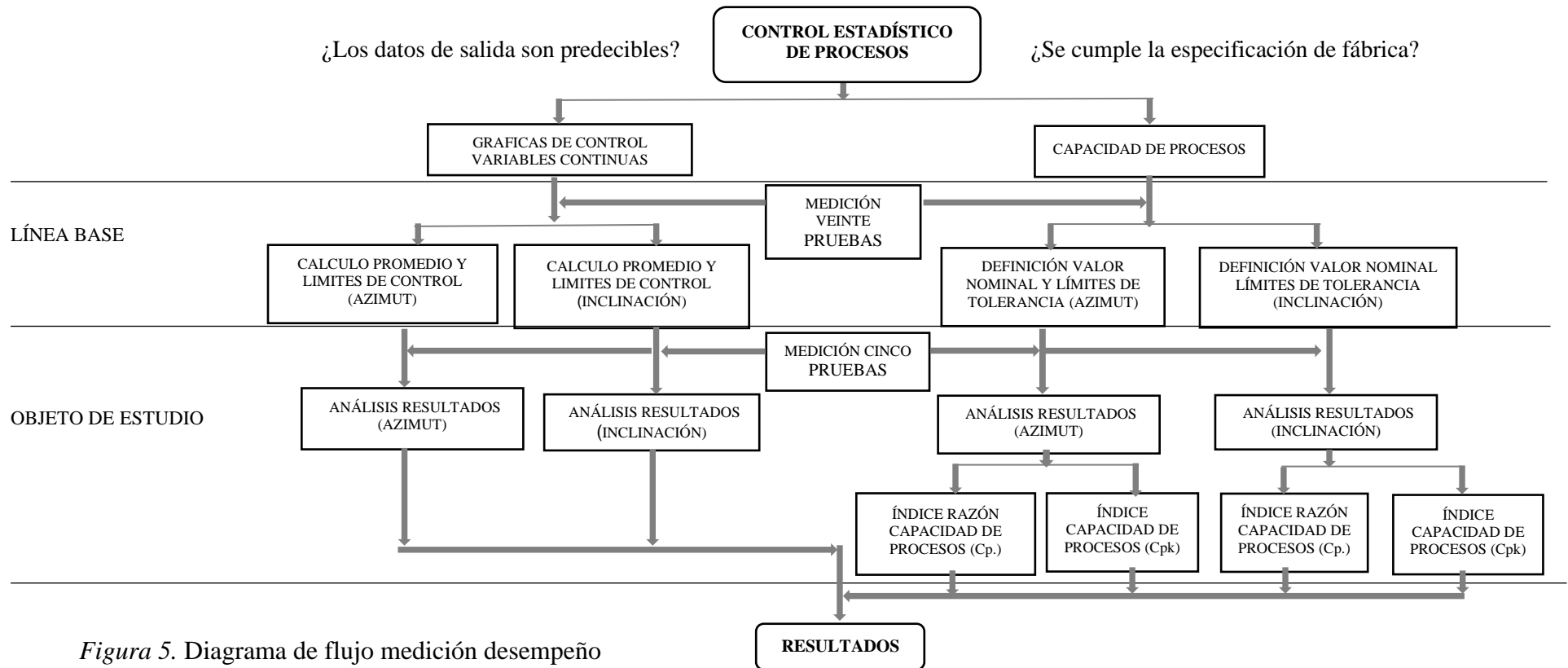


Figura 5. Diagrama de flujo medición desempeño

Fuente: elaboración propia

Se muestra el proceso de la investigación

### 2.3.1 Cálculo de la línea central y límites de control y uso de gráficos de control $\bar{X}$

En una primera fase se debe realizar veinte mediciones en pozo de prueba con el instrumento ReflexGyroE449, para la obtención de datos necesarios para el trazado de la media y los límites de control como parte de los gráficos para variables continuas.

Las mediciones se realizarán en pozo de simulación a una profundidad de 150m con azimut predefinido de 60° como dato absoluto e inclinación predefinido de 60° como dato referencial, obteniendo como resultado los datos de dos indicadores: el azimut y la inclinación cuyos valores serán utilizados para la elaboración de gráficos de control de variables continuas y análisis de capacidad de procesos.

En una segunda fase se realizará cinco mediciones en pozo de prueba con el instrumento ReflexGyroE449, para obtención de datos, los mismos que se utilizarán para plasmarlos en las gráficas, analizarlos, y contrastarlos con la línea base.

Una vez obtenido los datos del azimut e inclinación de las veinte pruebas se procede a elaborar el gráfico  $\bar{X}$  con desviación estándar, con el programa Excel. Definiendo el promedio y la desviación estándar tomando como referencia para el trazado, tres desviaciones estándar sobre la media y tres desviaciones estándar por debajo de la media, basándonos en las cartas de control tipo Shewhart y la relación de la media con la desviación estándar.



### **2.3.2 Cálculo del desempeño del instrumento ReflexGyro E449 mediante el gráfico $\bar{X}$ de control para variables continuas**

Posteriormente se contrastará el desempeño de manera individual de cada una de las cinco pruebas tanto para el indicador azimut como el indicador inclinación con los parámetros establecidos en la línea base para ver si sus desempeños son consistentes a través del tiempo con los patrones base.

### **2.3.3 Cálculo de la capacidad de procesos para el cumplimiento de especificaciones del instrumento ReflexGyro E449 mediante la razón de capacidad de procesos e índice de capacidad de procesos**

Para la medición de la capacidad de procesos respecto al instrumento de medición de taladros geológicos ReflexGyro con código E449, se considerara como valor nominal u objetivo a la media de los datos de las veinte primeras pruebas tanto del azimut como de la inclinación, y como los límites de tolerancia se tomaran los valores de las especificaciones de fábrica del mencionado instrumento respecto al margen de error de precisión en inclinación de +/- 0.3 grados y en azimut de +/- 0.5 grados.

Estos parámetros se contrastaran con los datos de las cinco mediciones.

En la presente tesis la capacidad de procesos se midió con los índices: Razón de capacidad de procesos  $C_p$ , e Índice de capacidad de procesos  $C_{pk}$ .

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

A continuación se presenta a la empresa donde se realizó el presente estudio:

Geodata Control Perú SAC es una empresa cajamarquina, especializada en levantamiento y verificación de rumbo en taladros geológicos en el sector minero. Ha prestado su servicio a diferentes titulares mineros alrededor de Cajamarca.

#### Visión

“Ser la principal empresa de medición de sondajes en el Perú antes del 2022. Liderar en tecnología y procesos de medición certificados en calidad, medio ambiente y responsabilidad social.”

#### Misión

“Contribuir con el desarrollo de las exploraciones y la industria minera responsable, aplicando procedimientos y estándares que aporten en la sostenibilidad de nuestras actividades y la de nuestros clientes. Nuestras operaciones las realizamos con excelencia, calidad y transparencia para lograr la plena satisfacción de nuestros clientes manteniendo la calidad de nuestros servicios de forma integral.”

### 3.1. Resultados cálculo de la línea central y límites de control para línea base

#### 3.1.1 Resultados registro de mediciones

Tabla 4

*Registro de medición*

SURVEY FILE:	POPRU-01					
PERFORACION EN:	POZO DE PRUEBA					
MAQUINA:	POZO DE PRUEBA					
GIROSCOPIO:	ReflexGyro E449					
OPERADOR:	JOE DÍAZ MESTANZA					
COMPAÑÍA:	GEODATA CONTROL PERÚ S.A.C					
<b>POPRU-01</b>						
Station m	Dip deg	Azimuth deg	Easting m	Northing m	Elevation m	
0	-62.620	60.000		0	0	0
5	-62.200	59.460		2	1.17	-4.43
10	-61.550	59.380		4.03	2.37	-8.84
15	-61.550	59.780		6.08	3.57	-13.24
20	-61.810	60.130		8.14	4.76	-17.64
25	-61.360	60.170		10.2	5.94	-22.04
30	-61.630	59.780		12.27	7.14	-26.43
35	-61.730	60.230		14.32	8.32	-30.83
40	-61.940	60.440		16.37	9.49	-35.24
45	-62.050	60.390		18.41	10.65	-39.65
50	-61.950	60.600		20.46	11.81	-44.07
55	-61.950	61.040		22.51	12.95	-48.48
60	-62.100	61.470		24.56	14.08	-52.9
65	-61.910	61.650		26.63	15.2	-57.31
70	-61.910	61.450		28.7	16.32	-61.72
75	-61.990	61.130		30.76	17.45	-66.14
80	-62.060	61.190		32.81	18.58	-70.55
85	-61.920	60.820		34.87	19.72	-74.97
90	-62.000	60.880		36.92	20.86	-79.38
95	-61.880	60.760		38.97	22.01	-83.79
100	-61.700	60.990		41.04	23.16	-88.2
105	-61.840	61.050		43.11	24.31	-92.6
110	-62.070	61.060		45.17	25.45	-97.02
115	-62.500	60.490		47.19	26.58	-101.44
120	-62.590	60.250		49.2	27.72	-105.88
125	-62.650	60.200		51.19	28.86	-110.32
130	-62.670	60.150		53.19	30	-114.76
135	-62.840	59.650		55.17	31.15	-119.21
140	-62.710	59.600		57.14	32.31	-123.65
145	-63.000	59.010		59.1	33.47	-128.1
150	-62.630	58.430		61.05	34.66	-132.55

Fuente: Geodata control Perú SAC

Tabla 5  
*Consolidado datos azimuth veinte mediciones*

20 PRUEBAS (LINEA BASE) AZIMUT																				
metros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
5	59.460	59.905	59.802	60.112	60.397	60.417	59.692	59.742	59.810	59.700	59.742	59.432	59.561	59.036	59.128	59.155	58.863	59.768	59.203	59.460
10	59.380	59.992	59.591	60.030	60.015	61.064	59.605	59.860	59.894	59.612	59.657	59.110	59.404	59.039	59.829	59.186	59.603	59.870	59.644	59.535
15	59.780	60.274	59.821	60.272	60.077	60.941	59.771	59.928	60.089	59.866	59.987	59.242	59.923	59.296	59.946	59.280	59.894	59.782	59.676	59.699
20	60.130	60.156	59.926	60.088	60.167	60.607	59.646	59.722	59.925	59.792	59.789	59.018	59.739	59.316	60.628	58.997	59.971	59.416	59.844	59.608
25	60.170	60.109	59.922	59.984	60.401	60.616	59.638	59.984	59.906	59.785	59.697	58.849	59.668	59.169	60.435	58.888	59.812	59.307	59.745	59.392
30	59.780	60.344	60.037	60.319	60.405	60.794	59.796	60.122	60.078	59.984	59.985	59.102	59.847	59.419	60.874	59.081	60.099	59.651	60.158	59.526
35	60.230	60.245	60.042	60.169	60.642	60.750	59.682	60.198	60.195	59.836	59.817	59.016	60.021	59.323	60.918	58.930	60.026	59.478	59.831	59.478
40	60.440	60.197	59.924	60.164	60.655	60.740	59.657	60.149	60.242	60.036	59.779	59.010	59.755	59.420	60.604	59.046	60.087	59.483	59.962	59.509
45	60.390	60.208	60.006	60.210	60.671	60.829	59.759	60.153	60.204	60.142	59.677	59.029	59.815	59.367	60.924	59.119	59.988	59.486	59.939	59.509
50	60.600	60.689	60.569	60.617	61.219	61.120	60.061	60.620	60.611	60.497	60.179	59.389	60.046	59.708	61.036	59.381	60.256	59.782	60.324	59.919
55	61.040	61.013	60.833	61.022	61.438	61.571	60.408	61.021	61.018	61.058	60.694	59.985	60.532	60.083	61.423	59.826	60.651	60.351	60.702	60.306
60	61.470	61.175	60.900	61.106	61.518	61.641	60.471	61.194	61.339	60.858	60.734	60.104	60.671	60.437	61.617	59.928	60.789	60.533	60.826	60.583
65	61.650	61.134	60.830	61.090	61.431	61.538	60.358	61.237	61.378	60.981	60.948	60.025	60.677	60.382	61.764	59.942	60.929	60.482	60.932	60.547
70	61.450	60.855	60.613	60.712	61.232	61.429	59.802	60.861	60.986	60.773	60.465	59.850	60.552	60.007	61.667	59.741	60.888	60.147	60.705	60.264
75	61.130	60.552	60.201	60.305	60.714	61.025	59.265	60.633	60.674	60.423	60.392	59.421	60.167	59.482	61.668	59.448	60.542	59.753	60.388	60.013
80	61.190	60.537	60.104	60.350	60.739	61.053	59.394	60.670	60.689	60.451	60.054	59.352	60.142	59.509	61.607	59.374	60.373	59.734	60.442	60.038
85	60.820	60.794	60.402	60.633	60.965	61.272	59.537	60.524	60.681	60.457	60.276	59.486	60.098	59.619	61.458	59.154	60.327	59.694	60.194	59.897
90	60.880	60.483	60.252	60.411	60.793	61.110	59.337	60.771	60.682	60.368	60.098	59.296	59.992	59.617	61.426	59.205	60.400	59.633	60.230	59.992
95	60.760	60.908	60.616	60.738	61.220	61.370	59.814	60.880	60.800	60.671	60.262	59.627	60.207	59.713	61.374	59.426	60.580	59.909	60.373	60.118
100	60.990	61.042	60.630	60.659	61.349	61.552	59.941	60.971	60.830	60.911	60.564	59.768	60.251	59.885	61.495	59.414	60.657	59.989	60.552	60.306
105	61.050	60.765	60.331	60.709	60.942	61.447	59.805	60.892	60.895	60.991	60.403	59.967	60.248	59.871	61.401	59.382	60.610	59.964	60.538	60.245
110	61.060	60.517	60.019	60.162	60.636	61.019	59.272	60.392	60.302	60.651	59.817	59.568	59.820	59.345	60.921	58.668	60.232	59.487	60.018	59.674
115	60.490	60.345	59.873	59.950	60.603	60.806	59.068	60.210	60.245	60.377	59.740	59.359	59.549	59.242	60.684	58.764	60.063	59.354	59.887	59.602
120	60.250	60.346	59.744	60.026	60.570	60.913	59.122	60.112	60.147	60.190	59.739	59.204	59.460	59.172	60.550	58.688	59.867	59.354	59.722	59.605
125	60.200	59.976	59.405	59.614	60.295	60.564	58.779	60.022	59.905	60.061	59.510	59.218	59.465	58.987	60.440	58.549	59.732	59.098	59.691	59.510
130	60.150	59.709	59.184	59.370	60.036	60.333	58.653	59.785	59.452	59.739	59.194	58.791	59.174	58.725	60.152	58.166	59.347	58.774	59.360	59.175
135	59.650	58.868	58.318	58.445	59.182	59.409	57.742	59.301	58.890	59.149	58.722	58.372	58.789	57.969	59.484	57.830	59.330	58.067	58.611	58.530
140	59.600	58.169	57.808	57.839	58.396	58.504	57.226	58.350	58.175	58.245	57.724	57.247	58.168	57.225	58.760	56.955	58.069	57.158	57.813	57.699
145	59.010	58.256	57.630	57.940	58.638	58.624	57.608	58.281	57.928	58.258	57.653	57.329	57.979	57.163	58.747	56.642	58.224	57.300	57.954	57.651
150	58.430	57.983	57.590	57.951	58.582	58.502	57.585	58.066	58.016	58.168	57.692	57.366	58.367	56.696	58.353	56.783	58.075	56.972	57.642	57.241

Fuente: Geodata control Perú SAC

Tabla 6  
Consolidado datos inclinación veinte mediciones

20 PRUEBAS (LINEA BASE) INCLINACIÓN																				
metros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	-62.620	-62.360	-62.266	-62.341	-62.257	-62.323	-62.259	-62.521	-62.373	-62.458	-62.405	-62.420	-62.398	-62.393	-62.441	-62.450	-62.422	-62.433	-62.400	-62.408
5	-62.200	-61.629	-61.429	-61.468	-62.354	-61.480	-61.318	-61.642	-61.479	-61.600	-61.570	-61.631	-61.589	-61.523	-61.907	-61.656	-62.074	-61.713	-61.840	-61.458
10	-61.550	-61.376	-61.232	-61.294	-61.631	-61.256	-61.155	-61.328	-61.205	-61.316	-61.292	-61.351	-61.411	-61.228	-61.322	-61.273	-61.447	-61.402	-61.324	-61.138
15	-61.550	-61.702	-61.649	-61.691	-61.291	-61.811	-61.514	-61.659	-61.686	-61.693	-61.665	-61.627	-61.688	-61.607	-61.590	-61.658	-61.333	-61.773	-61.447	-61.514
20	-61.810	-61.672	-61.532	-61.611	-61.673	-61.693	-61.378	-61.622	-61.622	-61.672	-61.606	-61.607	-61.686	-61.562	-61.566	-61.608	-61.694	-61.727	-61.575	-61.482
25	-61.360	-61.468	-61.288	-61.405	-61.464	-61.490	-61.205	-61.411	-61.423	-61.426	-61.367	-61.376	-61.429	-61.355	-61.279	-61.336	-61.536	-61.476	-61.403	-61.228
30	-61.630	-61.657	-61.586	-61.611	-61.317	-61.728	-61.516	-61.634	-61.665	-61.664	-61.608	-61.609	-61.701	-61.587	-61.443	-61.575	-61.555	-61.640	-61.588	-61.456
35	-61.730	-61.835	-61.761	-61.811	-61.534	-61.901	-61.657	-61.764	-61.761	-61.796	-61.739	-61.723	-61.810	-61.725	-61.692	-61.654	-61.743	-61.785	-61.680	-61.556
40	-61.940	-61.814	-61.770	-61.816	-61.690	-61.905	-61.638	-61.847	-61.781	-61.820	-61.757	-61.773	-61.874	-61.728	-61.762	-61.750	-61.847	-61.762	-61.751	-61.577
45	-62.050	-61.746	-61.660	-61.765	-61.691	-61.825	-61.552	-61.750	-61.816	-61.731	-61.694	-61.699	-61.815	-61.663	-61.697	-61.651	-61.804	-61.699	-61.824	-61.525
50	-61.950	-61.776	-61.682	-61.790	-61.629	-61.846	-61.760	-61.722	-61.816	-61.797	-61.701	-61.770	-61.800	-61.674	-61.688	-61.666	-61.719	-61.725	-61.776	-61.540
55	-61.950	-61.860	-61.769	-61.878	-61.711	-61.940	-61.896	-61.830	-61.894	-61.868	-61.783	-61.823	-61.638	-61.754	-61.945	-61.765	-61.792	-61.921	-61.924	-61.598
60	-62.100	-62.100	-61.972	-62.042	-61.930	-62.154	-62.103	-62.007	-62.145	-62.096	-62.113	-62.003	-61.936	-62.015	-61.939	-61.952	-61.958	-62.185	-62.059	-61.836
65	-61.910	-62.050	-62.008	-61.989	-61.915	-62.109	-62.113	-62.126	-62.088	-62.079	-62.037	-61.983	-61.949	-61.967	-61.804	-61.971	-62.066	-62.123	-62.050	-61.818
70	-61.910	-62.069	-62.043	-62.023	-61.970	-62.104	-62.222	-62.096	-62.056	-62.095	-62.064	-61.998	-61.994	-61.990	-62.025	-61.974	-62.087	-62.099	-61.817	-61.807
75	-61.990	-62.176	-62.071	-62.069	-62.038	-62.235	-62.182	-62.186	-62.102	-62.187	-62.169	-62.097	-62.091	-62.100	-62.065	-62.063	-62.145	-61.956	-61.974	-61.915
80	-62.060	-61.994	-61.939	-61.925	-61.917	-62.040	-62.073	-62.051	-61.954	-62.021	-62.030	-61.952	-61.974	-61.943	-61.943	-61.885	-62.017	-61.791	-61.770	-61.765
85	-61.920	-62.183	-62.060	-62.112	-62.013	-62.249	-62.148	-62.199	-62.101	-62.196	-62.244	-62.136	-62.160	-62.100	-62.124	-62.073	-62.170	-61.959	-61.926	-61.967
90	-62.000	-62.001	-61.905	-61.897	-61.848	-62.015	-62.008	-62.083	-61.951	-62.028	-62.057	-62.057	-61.759	-61.895	-61.957	-61.922	-62.053	-61.775	-61.795	-61.826
95	-61.880	-61.870	-61.758	-61.758	-61.719	-61.804	-61.884	-61.931	-61.775	-61.888	-61.916	-61.870	-61.669	-61.748	-61.786	-61.751	-61.912	-61.617	-61.633	-61.645
100	-61.700	-62.071	-62.020	-61.994	-61.977	-62.092	-62.166	-61.985	-61.877	-61.997	-62.041	-61.969	-61.810	-61.876	-61.892	-61.867	-61.977	-61.749	-61.732	-61.784
105	-61.840	-62.441	-62.335	-62.418	-62.317	-62.396	-62.482	-62.295	-62.211	-62.302	-62.361	-62.266	-62.239	-62.200	-62.235	-62.206	-62.250	-62.095	-62.050	-62.279
110	-62.070	-62.649	-62.567	-62.624	-62.553	-62.633	-62.704	-62.583	-62.487	-62.626	-62.698	-62.590	-62.549	-62.497	-62.519	-62.484	-62.611	-62.398	-62.351	-62.619
115	-62.500	-62.793	-62.703	-62.780	-62.689	-62.800	-62.838	-62.724	-62.645	-62.735	-62.802	-62.712	-62.632	-62.631	-62.652	-62.622	-62.746	-62.506	-62.503	-62.699
120	-62.590	-62.803	-62.687	-62.777	-62.678	-62.770	-62.848	-62.815	-62.672	-62.794	-62.834	-62.793	-62.677	-62.705	-62.724	-62.668	-62.654	-62.568	-62.543	-62.745
125	-62.650	-62.902	-62.783	-62.889	-62.763	-62.899	-62.959	-62.871	-62.769	-62.897	-62.937	-62.878	-62.805	-62.783	-62.845	-62.771	-62.866	-62.657	-62.650	-62.840
130	-62.670	-62.957	-62.827	-62.926	-62.815	-62.951	-63.013	-62.912	-62.805	-62.913	-62.980	-62.921	-62.792	-62.795	-62.862	-62.804	-62.914	-62.667	-62.675	-62.834
135	-62.840	-63.026	-62.916	-63.016	-62.900	-63.025	-63.083	-62.963	-62.857	-63.003	-63.021	-62.969	-62.845	-62.881	-62.981	-62.898	-62.985	-62.773	-62.767	-62.940
140	-62.710	-62.583	-62.430	-62.531	-62.388	-62.589	-62.484	-62.892	-62.792	-62.869	-62.898	-62.877	-62.796	-62.720	-62.692	-62.786	-62.814	-62.513	-62.539	-62.840
145	-63.000	-62.346	-62.190	-62.295	-62.420	-62.278	-62.357	-62.332	-62.215	-62.326	-62.360	-62.320	-62.230	-62.208	-62.240	-62.212	-62.350	-62.061	-62.054	-62.262
150	-62.630	-62.832	-62.833	-62.904	-62.896	-62.932	-62.905	-62.441	-62.436	-62.502	-62.512	-62.510	-62.526	-62.527	-62.527	-62.490	-62.468	-62.342	-62.354	-62.533

Fuente: Geodata control Perú SAC

### 3.1.2 Resultados línea central y límites de control

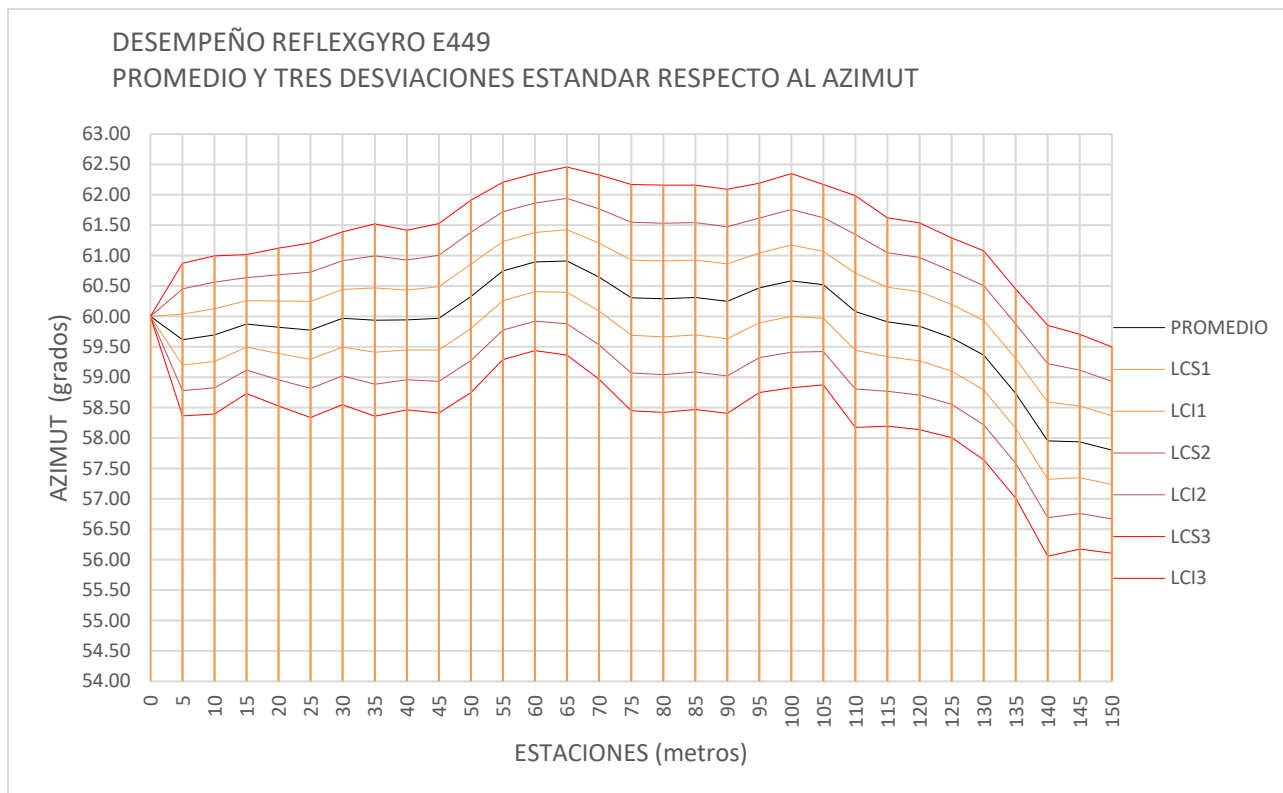
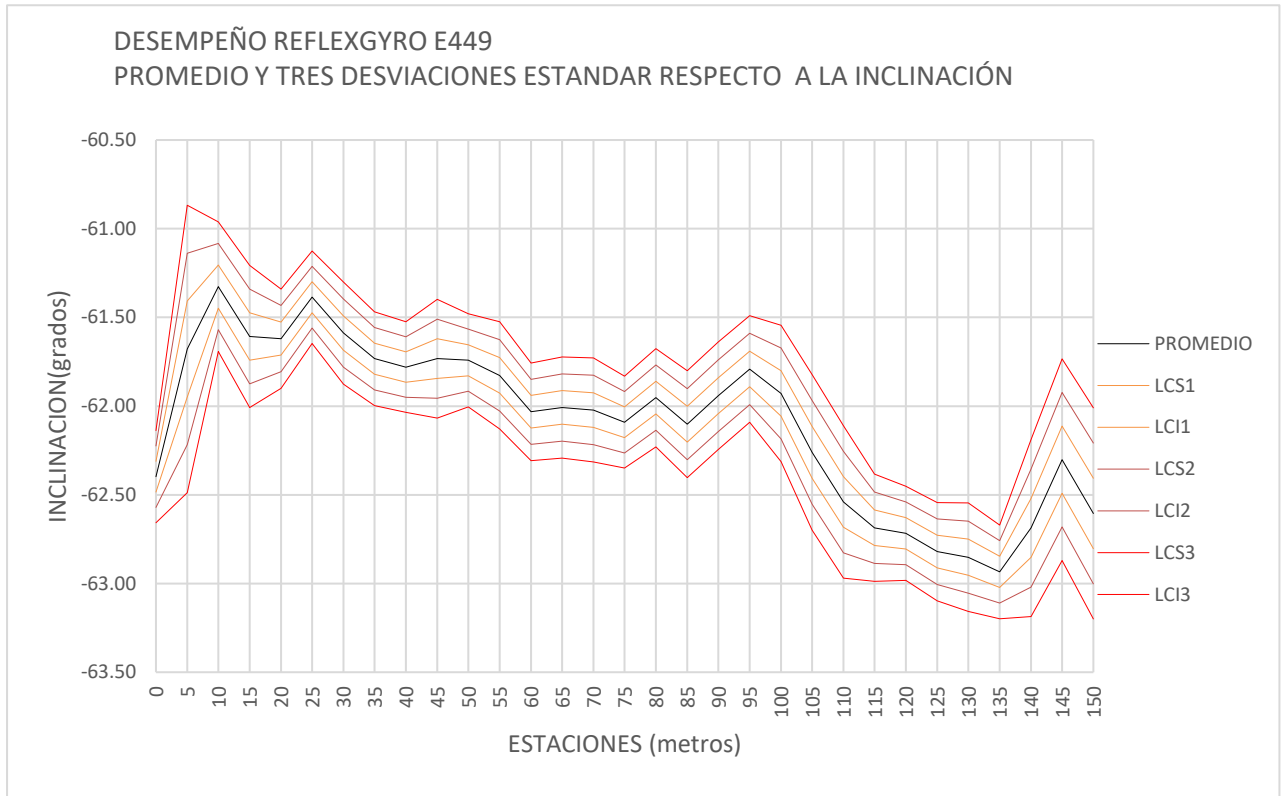


Figura 6. Gráfico promedio y límites de control azimut

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el promedio y los límites de control hasta tres desviaciones estándar respecto al indicador azimut (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).



*Figura 7.* Gráfico promedio y límites de control inclinación

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el promedio y los límites de control hasta tres desviaciones estándar respecto al indicador inclinación (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

### 3.2. Resultados mediante gráficas de control $\bar{X}$ para variables continuas.

#### 3.2.1 Resultados gráficos $\bar{X}$ azimuth.

Tabla 7

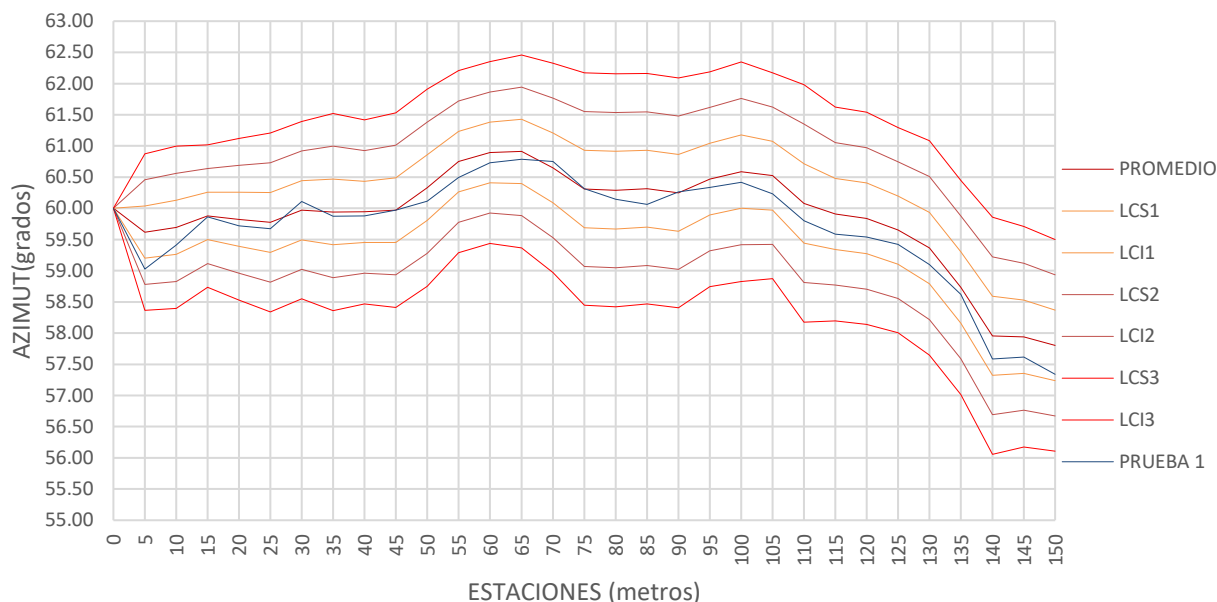
*Consolidado datos azimuth cinco mediciones*

DESVIACIÓN ESTÁNDAR	ESTACIÓN	PROMEDIO	LCS1	LCI1	LCS2	LCI2	LCS3	LCI3	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0.000	0	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
0.419	5	59.62	60.04	59.20	60.46	58.78	60.88	58.36	59.027	59.586	59.805	59.643	59.611
0.434	10	59.70	60.13	59.26	60.56	58.83	61.00	58.40	59.410	59.627	59.944	59.726	59.530
0.381	15	59.88	60.26	59.50	60.64	59.12	61.02	58.73	59.864	59.877	60.221	59.899	59.597
0.432	20	59.82	60.26	59.39	60.69	58.96	61.12	58.53	59.717	59.777	60.093	59.756	59.672
0.478	25	59.77	60.25	59.30	60.73	58.82	61.21	58.34	59.674	59.780	60.182	59.669	59.686
0.474	30	59.97	60.44	59.50	60.92	59.02	61.39	58.55	60.109	60.019	60.598	59.828	59.813
0.527	35	59.94	60.47	59.41	61.00	58.89	61.52	58.36	59.873	59.917	60.544	59.770	59.821
0.492	40	59.94	60.43	59.45	60.93	58.96	61.42	58.47	59.878	60.001	60.706	59.779	59.818
0.519	45	59.97	60.49	59.45	61.01	58.93	61.53	58.41	59.969	60.123	60.728	59.806	59.843
0.527	50	60.33	60.86	59.80	61.38	59.28	61.91	58.75	60.116	60.381	60.950	60.183	60.089
0.486	55	60.75	61.24	60.26	61.72	59.78	62.21	59.29	60.493	60.881	61.363	60.652	60.573
0.485	60	60.89	61.38	60.41	61.87	59.92	62.35	59.44	60.729	60.958	61.480	60.797	60.591
0.515	65	60.91	61.43	60.40	61.94	59.88	62.46	59.37	60.786	60.951	61.402	60.728	60.604
0.559	70	60.65	61.21	60.09	61.77	59.53	62.33	58.97	60.751	60.647	61.199	60.487	60.260
0.620	75	60.31	60.93	59.69	61.55	59.07	62.17	58.45	60.313	60.321	60.998	59.906	60.003
0.623	80	60.29	60.91	59.67	61.54	59.04	62.16	58.42	60.147	60.268	60.926	59.927	59.908
0.615	85	60.31	60.93	59.70	61.54	59.08	62.16	58.47	60.065	60.534	61.152	60.176	60.203
0.614	90	60.25	60.86	59.63	61.48	59.02	62.09	58.41	60.262	60.285	61.086	59.956	60.056
0.574	95	60.47	61.04	59.89	61.62	59.32	62.19	58.75	60.336	60.655	61.316	60.366	60.358
0.587	100	60.59	61.17	60.00	61.76	59.41	62.35	58.83	60.417	60.713	61.348	60.475	60.572
0.550	105	60.52	61.07	59.97	61.62	59.42	62.17	58.87	60.234	60.658	61.110	60.272	60.216
0.635	110	60.08	60.71	59.44	61.35	58.81	61.98	58.17	59.802	60.181	60.566	59.834	59.834
0.571	115	59.91	60.48	59.34	61.05	58.77	61.62	58.20	59.586	59.936	60.598	59.697	59.751
0.567	120	59.84	60.41	59.27	60.97	58.71	61.54	58.14	59.540	59.784	60.631	59.721	59.747
0.548	125	59.65	60.20	59.10	60.75	58.56	61.29	58.01	59.423	59.427	60.210	59.425	59.377
0.573	130	59.36	59.94	58.79	60.51	58.22	61.08	57.65	59.098	59.228	60.020	59.129	59.160
0.573	135	58.73	59.31	58.16	59.88	57.59	60.45	57.02	58.622	58.359	59.056	58.293	58.305
0.633	140	57.96	58.59	57.32	59.22	56.69	59.86	56.06	57.587	57.609	58.685	57.577	57.652
0.589	145	57.94	58.53	57.35	59.12	56.76	59.71	56.17	57.616	57.851	58.666	57.720	57.474
0.566	150	57.80	58.37	57.24	58.93	56.67	59.50	56.11	57.340	57.827	58.847	57.383	57.552

Fuente: elaboración propia



DESEMPEÑO REFLEXGYRO E449 AZIMUT  
PRUEBA 01



*Figura 8.* Gráfico desempeño instrumento medición prueba 1 azimut

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la primera medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos muestrales se ubica ligeramente en la parte inferior del promedio, no sobrepasa el límite de 2 desviaciones estándar es decir los datos ocupan el 95.45 % del área según la distribución normal, hay un punto inusual en la estación 5m requiere observación, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

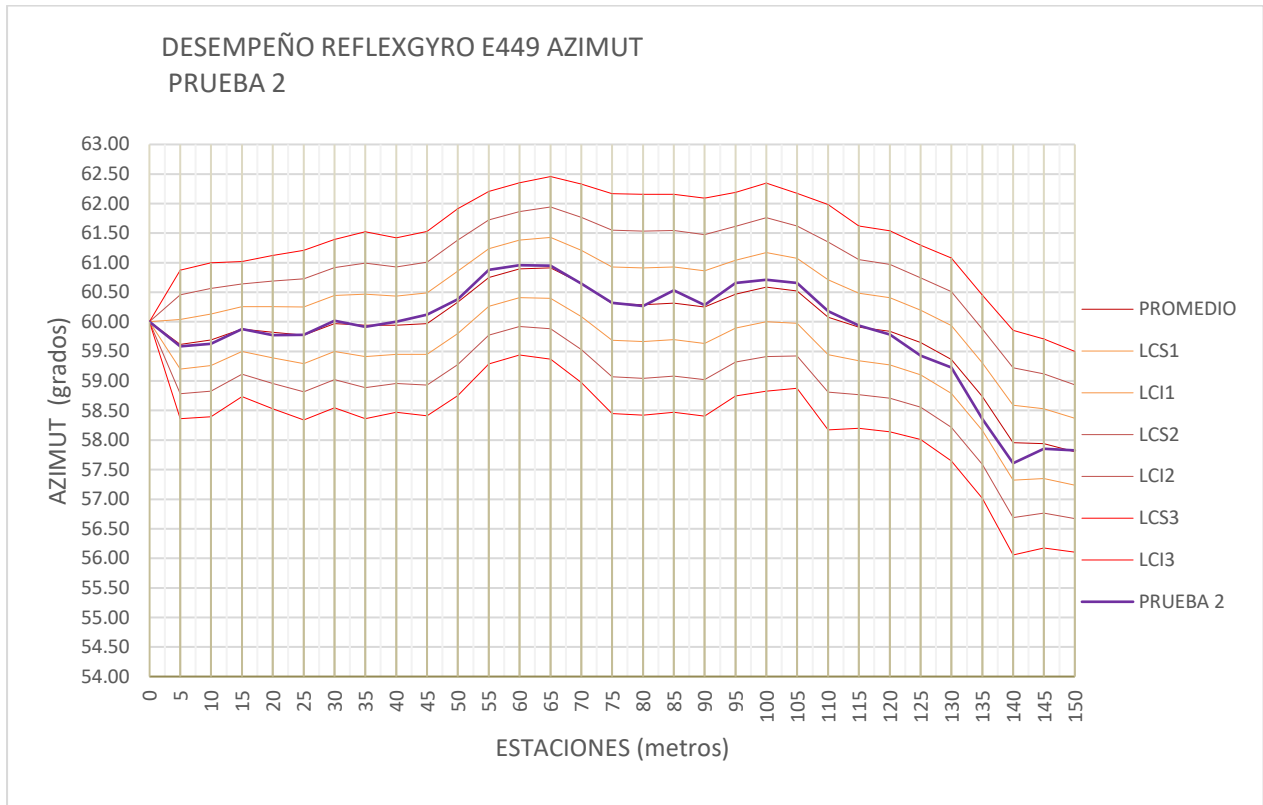


Figura 9. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 2 azimuth

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la segunda medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos muestrales está centrado muy cerca del promedio no sobrepasa el límite de 1 desviaciones estándar es decir los datos ocupan el 68.27% del área según la distribución normal, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

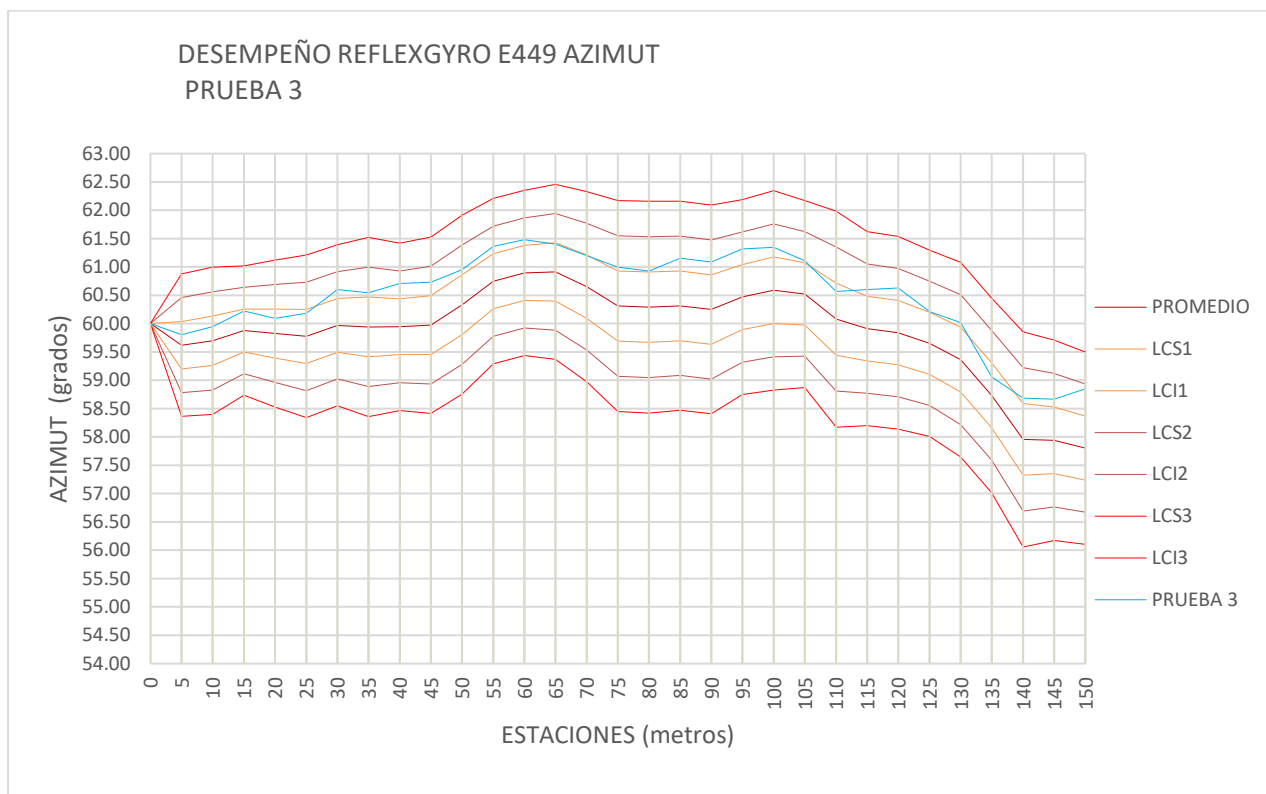


Figura 10. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 3 azimut

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la tercera medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos muestrales se ubica solamente en la parte superior del promedio y no sobrepasa el límite de 2 desviaciones estándar es decir los datos ocupan 95.45% del área según la distribución normal, hay un cambio repentino en la estación 150m requiere observación, no hay puntos fuera de los límites de control la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

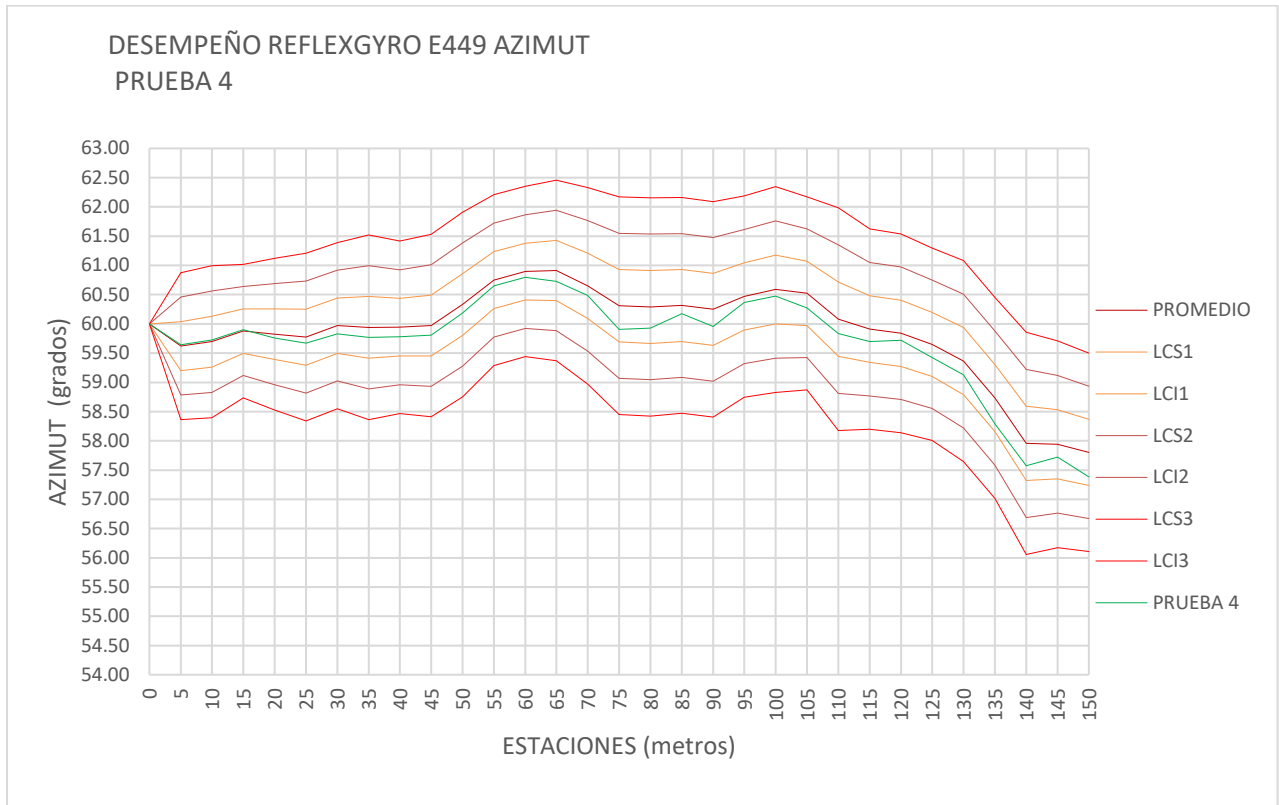


Figura 11. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 4 azimut

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la cuarta medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos muestrales se ubica solamente en la parte inferior del promedio y no sobrepasa el límite de 1 desviaciones estándar es decir los datos ocupan el 68.27% del área según la distribución normal, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

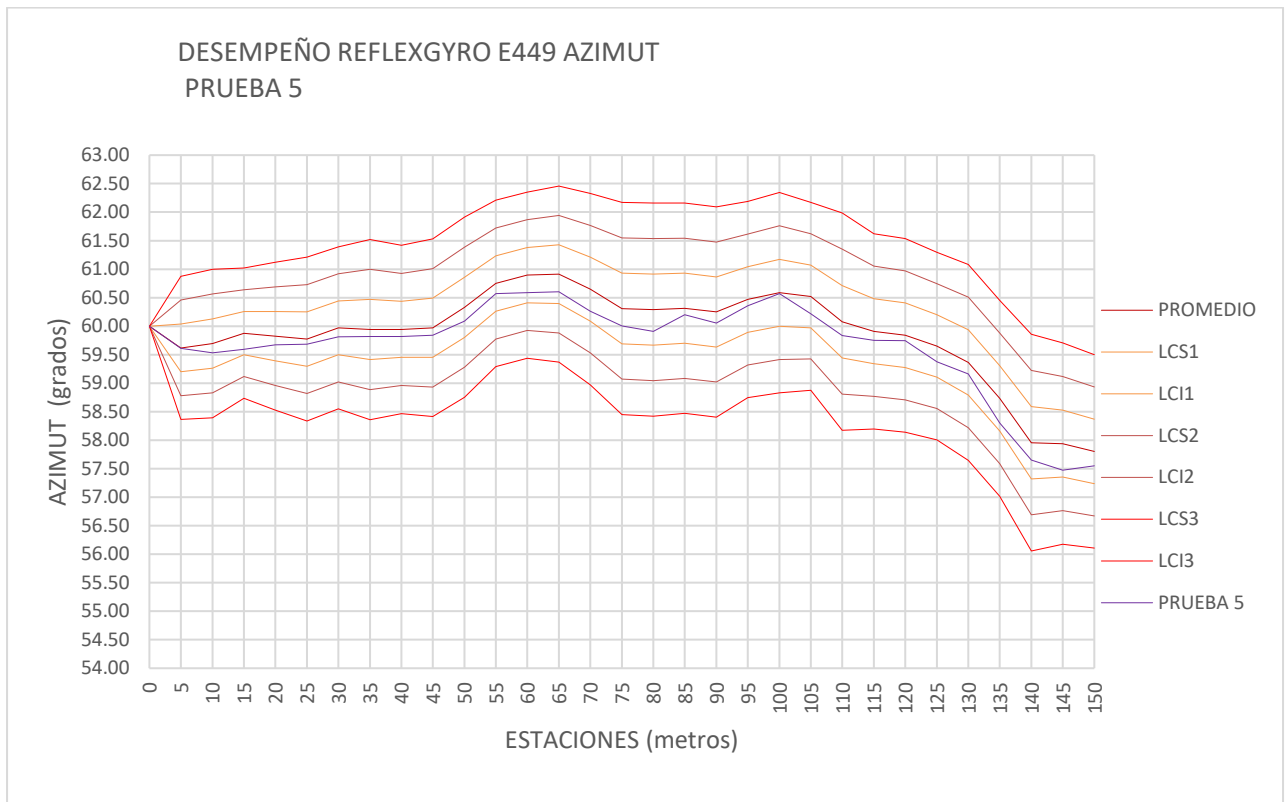


Figura 12. Gráfico desempeño instrumento medición prueba 5 azimuth

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la quinta medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos se ubica solamente en la parte inferior del promedio y no sobrepasa el límite de 1 desviaciones estándar es decir los datos ocupan el 68.27% del área según la distribución normal, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

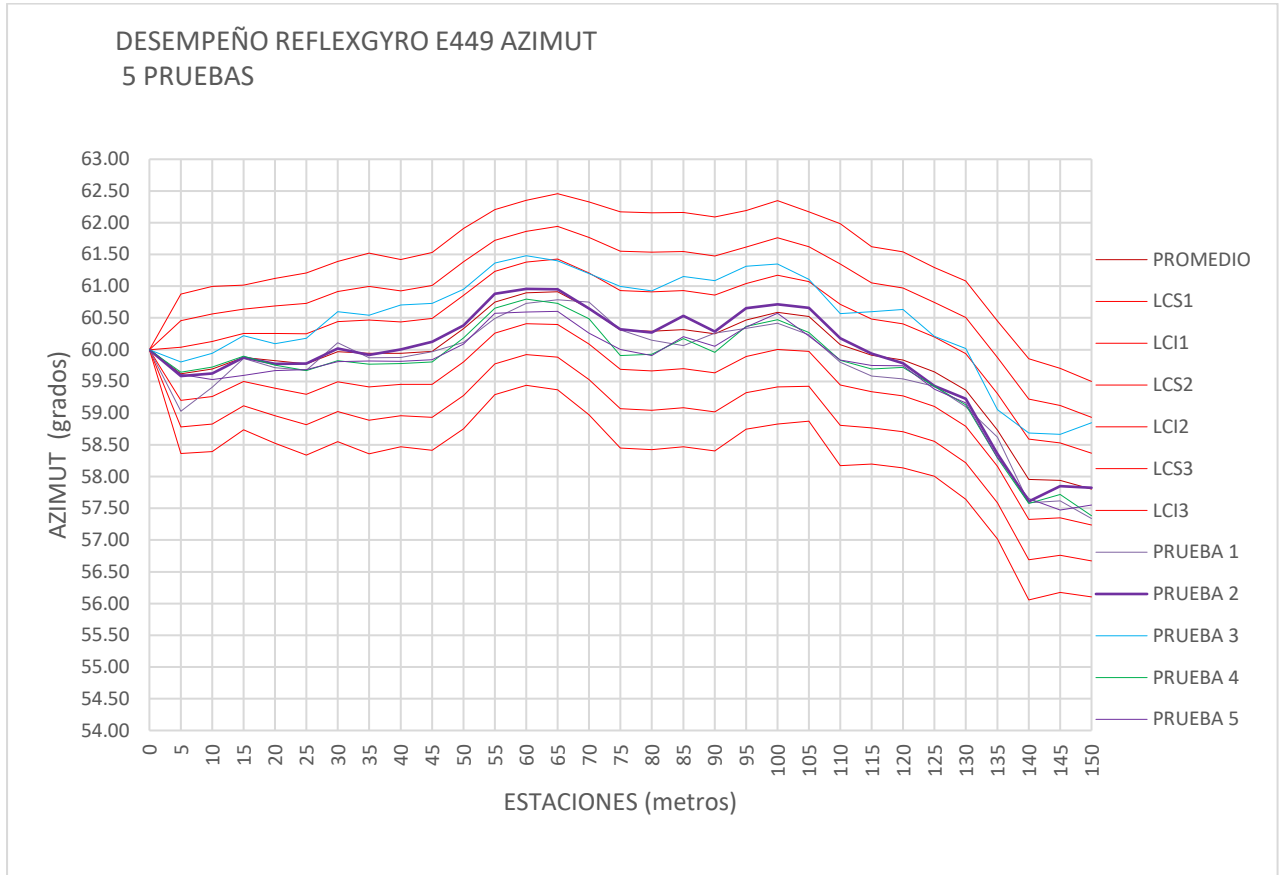


Figura 13. Gráfico desempeño instrumento medición cinco pruebas azimuth

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de las cinco mediciones respecto a la línea base

Se puede notar que las pruebas 1, 2, 4,5 tienen un desempeño parecido ubicándose dentro del límite de 1 desviación estándar es decir ocupan el 68.27% de área a diferencia de la prueba número 3 que se encuentra dentro del rango de dos desviaciones estándar. Hay pocos cambios repentinos que requieren observación, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, en general el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

### 3.2.2 Resultados gráficos $\bar{X}$ inclinación.

Tabla 8  
Consolidado datos inclinación cinco mediciones

DESVIACIÓN ESTÁNDAR	ESTACIÓN	PROMEDIO	LCS1	LCI1	LCS2	LCI2	LCS3	LCI3	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5
0.087	0	-62.40	-62.31	-62.48	-62.22	-62.57	-62.14	-62.66	-62.390	-62.395	-62.286	-62.347	-62.380
0.270	5	-61.68	-61.41	-61.95	-61.14	-62.22	-60.87	-62.49	-61.858	-61.455	-61.523	-61.544	-61.451
0.122	10	-61.33	-61.20	-61.45	-61.08	-61.57	-60.96	-61.69	-61.307	-61.174	-61.272	-61.235	-61.204
0.133	15	-61.61	-61.47	-61.74	-61.34	-61.87	-61.21	-62.01	-61.238	-61.515	-61.640	-61.649	-61.572
0.093	20	-61.62	-61.53	-61.71	-61.43	-61.81	-61.34	-61.90	-61.596	-61.460	-61.354	-61.530	-61.515
0.087	25	-61.39	-61.30	-61.47	-61.21	-61.56	-61.13	-61.65	-61.459	-61.266	-61.734	-61.359	-61.322
0.096	30	-61.59	-61.49	-61.68	-61.40	-61.78	-61.30	-61.88	-61.442	-61.504	-61.649	-61.555	-61.539
0.088	35	-61.73	-61.64	-61.82	-61.56	-61.91	-61.47	-62.00	-61.529	-61.619	-61.652	-61.760	-61.706
0.085	40	-61.78	-61.69	-61.87	-61.61	-61.95	-61.52	-62.04	-61.607	-61.659	-61.647	-61.758	-61.680
0.112	45	-61.73	-61.62	-61.84	-61.51	-61.96	-61.40	-62.07	-61.570	-61.603	-61.665	-61.640	-61.608
0.087	50	-61.74	-61.65	-61.83	-61.57	-61.92	-61.48	-62.00	-61.570	-61.601	-61.695	-61.702	-61.683
0.101	55	-61.83	-61.73	-61.93	-61.63	-62.03	-61.52	-62.13	-61.767	-61.684	-61.769	-61.778	-61.741
0.092	60	-62.03	-61.94	-62.12	-61.85	-62.22	-61.76	-62.31	-61.857	-61.923	-61.991	-61.972	-61.955
0.095	65	-62.01	-61.91	-62.10	-61.82	-62.20	-61.72	-62.29	-61.932	-61.878	-61.966	-61.964	-61.922
0.098	70	-62.02	-61.92	-62.12	-61.83	-62.22	-61.73	-62.32	-61.978	-61.897	-62.010	-62.029	-61.965
0.086	75	-62.09	-62.00	-62.18	-61.92	-62.26	-61.83	-62.35	-62.101	-61.993	-62.113	-61.994	-62.048
0.092	80	-61.95	-61.86	-62.04	-61.77	-62.14	-61.68	-62.23	-61.954	-61.847	-61.955	-61.942	-61.902
0.100	85	-62.10	-62.00	-62.20	-61.90	-62.30	-61.80	-62.40	-62.082	-62.026	-62.126	-62.081	-62.055
0.101	90	-61.94	-61.84	-62.04	-61.74	-62.14	-61.64	-62.24	-61.970	-61.830	-61.915	-61.906	-61.879
0.100	95	-61.79	-61.69	-61.89	-61.59	-61.99	-61.49	-62.09	-61.838	-61.695	-61.789	-61.779	-61.719
0.128	100	-61.93	-61.80	-62.06	-61.67	-62.18	-61.54	-62.31	-61.921	-61.876	-62.004	-62.010	-61.985
0.146	105	-62.26	-62.11	-62.41	-61.97	-62.55	-61.82	-62.70	-62.235	-62.179	-62.350	-62.319	-62.293
0.143	110	-62.54	-62.40	-62.68	-62.25	-62.83	-62.11	-62.97	-62.556	-62.460	-62.677	-62.557	-62.508
0.101	115	-62.69	-62.59	-62.79	-62.48	-62.89	-62.38	-62.99	-62.684	-62.775	-62.820	-62.712	-62.668
0.088	120	-62.72	-62.63	-62.81	-62.54	-62.89	-62.45	-62.98	-62.748	-62.844	-62.839	-62.686	-62.657
0.092	125	-62.82	-62.73	-62.91	-62.64	-63.00	-62.54	-63.10	-62.853	-62.962	-62.920	-62.787	-62.770
0.102	130	-62.85	-62.75	-62.95	-62.65	-63.06	-62.55	-63.16	-62.866	-62.990	-62.958	-62.843	-62.812
0.088	135	-62.93	-62.85	-63.02	-62.76	-63.11	-62.67	-63.20	-62.960	-63.073	-63.050	-62.926	-62.898
0.166	140	-62.69	-62.52	-62.85	-62.36	-63.02	-62.19	-63.19	-62.782	-62.592	-62.578	-62.458	-62.454
0.189	145	-62.30	-62.11	-62.49	-61.92	-62.68	-61.73	-62.87	-62.286	-62.295	-62.123	-62.184	-62.192
0.198	150	-62.60	-62.41	-62.80	-62.21	-63.00	-62.01	-63.20	-62.510	-62.674	-62.654	-62.683	-62.715

Fuente: elaboración propia

Se muestra el procesamiento en Excel de las cinco pruebas respecto a la línea base de la inclinación

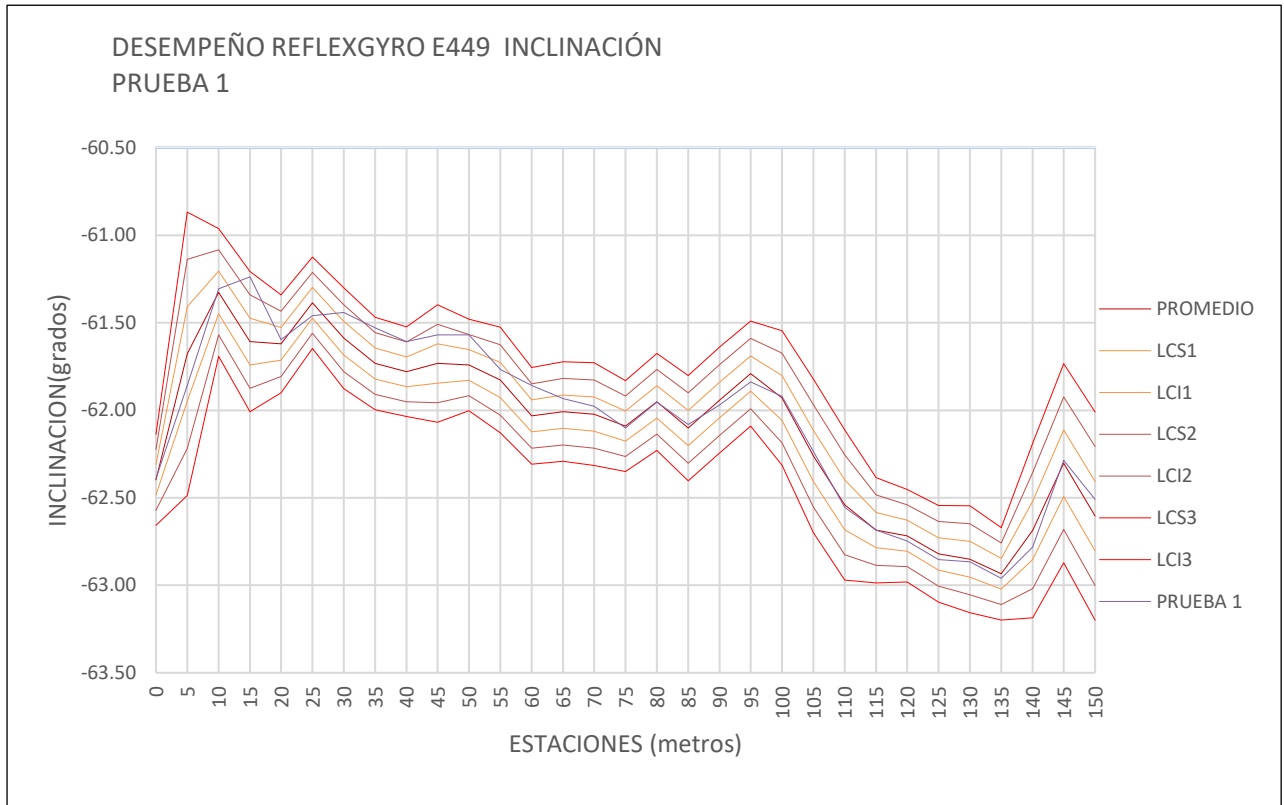


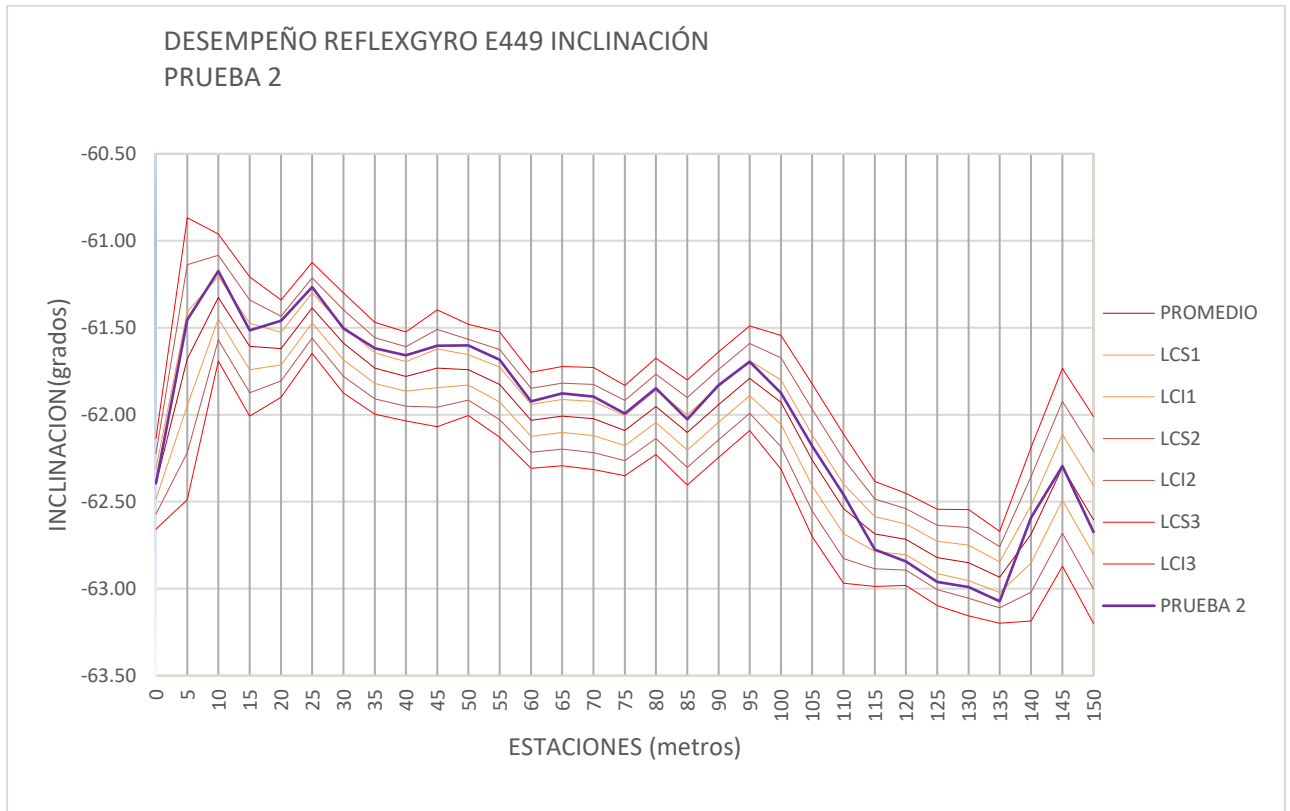
Figura 14. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 1 inclinación

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la primera medición respecto a la línea base

Se observa un comportamiento tipo carrera desde los 30m hasta la estación 50m luego se normaliza se resalta un punto inusual en la estación 15 que llega hasta el rango de tres desviaciones estándar ocupando 99.73% de área según la distribución normal, no hay puntos fuera de control, la variabilidad no es natural es producto de causas asignables, el proceso es inestable requiere observación y tomar medidas. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).





*Figura 15.* Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 2 inclinación

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la segunda medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos va sobre el promedio hasta la estación 110m, dentro del rango de dos desviaciones estándar es decir ocupando el 95.45% de área según la distribución normal, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

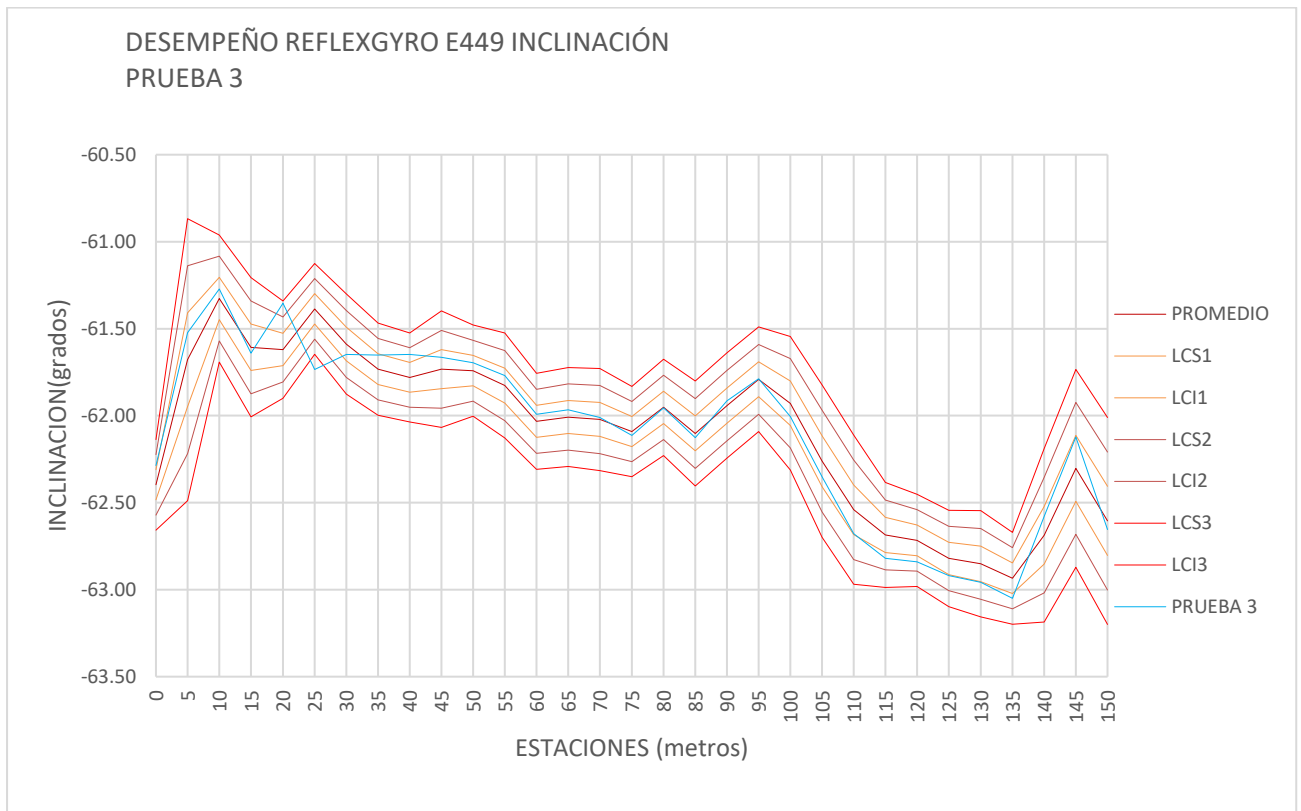


Figura 16. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 3 inclinación.

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la tercera medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo tiene un punto inusual en la estación 20m y el punto 25m se sale fuera del límite de control es decir fuera del rango de tres desviaciones estándar luego se normaliza hasta el final, sin embargo, la variabilidad no es natural es producto de causas asignables, el proceso es inestable requiere observación y tomar medidas. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

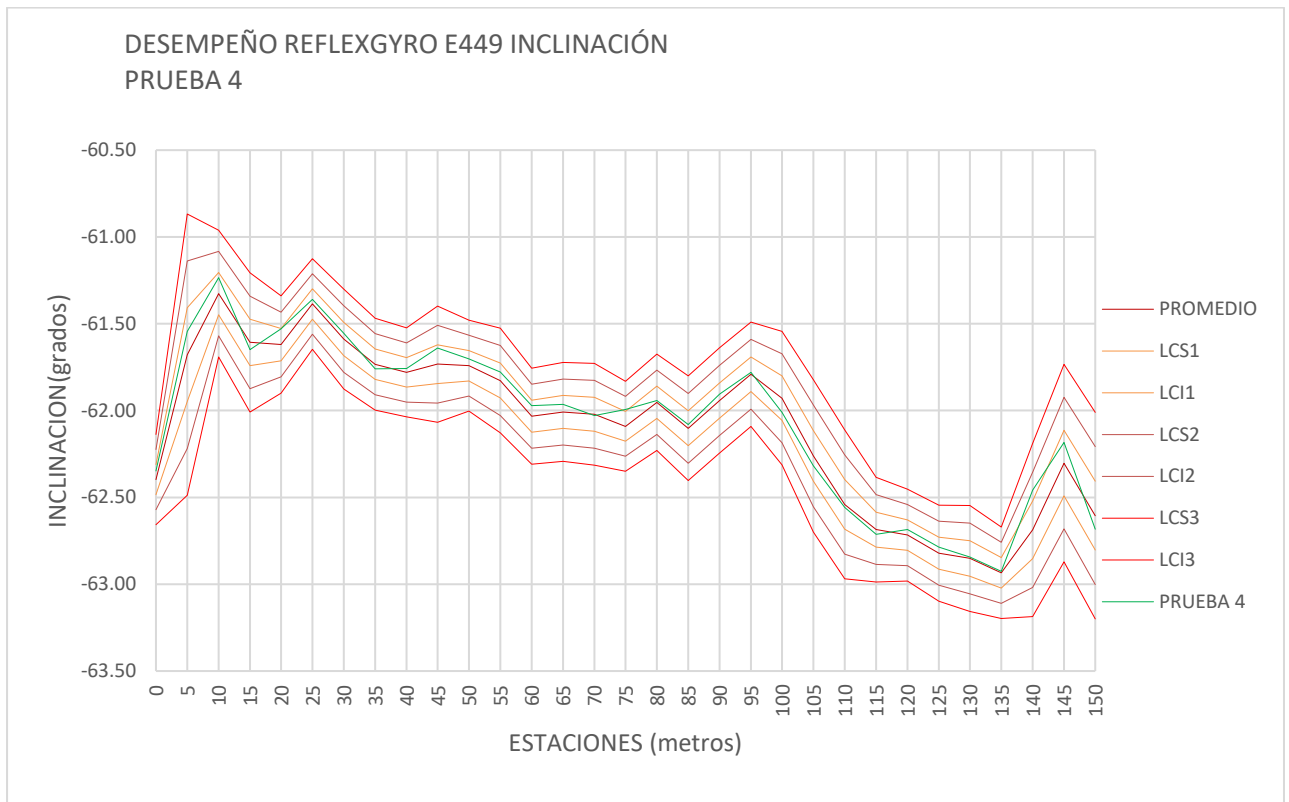


Figura 17. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 4 inclinación

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la cuarta medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos va centrado mayormente dentro del rango de una desviación estándar, no hay puntos fuera de los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

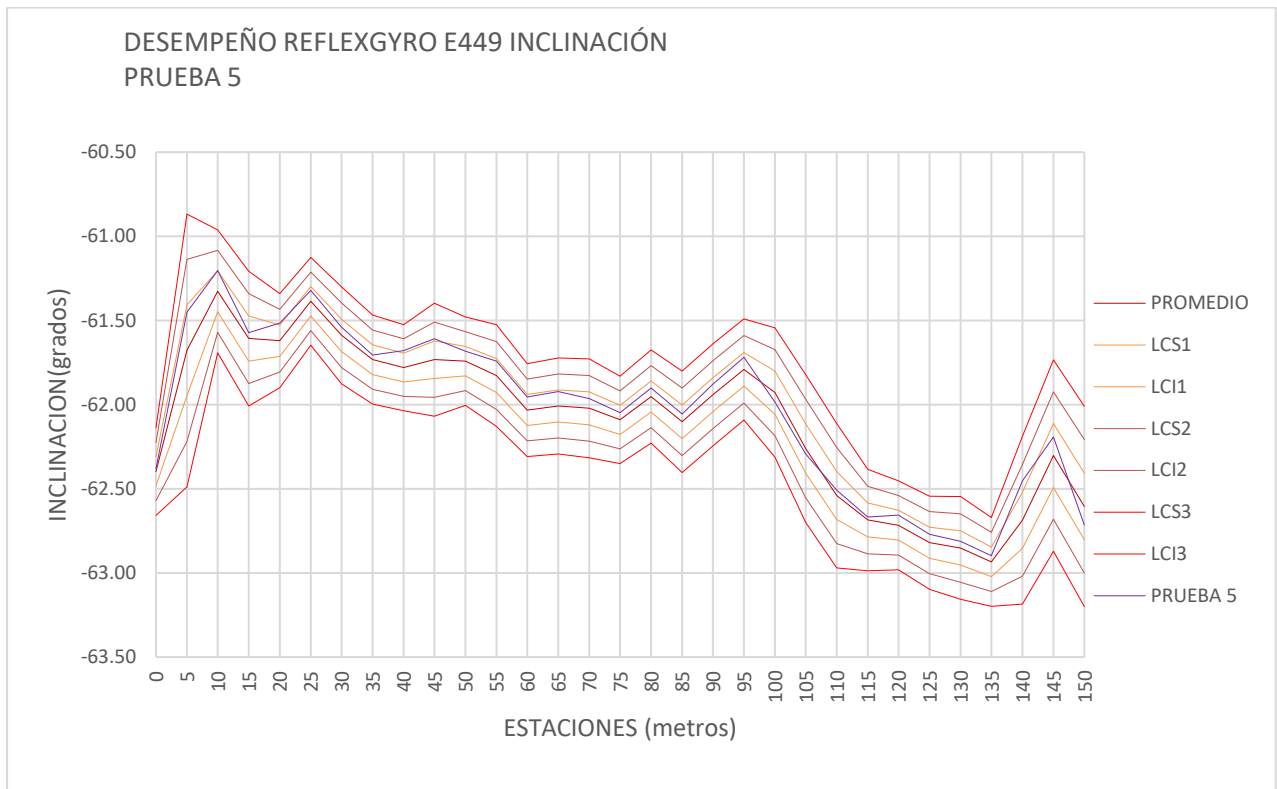
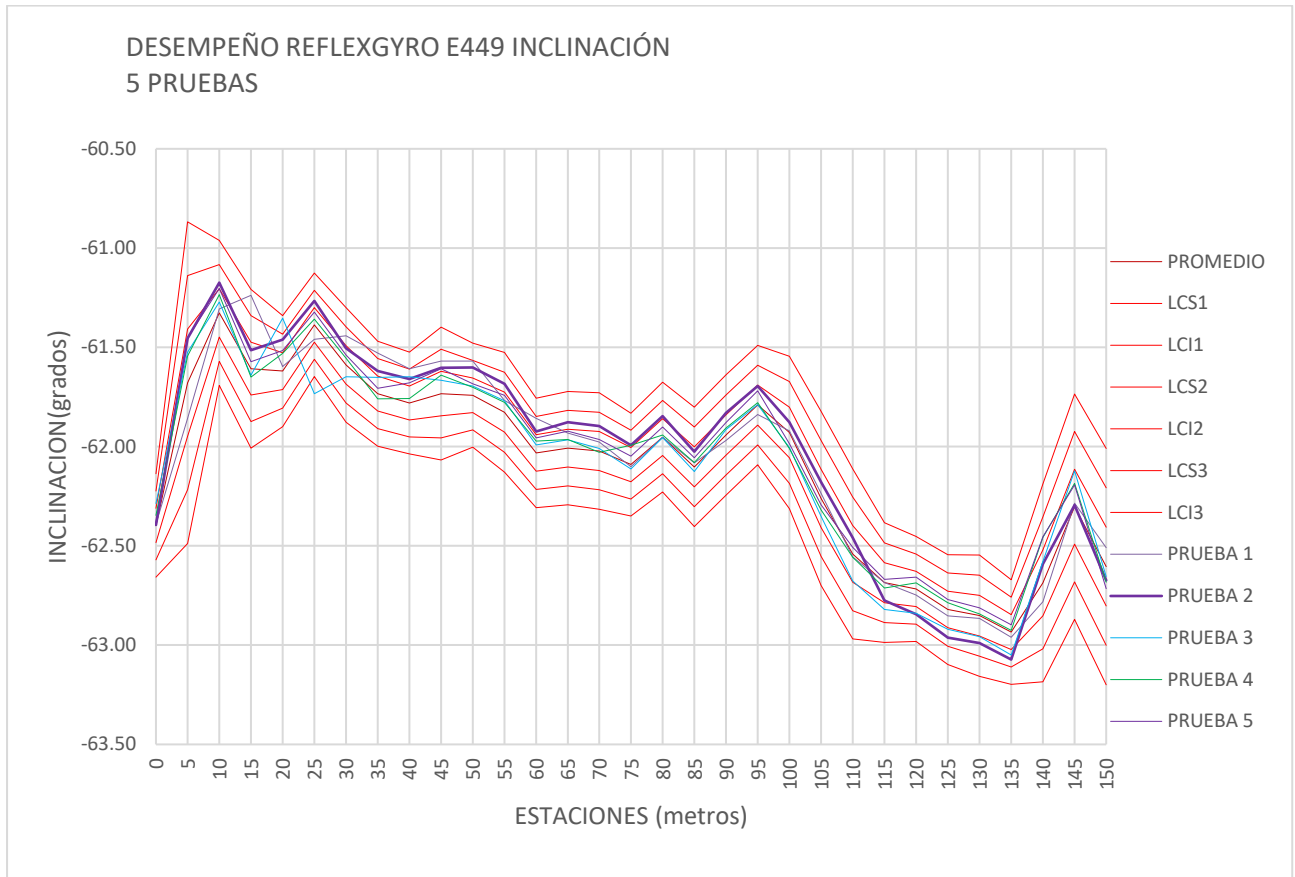


Figura 18. Gráfico desempeño instrumento de medición prueba 5 inclinación.

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de la quinta medición respecto a la línea base

Se observa que el trazo de los puntos tiene un comportamiento normal alrededor del promedio hasta el rango de dos desviaciones estándar ocupando el 95.45% de área según la distribución normal, no hay puntos que rebasen los límites de control, la variabilidad es inherente producto de causas aleatorias, el proceso está estable. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).



*Figura 19.* Gráfico desempeño instrumento de medición cinco pruebas inclinación

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la gráfica el desempeño de las cinco mediciones respecto a la línea base

Se puede notar que las pruebas 2, 4, 5 tienen un desempeño parecido ubicándose dentro del límite de 2 desviación estándar es decir ocupan el 95.45% de área no sugieren presencia de variación asignable, se encuentran bajo control estadístico.

En la prueba 1 se detectó un patrón tipo carrera característica de variación no natural por causa asignable, en la prueba 3 se observó un punto fuera de los límites de control determinando variación asignable, estas pruebas no son estables. (LCS1 y LCI1 corresponde a 1 desviación estándar respecto al promedio, LCS2 y LCI2 corresponde a 2 desviaciones estándar respecto al promedio, LCS3 y LCI3 corresponde a 3 desviaciones estándar respecto al promedio).

### 3.3. Resultados mediante capacidad de procesos

#### 3.3.1 Resultados capacidad de procesos azimut

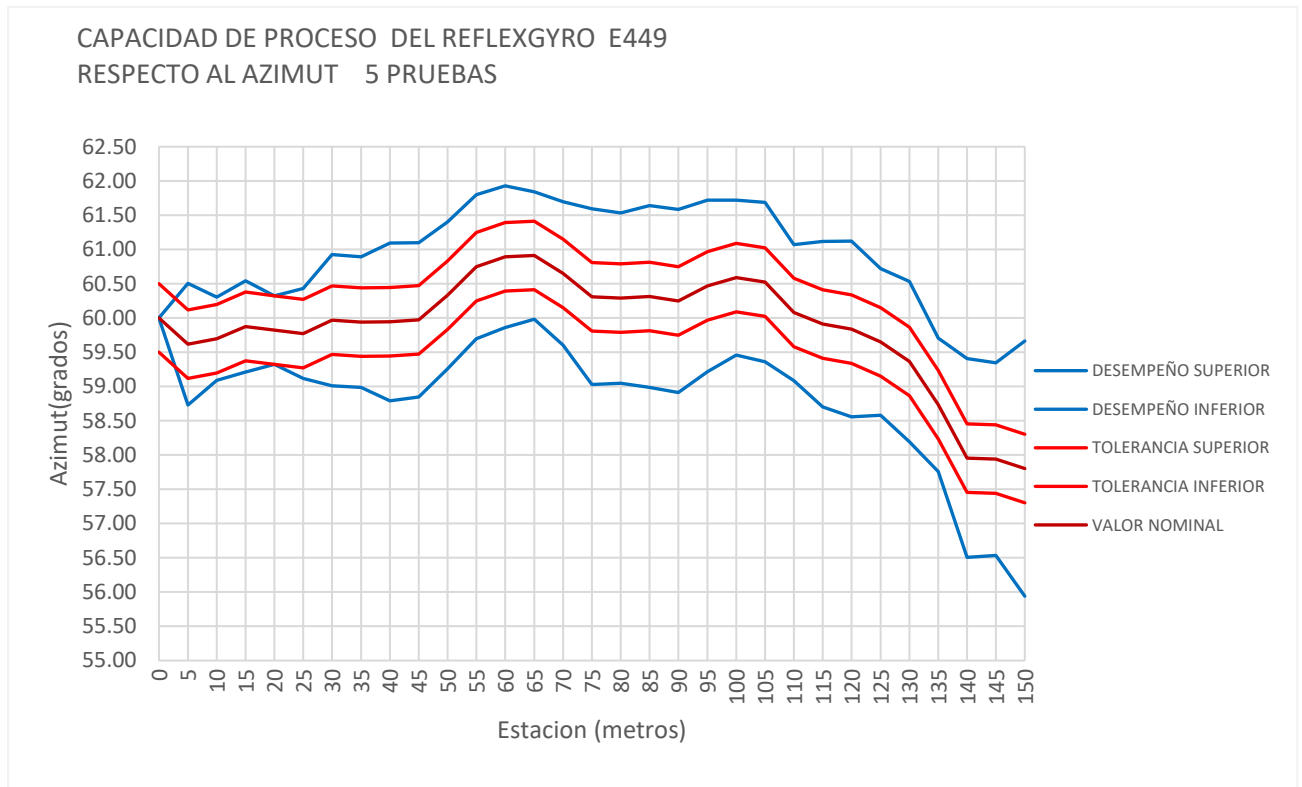


Figura 20. Gráfico capacidad de procesos cinco pruebas azimut

Fuente: elaboración propia

En el gráfico se puede notar que la línea superior e inferior del desempeño de acuerdo a la variabilidad, se ubica fuera de la amplitud de tolerancia.

Tabla 9

*Consolidado capacidad de procesos azimuth*

Se muestra los resultados de los indicadores Cp y Cpk del procesamiento en Excel de la capacidad de cinco pruebas respecto a la especificación de fábrica para el indicador azimuth.

METROS	DESEMPEÑO SUPERIOR	DESEMPEÑO INFERIOR	5 PRUEBAS	TOLERANCIA SUPERIOR	TOLERANCIA INFERIOR	VALOR NOMINAL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Cp	X-TOLERANCIA INFERIOR	TOLERANCIA SUPERIOR -X	Cpk MÍNIMO	
0	60.00	60.00	60.00	60.500	59.500	60.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	60.51	58.73	59.53	60.119	59.119	59.62	0.296	0.56	0.47	0.66	0.47	
10	60.30	59.09	59.65	60.196	59.196	59.70	0.203	0.82	0.74	0.90	0.74	
15	60.54	59.21	59.89	60.377	59.377	59.88	0.222	0.75	0.77	0.73	0.73	
20	60.32	59.32	59.80	60.324	59.324	59.82	0.167	1.00	0.96	1.04	0.96	
25	60.43	59.12	59.80	60.274	59.274	59.77	0.219	0.76	0.80	0.72	0.72	
30	60.93	59.01	60.07	60.470	59.470	59.97	0.319	0.52	0.63	0.41	0.41	
35	60.89	58.99	59.99	60.441	59.441	59.94	0.317	0.53	0.57	0.48	0.48	
40	61.09	58.79	60.04	60.443	59.443	59.94	0.384	0.43	0.52	0.35	0.35	
45	61.10	58.84	60.09	60.471	59.471	59.97	0.376	0.44	0.55	0.34	0.34	
50	61.40	59.26	60.34	60.831	59.831	60.33	0.358	0.47	0.48	0.45	0.45	
55	61.80	59.70	60.79	61.249	60.249	60.75	0.351	0.48	0.52	0.43	0.43	
60	61.93	59.86	60.91	61.395	60.395	60.89	0.345	0.48	0.50	0.47	0.47	
65	61.84	59.98	60.89	61.413	60.413	60.91	0.310	0.54	0.52	0.56	0.52	
70	61.70	59.60	60.67	61.150	60.150	60.65	0.349	0.48	0.50	0.46	0.46	
75	61.59	59.03	60.31	60.810	59.810	60.31	0.428	0.39	0.39	0.39	0.39	
80	61.53	59.05	60.24	60.790	59.790	60.29	0.415	0.40	0.36	0.45	0.36	
85	61.64	58.99	60.43	60.814	59.814	60.31	0.442	0.38	0.46	0.29	0.29	
90	61.59	58.91	60.33	60.749	59.749	60.25	0.445	0.37	0.43	0.31	0.31	
95	61.72	59.22	60.61	60.968	59.968	60.47	0.418	0.40	0.51	0.29	0.29	
100	61.72	59.46	60.70	61.088	60.088	60.59	0.377	0.44	0.55	0.34	0.34	
105	61.69	59.36	60.50	61.023	60.023	60.52	0.387	0.43	0.41	0.45	0.41	
110	61.07	59.09	60.04	60.579	59.579	60.08	0.331	0.50	0.47	0.54	0.47	
115	61.12	58.70	59.91	60.410	59.410	59.91	0.403	0.41	0.42	0.41	0.41	
120	61.12	58.56	59.88	60.339	59.339	59.84	0.428	0.39	0.43	0.35	0.35	
125	60.72	58.58	59.57	60.151	59.151	59.65	0.357	0.47	0.39	0.54	0.39	
130	60.53	58.19	59.33	59.863	58.863	59.36	0.391	0.43	0.40	0.46	0.40	
135	59.71	57.76	58.53	59.233	58.233	58.73	0.325	0.51	0.30	0.72	0.30	
140	59.41	56.51	57.82	58.456	57.456	57.96	0.483	0.34	0.25	0.44	0.25	
145	59.35	56.54	57.87	58.441	57.441	57.94	0.468	0.36	0.30	0.41	0.30	
150	59.67	55.94	57.79	58.303	57.303	57.80	0.621	0.27	0.26	0.28	0.26	
									0.49	0.49		
								Cp =	0.49		Cpk =	0.49

Fuente: elaboración propia

### Resultados de capacidad de procesos azimut

En cuanto a la razón de capacidad de proceso ( $C_p$ ) de las cinco pruebas de muestra, nos da el resultado de 0.49 es decir el proceso no es capaz.

La cual se obtuvo de la siguiente manera:  $\text{Metraje 5: } 60.119(\text{tolerancia superior}) - 59.119(\text{tolerancia inferior}) / 6 * 0.296(\text{desviación estándar}) = 0.56$ .

$C_p = 0.49$  es el resultado de la media de todos los metrajes o estaciones.

En cuanto al índice de capacidad de proceso ( $C_{pk}$ ) de las cinco pruebas nos da como resultado 0.49 quiere decir que el proceso no es capaz y no está debidamente centrado.

Existe una alta variabilidad en el proceso, el resultado se obtuvo de la siguiente manera:

$\text{Metraje 5: } 59.53(\text{media}) - 59.12(\text{tolerancia inferior}) / 3 * 0.29(\text{desviación estándar}) = 0.47$

$\text{Metraje 5: } 60.12(\text{tolerancia superior}) - 59.53(\text{media}) / 3 * 0.296(\text{desviación estándar}) = 0.66$

$C_{pk} = 0.49$  es el resultado del mínimo resultado de las medias de  $(\bar{X} - \text{tolerancia inferior})$  y  $(\text{tolerancia superior} - \bar{X})$ .

Un proceso capaz tiene una  $C_p$  de al menos 1.0. Si la  $C_p$  es menor que 1.0, el proceso da como resultado productos o servicios que están fuera de su tolerancia permitida (Heizer y Render, 2014).

La calificación de la categoría o clase del proceso es 4 (Gutiérrez y De la vara, 2013).



### 3.3.2 Resultados capacidad de procesos inclinación

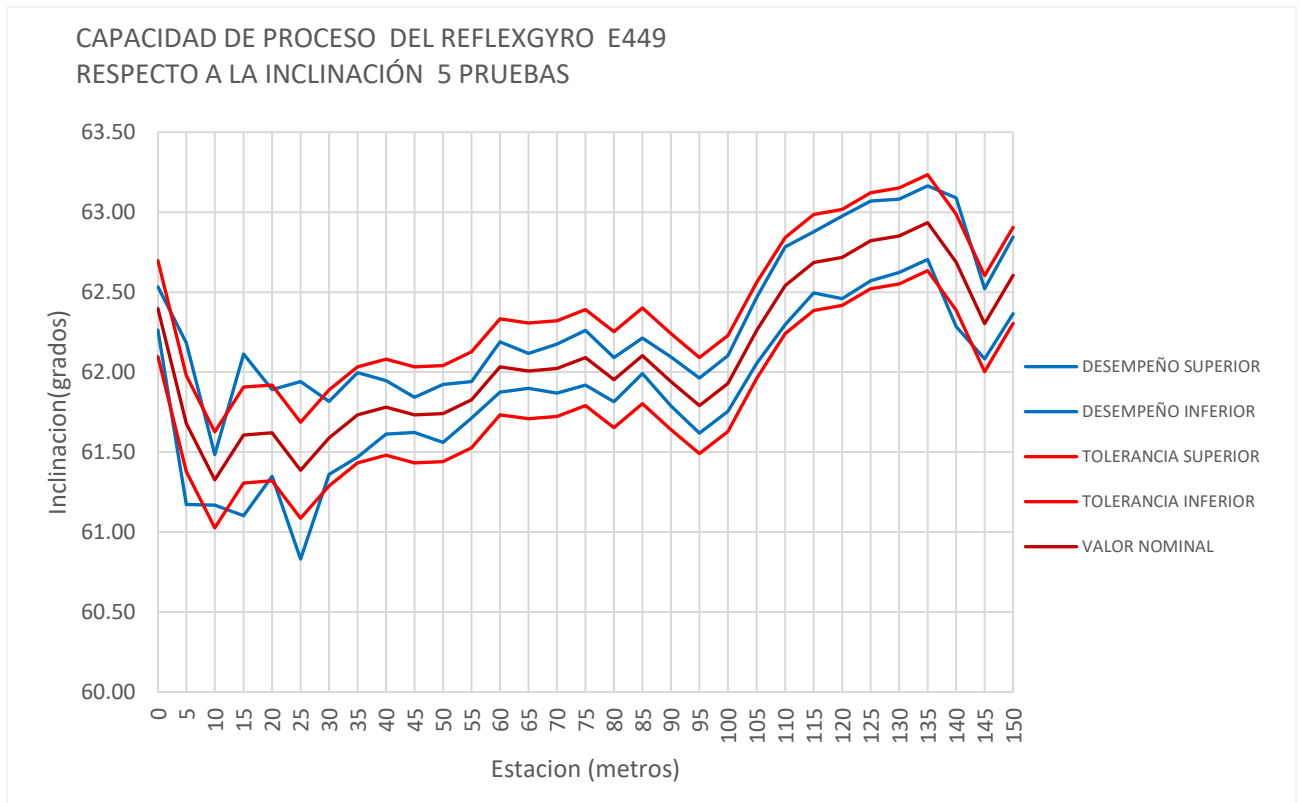


Figura 21. Gráfico capacidad de procesos cinco pruebas inclinación

Fuente: elaboración propia

En el gráfico se puede notar que cuatro estaciones se encuentran fuera de la amplitud de tolerancia porque la variabilidad es mayor que la amplitud de tolerancia en esos puntos.

Tabla 10

*Consolidado capacidad de procesos inclinación*

Se muestra los resultados de los indicadores Cp y Cpk del procesamiento en Excel de la capacidad de cinco pruebas respecto a la especificación de fábrica para el indicador inclinación.

METROS	DESEMPEÑO SUPERIOR	DESEMPEÑO INFERIOR	5 PRUEBAS	TOLERANCIA SUPERIOR	TOLERANCIA INFERIOR	VALOR NOMINAL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Cp	X-TOLERANCIA INFERIOR	TOLERANCIA SUPERIOR -X	Cpk MÍNIMO	
0	62.53	62.26	62.36	62.697	62.097	62.40	0.045	2.22	1.94	2.50	1.94	
5	62.18	61.17	61.57	61.978	61.378	61.68	0.168	0.59	0.37	0.82	0.37	
10	61.48	61.17	61.24	61.627	61.027	61.33	0.053	1.89	1.34	2.45	1.34	
15	62.11	61.10	61.52	61.907	61.307	61.61	0.168	0.59	0.43	0.76	0.43	
20	61.89	61.35	61.49	61.920	61.320	61.62	0.091	1.10	0.63	1.58	0.63	
25	61.94	60.83	61.43	61.686	61.086	61.39	0.185	0.54	0.62	0.47	0.47	
30	61.82	61.36	61.54	61.888	61.288	61.59	0.076	1.32	1.10	1.54	1.10	
35	62.00	61.47	61.65	62.033	61.433	61.73	0.088	1.14	0.84	1.44	0.84	
40	61.95	61.61	61.67	62.080	61.480	61.78	0.056	1.80	1.14	2.46	1.14	
45	61.84	61.62	61.62	62.033	61.433	61.73	0.037	2.73	1.68	3.78	1.68	
50	61.92	61.56	61.65	62.041	61.441	61.74	0.061	1.65	1.15	2.15	1.15	
55	61.94	61.71	61.75	62.127	61.527	61.83	0.038	2.62	1.93	3.31	1.93	
60	62.19	61.87	61.94	62.332	61.732	62.03	0.052	1.91	1.32	2.49	1.32	
65	62.12	61.90	61.93	62.308	61.708	62.01	0.036	2.77	2.07	3.47	2.07	
70	62.17	61.87	61.98	62.322	61.722	62.02	0.051	1.97	1.66	2.27	1.66	
75	62.26	61.92	62.05	62.391	61.791	62.09	0.057	1.75	1.51	1.99	1.51	
80	62.09	61.81	61.92	62.252	61.652	61.95	0.046	2.18	1.94	2.41	1.94	
85	62.21	61.99	62.07	62.402	61.802	62.10	0.037	2.72	2.46	2.98	2.46	
90	62.09	61.79	61.90	62.242	61.642	61.94	0.051	1.96	1.68	2.23	1.68	
95	61.96	61.62	61.76	62.091	61.491	61.79	0.057	1.75	1.59	1.90	1.59	
100	62.10	61.75	61.96	62.229	61.629	61.93	0.058	1.72	1.89	1.54	1.54	
105	62.47	62.06	62.28	62.561	61.961	62.26	0.068	1.46	1.53	1.39	1.39	
110	62.78	62.30	62.55	62.841	62.241	62.54	0.081	1.23	1.28	1.19	1.19	
115	62.88	62.49	62.73	62.986	62.386	62.69	0.064	1.57	1.81	1.33	1.33	
120	62.97	62.46	62.75	63.017	62.417	62.72	0.086	1.17	1.31	1.02	1.02	
125	63.07	62.57	62.86	63.121	62.521	62.82	0.083	1.21	1.36	1.06	1.06	
130	63.08	62.62	62.89	63.152	62.552	62.85	0.076	1.31	1.49	1.12	1.12	
135	63.16	62.70	62.98	63.234	62.634	62.93	0.077	1.30	1.51	1.10	1.10	
140	63.09	62.29	62.57	62.987	62.387	62.69	0.134	0.75	0.46	1.03	0.46	
145	62.52	62.08	62.22	62.603	62.003	62.30	0.073	1.37	0.97	1.77	0.97	
150	62.84	62.37	62.65	62.905	62.305	62.60	0.080	1.25	1.43	1.08	1.08	
									1.37	1.83		
								Cp =	1.58		Cpk =	1.37

Fuente: elaboración propia

### Resultados de capacidad de procesos inclinación

En cuanto al índice de la razón de capacidad de proceso de las cinco pruebas de muestra nos da resultado de 1.58 es decir el proceso es capaz.

La cual se obtuvo de la siguiente manera:  $\text{Metraje } 0: \frac{62.69 (\text{tolerancia superior}) - 62.097 (\text{tolerancia inferior})}{6 * 0.045 (\text{desviación estándar})} = 2.22$ .

$C_p = 1.58$  es el resultado de la media de todos los metrajes o estaciones.

En cuanto al índice de capacidad de proceso de las cinco pruebas nos da como resultado 1.37 quiere decir que el proceso es capaz y está centrado.

$\text{Metraje } 0: \frac{62.36 (\text{media}) - 62.097 (\text{tolerancia inferior})}{3 * 0.045 (\text{desviación estándar})} = 1.94$

$\text{Metraje } 0: \frac{62.69 (\text{tolerancia superior}) - 62.36 (\text{media})}{3 * 0.04 (\text{desviación estándar})} = 2.50$

$C_{pk} = 1.37$  es el resultado del mínimo resultado de las medias de  $(\bar{x} - \text{tolerancia inferior})$  y  $(\text{tolerancia superior} - \bar{x})$ .

Un proceso capaz tiene una  $C_p$  de al menos 1.0. Si la  $C_p$  es menor que 1.0, el proceso da como resultado productos o servicios que están fuera de su tolerancia permitida (Heizer y Render, 2014).

La calificación de la categoría o clase del proceso es 1 según los valores  $C_p$  y su interpretación (Gutiérrez y De la vara, 2013).

### 3.4. Operacionalización de variables

Tabla 11

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN DE VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	RESULTADOS
Control estadístico de procesos	Aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un proceso está entregando lo que los clientes quieren (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).	Variabilidad	Desempeño y Capacidad	Proceso estable
			Azimut	pero incapaz
			Desempeño y Capacidad	Proceso estable en prueba 2,4,5, y capaz
			Inclinación	Proceso inestable en prueba 1,3, y capaz

Fuente: elaboración propia

Diagrama de Flujo  
 Procedimiento Redundante de Registro en Pozo de Prueba

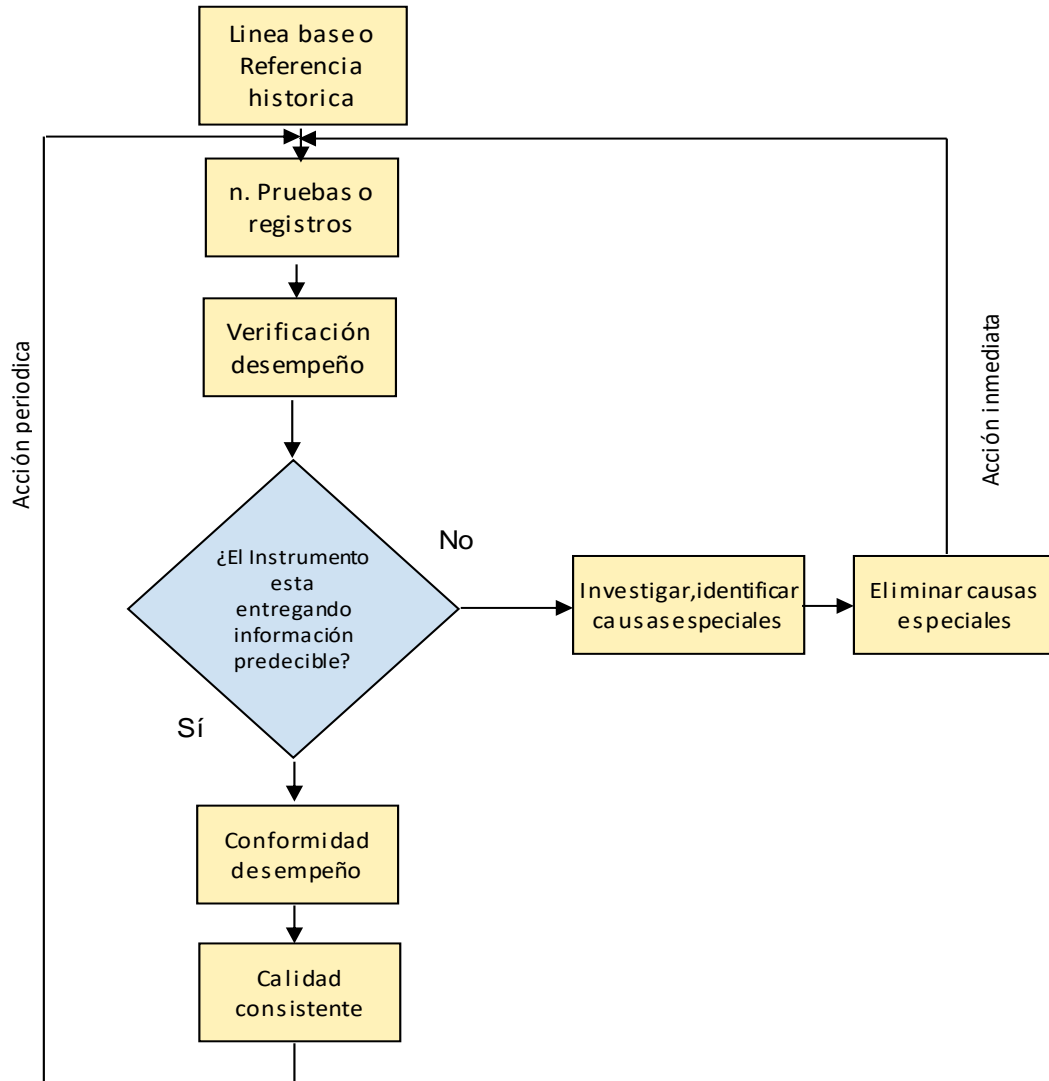


Figura 22. Diagrama de flujo procedimiento redundante de registro en pozo de prueba  
 Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Se cumple la afirmación “un proceso que se encuentra bajo control estadístico quizá no está produciendo los servicios o productos de acuerdo a las especificaciones de diseño porque los límites de control se basan en la media y la variabilidad de la distribución muestral, no en las especificaciones de diseño” (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013). En el análisis de gráficas de control para variables continuas  $\bar{X}$  con desviación estándar, respecto al indicador azimuth, se concluye que el proceso está bajo control estadístico y que se espera información predecible, respecto al indicador inclinación, observamos que el proceso es inestable en las pruebas 1 y 3 debido a causas asignables, mientras que las pruebas 2, 4, 5 son estables.

Las causas asignables de variación, también conocidas como causas especiales, incluyen cualesquiera factores de variación que se pueden identificar y eliminar (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2013).

En el análisis de capacidad de procesos para la inclinación se afirma que el instrumento si es capaz de cumplir con las especificaciones que es  $\pm 0.3^\circ$ ; sin embargo en el análisis de capacidad de procesos en el azimuth se concluye que el instrumento objeto de estudio no está siendo capaz de cumplir con las especificaciones de fábrica  $\pm 0.5^\circ$ .

Se debe tener en cuenta, el hecho que las pruebas se realiza en un entorno de prueba en el pozo de simulación, y no en el entorno real como son los taladros en perforación. Aun así, el procedimiento y el instrumento es el mismo y el entorno es parecido al real.

En el pozo de prueba se obtiene evidencia necesaria utilizando técnicas conocidas, de la existencia de variación no natural, producidas por causas asignables las cuales se deben identificar e eliminar.

## 4.2. Conclusiones

- Se obtuvo una referencia o línea base calculando la media y límites de control por medio de veinte registros con el instrumento ReflexGyro E449.
  - Se realizaron cinco pruebas con el instrumento ReflexGyro E449 para analizar contrastando cada una de ellas con la referencia o línea base.
  - Con respecto al desempeño del instrumento de medición ReflexGyro E449 se concluye como se nota en el gráfico  $\bar{X}$  en el indicador del azimut, que el proceso es estable es decir las cinco pruebas tomadas para este estudio se ubican dentro del rango de hasta tres desviaciones estándar, además, la variación encontrada se debe a causas comunes o aleatorias no evitables es decir propias por la característica del trayecto de medición (la posición del instrumento al tomar los datos es diferente en cada estación o metraje). Respecto al indicador inclinación, observamos que el proceso es inestable en las pruebas 1 y 3 debido a causas asignables, mientras que las pruebas 2, 4,5 son estables.
- En general con respecto al desempeño del equipo, podemos concluir que este está entregando información en su mayoría predecible ocho de diez pruebas, al plasmar los resultados en los gráficos  $\bar{X}$  para variables continuas con amplitud de seis desviaciones estándar; sin embargo, hay que tener en cuenta que hay dos pruebas fuera de control estadístico en las que es necesario investigar las causas para corregir y mejorar el proceso.
- Al someter el instrumento ReflexGyro E449 a la prueba de capacidad de proceso para la verificación del cumplimiento con respecto a las especificaciones del fabricante en el caso del indicador azimut notamos que la variabilidad en las desviaciones estándar es mayor que la amplitud de tolerancia como indica el resultado de la razón de capacidad de proceso  $C_p$ . Además, el proceso no está debidamente centrado como indica el

resultado del índice de capacidad de proceso Cpk. En el caso del análisis del Indicador Azimut podemos concluir que el proceso no es capaz.

En caso del análisis de la inclinación notamos que el desempeño se ubica dentro de la amplitud de tolerancia, que nos asegura estar desarrollando un proceso de nivel cuatro sigma, Podemos concluir respecto al indicador inclinación que el proceso es capaz y está centrado.

En general respecto al cumplimiento de especificación se podría concluir en la no conformidad con el desempeño del equipo debido a su variabilidad encontrada respecto a los límites de tolerancia establecidos.



## REFERENCIAS

- Carro, R., & González, D. *Control Estadístico de Procesos*: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales Universidad Nacional de Mar de Plata. Argentina.
- Chase, R., & Jacobs, R. (2014) *Administración de Operaciones Producción y Cadena de Suministros*. (13.ed.).México: MC Granw Hill.
- Evans, J., & Lindsay, W. (2008) *Administración y Control de la Calidad*. (7.ed.)México: Lengage Learning.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2013) *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. (3. ed.).México: MC Granw Hill.
- Heizer, J., & Render, B. (2014) *Principios de Administración de Operaciones*. (7. ed.)México: Pearson educación.
- Krajewski, L., Ritzman, L. & Malhotra, M. (2013) *Administración de Operaciones Procesos y cadena de suministro*. (10. ed.).México: Pearson educación.
- Hernández, R., Fernández, Carlos. & Baptista, María del Pilar. (2014) *Metodología de la investigación*. (6. ed.). México: MC Granw Hill.
- Marinovic, A. (2015) “*Estudio Comparativo de Giroscopios y su Aplicación para el Registro de la Trayectoria de Taladros en Exploraciones Geológicas Yanacocha Perú*” Tesis de Pre grado. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Quezada, N. (2010) “*Metodología de la investigación*” Perú: Macro
- Silva, AL. (2008). “*Informe sobre la tarea de medir variaciones en la dimensión de pozos*”. Ingetrol Chile.
- Réflex. (2019).Pagina web. Obtenido de: <https://reflexnow.com/gyro-3/>.

## ANEXOS

### Anexo 1 Instrumento de medición ReflexGyro

## REFLEX GYRO

REFLEX GYRO es un instrumento completo para la medición de pozos de perforación capaz de funcionar en todos los entornos, tanto magnéticos como no magnéticos. De comprobada confiabilidad y precisión, utiliza un giroscopio MEMS (sistema microelectromecánico) digital de superficie. Una vez que el instrumento regresa a la superficie, los datos de las mediciones pueden transferirse desde la memoria incorporada hacia un PC en terreno a través de la conexión Bluetooth de alta velocidad. El conjunto completo de mediciones puede procesarse mediante el avanzado software de navegación REFLEX GMTS, en el que los usuarios pueden hacer tablas, trazados y exportar los datos en diversos formatos para una mejor toma de decisiones.



### Diseñado para ser utilizado por los operadores de perforación

REFLEX GYRO es simple de usar pero fue diseñado con una tecnología altamente sofisticada para obtener resultados de mediciones excepcionalmente precisos. Puede ser utilizado eficientemente por los operadores en terreno para lograr mediciones rentables. No requiere cables para su funcionamiento.

### Datos de mediciones de calidad

El equipamiento accesorio personalizado permite la obtención de datos de mediciones altamente precisos, lo que garantiza la máxima calidad de los datos recabados, incluso de la medición vertical. La memoria incorporada registra una gran variedad de tipos de datos, por ejemplo, azimut e inclinación, temperatura, hora y giro. Es posible generar informes a través de GMTS, disponibles en los formatos xls, dxf, ASCII y DDS. Los datos no se pueden alterar y se pueden utilizar para realizar controles de calidad y auditorías.

### Mediciones en todos los entornos y direcciones

El funcionamiento de REFLEX GYRO no se ve alterado por la interferencia magnética y se puede utilizar dentro de todo tipo de barras de perforación o en suelos con perturbaciones magnéticas, eliminando la necesidad de usar configuraciones de barras no magnéticas. Puede hacer mediciones en todas las direcciones y no es afectado por la inclinación, por lo que se puede utilizar en operaciones subterráneas y en superficie, así como con perforadoras con cables o convencionales.



Fuente: <https://reflexnow.com/gyro-3/>

## Anexo 2 Instrumento de medición ReflexGyro especificaciones

### DIMENSIONES

Diámetro externo	32mm
Longitud	807mm
Peso	1,1kg

### ENTORNO DE OPERACIÓN

Rango de temperaturas	0°C a +70°C (32°F a 158°F)
Inclinación	+/- 0,2°
Azimut	+/- 0,5°

### PRECISIÓN

Orientación de la herramienta	Orientación gravimétrica +/- 0,3°
Orientación giroscópica	+/- 0,5°
Precisión posicional	1% de profundidad medida

### INTERFAZ DIGITAL

Interfaz	Bluetooth de alta velocidad
----------	-----------------------------

### RESISTENTE PC PARA TERRENO

Sistema operativo	Windows 7, Windows XP
Otras características	Bluetooth integrado de alta velocidad, WLAN

### OTRAS CARACTERÍSTICAS

Equipo opcional	Centralizadores verticales APS Equipamiento accesorio convencional Versión para altas temperaturas disponible TN14
-----------------	--

Fuente: <https://reflexnow.com/gyro-3/>

**“APLICACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA VERIFICAR EL DESEMPEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE POZOS GEOLÓGICOS, EN POZO DE SIMULACIÓN, EN LA EMPRESA GEODATA CONTROL PERÚ SAC CAJAMARCA”**


Anexo 3 Procedimiento de medición pozo de prueba 1 de 4

		<b>GEODATA CONTROL PERU SAC</b> <b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO</b>		<b>PETS GEO-10</b> A REV 01-18 Pág. 1 de 4	
Tarea	: "MEDICIÓN EN POZO DE PRUEBA, UTILIZANDO WINCHE ELÉCTRICO"	Fecha de Revisión	21/11/18		
Cargo	: Operador	Fecha de Publicación	23/11/18		
Gerencia	: OPERACIONES				
Area	: OPERACIONES	Sub-Area:	SERVICIOS		
<b>Pre requisitos de competencia:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Personal calificado y autorizado.</li> <li>Entrenamiento: Uso adecuado de EPP específico obligatorio.</li> <li>Inspección de herramientas a utilizar.</li> <li>Entrenamiento: Seguridad en manos, dedos y muñecas.</li> </ul>		<b>Referencias relacionadas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Medición de taladros con equipo giroscopio donde se puede ingresar con camioneta. PETS GEO-02</li> <li>Reuniones de Seguridad. PP-E 06.02</li> </ul>			
<b>Objetivo:</b> Medición de taladros abiertos, sin tubería, con equipo Giroscopio en plataformas donde puede acceder camioneta utilizando inversor de corriente eléctrica.		<b>Equipo de protección personal:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Casco.</li> <li>Lentes de seguridad.</li> <li>Botín punta de acero.</li> <li>Guantes de cuero.</li> <li>Chaleco reflectivo y/o ropa de trabajo.</li> <li>Protector auditivo tipo audífono.</li> <li>Bloqueador Solar.</li> </ul>			
<b>Herramientas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conos de seguridad</li> <li>Maleta con barras de aluminio, barril de bronce, tapones y planchas en V.</li> </ul>		<b>Equipos y materiales:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Camioneta 4*4.</li> <li>Radio de comunicación.</li> <li>Equipo de Giroscopio (Sensor, baterías, monitor y accesorios).</li> <li>Tacos de seguridad</li> <li>Extintor con tarjeta de inspección.</li> <li>Winche con cable de acero y polea.</li> <li>Mesa con polea para bajar equipo si no hubiese brazo incorporado.</li> <li>Inversor de corriente de 12v a 220v.</li> <li>Contador de metros mecánico.</li> <li>Botiquín de primeros auxilios.</li> <li>Kit de emergencia.</li> </ul>			
No.	PASO (QUE)	EXPLICACION (COMO)		Pasos ejecutados (✓) completado (* no completado)	
1.	<b>Análisis de Trabajo Seguro (ATS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El personal deberá llenar el ATS, antes de iniciar los trabajos.</li> </ul>			
2.	<b>Inspección del equipo (llenado del pre uso).</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificaran el correcto funcionamiento de todos los ítems indicados en el formato del pre uso.</li> <li>Una vez concluido la inspección del equipo el operador llenara las observaciones hechas, si es que las hubiese.</li> </ul>			

Fuente: Geodata control Perú SAC

**“APLICACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA VERIFICAR EL DESEMPEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE POZOS GEOLÓGICOS, EN POZO DE SIMULACIÓN, EN LA EMPRESA GEODATA CONTROL PERÚ SAC CAJAMARCA”**

Anexo 4 Procedimiento de medición pozo de prueba 2 de 4


		<b>GEODATA CONTROL PERU SAC</b> <b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO</b>		<b>PETS GEO-10</b> A REV 01-18 Pág. 1 de 4
Tarea	: “MEDICIÓN EN POZO DE PRUEBA, UTILIZANDO WINCHE ELÉCTRICO”	Fecha de Revisión	21/11/18	
Cargo	: Operador	Fecha de Publicación	23/11/18	
Gerencia	: OPERACIONES			
Area	: OPERACIONES	Sub-Area:	SERVICIOS	

	<b>Planificación de la tarea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El supervisor y/o Operador Survey, imparte la charla de seguridad (5Min) antes de iniciar la jornada.</li> <li>Identificación de peligros de la operación evaluando las condiciones de clima.</li> <li>Los trabajadores inspeccionarán sus herramientas y sus equipos como inversor de corriente, winche; así como su EPP antes de iniciar los trabajos.</li> <li>En el caso de entrar a la zona de operaciones, deberá solicitar el permiso al supervisor.</li> <li>Contar con baliza, cartel, pértiga en buen estado antes de ingresar a operaciones mina.</li> <li>Antes de comenzar el registro se verificara con una barra de aluminio bajada con el mismo winche la profundidad y condiciones que esta el pozo abierto a medir.</li> <li>Contar con conos para delimitar las áreas de trabajo.</li> </ul> <p>Nota: Es importante tener en consideración el cuidado de manos y dedos, al momento de accionar el winche y al ubicar la barra de aluminio a la boca del taladro.</p>		
4.	<b>Ejecución de la Tarea: Estacionamiento de la camioneta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicar la camioneta a una distancia razonable que facilite la actividad, esto dependerá del espacio que haya en la plataforma.</li> <li>En el caso de ingresar la camioneta de retroceso, el copiloto deberá bajar para indicar al chofer la ubicación correcta.</li> <li>Estacionado el vehículo, se delimitará la camioneta con dos conos de seguridad.</li> </ul>		
5.	<b>Verificación de condición y profundidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El operador Survey, deberá cerciorarse de las condiciones y profundidad del pozo que tiene en ese momento.</li> <li>El operador es la única persona en determinar y decidir si el pozo abierto es adecuado para medir sin poner en riesgo el atrapamiento o pérdida del instrumento.</li> </ul>		
6.	<b>Toma de datos iniciales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El Operador tomará los datos del taladro como: Inclinación, azimut, profundidad de perforación programada y real.</li> </ul>		
7.	<b>Instalación de equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El operador deberá verificar el funcionamiento adecuado de los dos equipos (inversor de corriente y winche).</li> <li>El conductor de la camioneta, asegurara con tacos la camioneta para luego encenderla y mantenerla así, durante toda la medición con la finalidad de alimentar de energía al inversor y este a su vez al winche.</li> <li>El operador Survey, deberá colocar la maleta (Computadora, sensores y baterías) en un lugar seguro y limpio.</li> <li>El operador, verificará el funcionamiento adecuado de las baterías.</li> </ul>		

Fuente: Geodata control Perú SAC

**“APLICACIÓN DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA VERIFICAR EL DESEMPEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE POZOS GEOLÓGICOS, EN POZO DE SIMULACIÓN, EN LA EMPRESA GEODATA CONTROL PERÚ SAC CAJAMARCA”**

Anexo 5 Procedimiento de medición pozo de prueba 3 de 4


		<b>GEODATA CONTROL PERU SAC</b> <b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO</b>		<b>PETS GEO-10</b> A REV 01-18 Pág. 1 de 4
Tarea	: <b>“MEDICIÓN EN POZO DE PRUEBA, UTILIZANDO WINCHE ELÉCTRICO”</b>	Fecha de Revisión	21/11/18	
Cargo	: <b>Operador</b>	Fecha de Publicación	23/11/18	
Gerencia	: <b>OPERACIONES</b>			
Area	: <b>OPERACIONES</b>	Sub-Area:	<b>SERVICIOS</b>	

		<ul style="list-style-type: none"> <li>El operador, encenderá la computadora y conectará el sensor a las baterías posteriormente establecerá la comunicación con bluetooth e inicializará el instrumento.</li> <li>El ayudante, colocará las planchas en "V", de aluminio alineado, tomará el sensor y lo ubicará dentro del barril de bronce, embonarán los tapones superior (primero) e inferior y luego colocarán el Giroscopio en el barril a presión apoyándolo sobre las planchas en "V".</li> </ul>		
8.	<b>Alineamiento del equipo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luego de ello se deberá esperar 15 minutos para estabilizar la temperatura del sensor.</li> <li>Transcurridos los 15 minutos, el operador inicia el procedimiento de alineamiento del instrumento conjuntamente con el ayudante quien debe girar el barril de bronce en ángulos de 90° o 360° (según el software utilizado), sobre su propio eje, evitando levantarlo e inclinarlo.</li> <li>Una vez terminado el alineamiento, el operador ingresa en el programa los datos del pozo a medir (Nombre, del pozo, profundidad de inicio, intervalo de metros, coordenadas, cota o elevación, seleccionar la dirección de la medición, indicar si un pozo es inclinado o vertical e indicar la referencia de la dirección).</li> </ul>		
9.	<b>Ubicación en la boca del taladro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se ubicará el brazo mecánico de la camioneta en posición para que este guíe el instrumento por el centro del pozo, si no se cuenta con brazo mecánico incorporado deberá hacer lo mismo con la mesa de apoyo para este trabajo. Por precaución en todo el registro esta mesa debe ser sujeta por el ayudante.</li> <li>El operador y/o ayudante, trasladará el instrumento una vez colocado él cuenta metros hasta la boca del pozo con bastante cuidado en posición vertical, sin realizar movimientos bruscos o golpes para el comienzo de la medición.</li> <li>Una vez que el barril está estable en la boca del pozo, el operador Survey puede iniciar la medición tomando el dato del collar a 0m, ordena la toma de datos a través del programa de medición GyroMeasureIt.</li> </ul>		
10.	<b>Lectura de mediciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una vez registrado el dato inicial, el ayudante accionará el winche desplazando el sensor hasta la estación (profundidad) siguiente, según el intervalo de metros programados (5m), cada registro demora 10seg, durante los cuales el sensor el sensor debe permanecer absolutamente quieto.</li> <li>Se debe tener cuidado que entre lectura y lectura no debe transcurrir un tiempo mayor a 20 seg.</li> <li>Al término de la medición el operador y el ayudante procede al retiro del instrumento, con ayuda del winche con bastante cuidado</li> </ul>		

Fuente: Geodata control Perú SAC



Anexo 6 Procedimiento de medición pozo de prueba 4 de 4

		<b>GEODATA CONTROL PERU SAC</b> <b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO</b>		<b>PETS GEO-10</b> A REV 01-18 Pág. 1 de 4	
Tarea	:	<b>“MEDICIÓN EN POZO DE PRUEBA, UTILIZANDO WINCHE ELÉCTRICO”</b>	Fecha de Revisión	<b>21/11/18</b>	
Cargo	:	<b>Operador</b>	Fecha de Publicación	<b>23/11/18</b>	
Gerencia	:	<b>OPERACIONES</b>			
Area	:	<b>OPERACIONES</b>	Sub-Area:	<b>SERVICIOS</b>	

11.	<b>Desarmado de los equipos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El ayudante iniciará los trabajos de desarmado del equipo y la limpieza de los mismos antes de guardarlos.</li> <li>• El operador Survey, iniciará la descarga la descarga de los datos y procesamiento, para luego hacer la presentación de los resultados de la medición a la supervisión mediante un dispositivo de almacenamiento de datos (USB).</li> <li>• En el caso de que existiese algún problema con el o los equipos durante la medición se deberá informar al supervisor.</li> </ul>		
-----	---------------------------------	--	--	--

Fuente: Geodata control Perú SAC

Anexo 7 Pozo de prueba



Fuente: Geodata control Perú SAC



Anexo 8 Preparación instrumento de medición



Fuente: Geodata control Perú SAC

Anexo 9 Preparación instrumento de medición



Fuente: Geodata control Perú SAC



Anexo 10 Camioneta posicionada en pozo de prueba



Fuente: Geodata control Perú SAC

Anexo 11 Medición en pozo de prueba



Fuente: Geodata control Perú SAC



Anexo 12 Tabla distribución normal

**DISTRIBUCIÓN NORMAL**

	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.09</b>
<b>0.00</b>	0.500	0.504	0.508	0.512	0.516	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536
<b>0.10</b>	0.540	0.544	0.548	0.552	0.556	0.560	0.564	0.567	0.571	0.575
<b>0.20</b>	0.579	0.583	0.587	0.591	0.595	0.599	0.603	0.606	0.610	0.614
<b>0.30</b>	0.618	0.622	0.626	0.629	0.633	0.637	0.641	0.644	0.648	0.652
<b>0.40</b>	0.655	0.659	0.663	0.666	0.670	0.674	0.677	0.681	0.684	0.688
<b>0.50</b>	0.691	0.695	0.698	0.702	0.705	0.709	0.712	0.716	0.719	0.722
<b>0.60</b>	0.726	0.729	0.732	0.736	0.739	0.742	0.745	0.749	0.752	0.755
<b>0.70</b>	0.758	0.761	0.764	0.767	0.770	0.773	0.776	0.779	0.782	0.785
<b>0.80</b>	0.788	0.791	0.794	0.797	0.800	0.802	0.805	0.808	0.811	0.813
<b>0.90</b>	0.816	0.819	0.821	0.824	0.826	0.829	0.831	0.834	0.836	0.839
<b>1.00</b>	0.841	0.844	0.846	0.848	0.851	0.853	0.855	0.858	0.860	0.862
<b>1.10</b>	0.864	0.867	0.869	0.871	0.873	0.875	0.877	0.879	0.881	0.883
<b>1.20</b>	0.885	0.887	0.889	0.891	0.893	0.894	0.896	0.898	0.900	0.901
<b>1.30</b>	0.903	0.905	0.907	0.908	0.910	0.911	0.913	0.915	0.916	0.918
<b>1.40</b>	0.919	0.921	0.922	0.924	0.925	0.926	0.928	0.929	0.931	0.932
<b>1.50</b>	0.933	0.934	0.936	0.937	0.938	0.939	0.941	0.942	0.943	0.944
<b>1.60</b>	0.945	0.946	0.947	0.948	0.949	0.951	0.952	0.953	0.954	0.954
<b>1.70</b>	0.955	0.956	0.957	0.958	0.959	0.960	0.961	0.962	0.962	0.963
<b>1.80</b>	0.964	0.965	0.966	0.966	0.967	0.968	0.969	0.969	0.970	0.971
<b>1.90</b>	0.971	0.972	0.973	0.973	0.974	0.974	0.975	0.976	0.976	0.977
<b>2.00</b>	0.977	0.978	0.978	0.979	0.979	0.980	0.980	0.981	0.981	0.982
<b>2.10</b>	0.982	0.983	0.983	0.983	0.984	0.984	0.985	0.985	0.985	0.986
<b>2.20</b>	0.986	0.986	0.987	0.987	0.987	0.988	0.988	0.988	0.989	0.989
<b>2.30</b>	0.989	0.990	0.990	0.990	0.990	0.991	0.991	0.991	0.991	0.992
<b>2.40</b>	0.992	0.992	0.992	0.992	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.994
<b>2.50</b>	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
<b>2.60</b>	0.995	0.995	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
<b>2.70</b>	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
<b>2.80</b>	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
<b>2.90</b>	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999
<b>3.00</b>	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999

Fuente: Carro, R y González, D., Control Estadístico de Procesos

Anexo 13 Registro de medición 01

SURVEY FILE:	POPRU-01
SECTOR:	ANTONIO
PERFORACIÓN EN:	POZO PRUEBA
MAQUINA:	POZO PRUEBA
GIROSCOPIO:	ReflexGyro E449
OPERADOR:	Miguel Robles
COMPAÑÍA:	GEODATA CONTROL PERÚ S.A.C.

POPURU-21					
Station	Inclination	Azimuth	Northing	Easting	Elevation
Meters	Degrees	Degrees	Meters	Meters	Meters
0	-62.390	60.000	0.000	0.000	0.000
5	-61.858	59.027	1.186	2.014	-4.420
10	-61.307	59.410	2.404	4.059	-8.817
15	-61.238	59.864	3.619	6.132	-13.202
20	-61.596	59.717	4.822	8.200	-17.592
25	-61.459	59.674	6.025	10.258	-21.988
30	-61.442	60.109	7.224	12.325	-26.380
35	-61.529	59.873	8.418	14.392	-30.773
40	-61.607	59.878	9.612	16.451	-35.170
45	-61.570	59.969	10.805	18.510	-39.568
50	-61.570	60.116	11.993	20.572	-43.965
55	-61.767	60.493	13.169	22.633	-48.366
60	-61.857	60.729	14.328	24.691	-52.773
65	-61.932	60.786	15.478	26.746	-57.183
70	-61.978	60.751	16.626	28.798	-61.596
75	-62.101	60.313	17.780	30.839	-66.013
80	-61.954	60.147	18.944	32.874	-70.428
85	-62.082	60.065	20.113	34.908	-74.844
90	-61.970	60.262	21.280	36.943	-79.260
95	-61.838	60.336	22.447	38.988	-83.670
100	-61.921	60.417	23.612	41.037	-88.080
105	-62.235	60.234	24.771	43.071	-92.498
110	-62.556	59.802	25.929	45.078	-96.929
115	-62.684	59.586	27.089	47.063	-101.369
120	-62.748	59.540	28.250	49.039	-105.813
125	-62.853	59.423	29.411	51.008	-110.260
130	-62.866	59.098	30.577	52.969	-114.709
135	-62.960	58.622	31.754	54.917	-119.161
140	-62.782	57.587	32.959	56.853	-123.611
145	-62.286	57.616	34.194	58.800	-128.047
150	-62.510	57.340	35.440	60.753	-132.478

Fuente: Geodata control Perú SAC

Anexo 14 Registro de medición 02

<b>SURVEY FILE:</b>	POPRU-02
<b>SECTOR:</b>	ANTONIO
<b>PERFORACION EN:</b>	POZO DE PRUEBA
<b>MAQUINA:</b>	POZO DE PRUEBA
<b>GIROSCOPIO:</b>	ReflexGyro E449
<b>OPERADOR:</b>	JOE DIAZ MESTANZA
<b>COMPAÑÍA:</b>	GEODATA CONTROL PERÚ S.A.C.

POPURU-22					
Station	Inclination	Azimuth	Northing	Easting	Elevation
Meters	Degrees	Degrees	Meters	Meters	Meters
0	-62.395	60.000	0.000	0.000	0.000
5	-61.455	59.586	1.184	2.034	-4.412
10	-61.174	59.627	2.398	4.104	-8.798
15	-61.515	59.877	3.606	6.175	-13.185
20	-61.460	59.777	4.806	8.238	-17.579
25	-61.266	59.780	6.012	10.309	-21.967
30	-61.504	60.019	7.213	12.381	-26.357
35	-61.619	59.917	8.405	14.442	-30.753
40	-61.659	60.001	9.594	16.498	-35.153
45	-61.603	60.123	10.779	18.557	-39.553
50	-61.601	60.381	11.959	20.621	-43.951
55	-61.684	60.881	13.124	22.691	-48.351
60	-61.923	60.958	14.272	24.756	-52.758
65	-61.878	60.951	15.415	26.815	-57.168
70	-61.897	60.647	16.565	28.871	-61.578
75	-61.993	60.321	17.723	30.918	-65.991
80	-61.847	60.268	18.890	32.962	-70.402
85	-62.026	60.534	20.052	35.007	-74.814
90	-61.830	60.285	21.213	37.053	-79.226
95	-61.695	60.655	22.379	39.111	-83.631
100	-61.876	60.713	23.537	41.173	-88.037
105	-62.179	60.658	24.685	43.217	-92.453
110	-62.460	60.181	25.832	45.237	-96.881
115	-62.775	59.936	26.979	47.230	-101.320
120	-62.844	59.784	28.127	49.206	-105.768
125	-62.962	59.427	29.279	51.171	-110.219
130	-62.990	59.228	30.438	53.124	-114.673
135	-63.073	58.359	31.613	55.064	-119.129
140	-62.592	57.609	32.823	56.999	-123.578
145	-62.295	57.851	34.058	58.955	-128.011
150	-62.674	57.827	35.288	60.911	-132.445

Fuente: Geodata control Perú SAC

Anexo 15 Registro de medición 03

<b>SURVEY FILE:</b>	POPRU-03
<b>SECTOR:</b>	ANTONIO
<b>PERFORACION EN:</b>	POZO DE PRUEBA
<b>MAQUINA:</b>	POZO DE PRUEBA
<b>GIROSCOPIO:</b>	ReflexGyro E449
<b>OPERADOR:</b>	MIGUEL ROBLES CURAY
<b>COMPAÑÍA:</b>	GEODATA CONTROL PERU S.A.C.

POPURU-23					
Station	Inclination	Azimuth	Northing	Easting	Elevation
Meters	Degrees	Degrees	Meters	Meters	Meters
0	-62.286	60.000	0.000	0.000	0.000
5	-61.523	59.805	1.181	2.037	-4.411
10	-61.272	59.944	2.382	4.108	-8.801
15	-61.640	60.221	3.574	6.178	-13.193
20	-61.354	60.093	4.761	8.248	-17.587
25	-61.734	60.182	5.947	10.314	-21.983
30	-61.649	60.598	7.119	12.375	-26.385
35	-61.652	60.544	8.286	14.443	-30.785
40	-61.647	60.706	9.450	16.512	-35.185
45	-61.665	60.728	10.611	18.583	-39.586
50	-61.695	60.950	11.767	20.654	-43.987
55	-61.769	61.363	12.909	22.728	-48.391
60	-61.991	61.480	14.037	24.798	-52.801
65	-61.966	61.402	15.160	26.861	-57.215
70	-62.010	61.199	16.287	28.921	-61.629
75	-62.113	60.998	17.420	30.972	-66.046
80	-61.955	60.926	18.558	33.022	-70.462
85	-62.126	61.152	19.693	35.073	-74.879
90	-61.915	61.086	20.826	37.127	-79.294
95	-61.789	61.316	21.962	39.194	-83.703
100	-62.004	61.348	23.092	41.260	-88.113
105	-62.350	61.110	24.215	43.306	-92.535
110	-62.677	60.566	25.340	45.321	-96.971
115	-62.820	60.598	26.464	47.315	-101.416
120	-62.839	60.631	27.585	49.305	-105.864
125	-62.920	60.210	28.710	51.287	-110.315
130	-62.958	60.020	29.843	53.259	-114.767
135	-63.050	59.056	30.994	55.216	-119.222
140	-62.578	58.685	32.175	57.171	-123.670
145	-62.123	58.666	33.381	59.153	-128.099
150	-62.654	58.847	34.583	61.134	-132.529

Fuente: Geodata control Perú SAC



Anexo 16 Registro de medición 04

<b>SURVEY FILE:</b>	POPRU-04
<b>SECTOR:</b>	ANTONIO
<b>PERFORACION EN:</b>	POZO DE PRUEBA
<b>MAQUINA:</b>	POZO DE PRUEBA
<b>GIROSCOPIO:</b>	ReflexGyro E449
<b>OPERADOR:</b>	MIGUEL ROBLES CURAY
<b>COMPAÑÍA:</b>	GEODATA CONTROL PERU S.A.C.

POPURU-24					
Station	Inclination	Azimuth	Northing	Easting	Elevation
Meters	Degrees	Degrees	Meters	Meters	Meters
0	-62.347	60.000	0.000	0.000	0.000
5	-61.544	59.643	1.182	2.033	-4.412
10	-61.235	59.726	2.391	4.100	-8.802
15	-61.649	59.899	3.593	6.166	-13.194
20	-61.530	59.756	4.788	8.222	-17.591
25	-61.359	59.669	5.994	10.286	-21.983
30	-61.555	59.828	7.197	12.350	-26.375
35	-61.760	59.770	8.391	14.401	-30.776
40	-61.758	59.779	9.583	16.446	-35.181
45	-61.640	59.806	10.775	18.494	-39.583
50	-61.702	60.183	11.962	20.549	-43.984
55	-61.778	60.652	13.131	22.608	-48.388
60	-61.972	60.797	14.283	24.664	-52.798
65	-61.964	60.728	15.431	26.714	-57.211
70	-62.029	60.487	16.583	28.760	-61.626
75	-61.994	59.906	17.749	30.796	-66.041
80	-61.942	59.927	18.927	32.829	-70.455
85	-62.081	60.176	20.099	34.862	-74.870
90	-61.906	59.956	21.270	36.897	-79.284
95	-61.779	60.366	22.444	38.944	-83.692
100	-62.010	60.475	23.607	40.992	-88.103
105	-62.319	60.272	24.761	43.022	-92.524
110	-62.557	59.834	25.916	45.026	-96.957
115	-62.712	59.697	27.073	47.012	-101.397
120	-62.686	59.721	28.230	48.992	-105.840
125	-62.787	59.425	29.390	50.967	-110.285
130	-62.843	59.129	30.557	52.931	-114.733
135	-62.926	58.293	31.741	54.878	-119.183
140	-62.458	57.577	32.958	56.822	-123.626
145	-62.184	57.720	34.201	58.784	-128.053
150	-62.683	57.383	35.443	60.737	-132.486

Fuente: Geodata control Perú SAC

Anexo 17 Registro de medición 05

SURVEY FILE:	POPRU-05
SECTOR:	ANTONIO
PERFORACION EN:	POZO DE PRUEBA
MAQUINA:	POZO DE PRUEBA
GIROSCOPIO:	ReflexGyro E449
OPERADOR:	MIGUEL ROBLES CURAY
COMPAÑÍA:	GEODATA CONTROL PERU S.A.C.

POPURU-25					
Station	Inclination	Azimuth	Northing	Easting	Elevation
Meters	Degrees	Degrees	Meters	Meters	Meters
0	-62.380	60.000	0.000	0.000	0.000
5	-61.451	59.611	1.184	2.034	-4.411
10	-61.204	59.530	2.399	4.103	-8.798
15	-61.572	59.597	3.612	6.167	-13.187
20	-61.515	59.672	4.816	8.223	-17.583
25	-61.322	59.686	6.024	10.288	-21.974
30	-61.539	59.813	7.229	12.353	-26.365
35	-61.706	59.821	8.423	14.408	-30.764
40	-61.680	59.818	9.615	16.457	-35.166
45	-61.608	59.843	10.809	18.510	-39.567
50	-61.683	60.089	11.997	20.566	-43.967
55	-61.741	60.573	13.170	22.625	-48.370
60	-61.955	60.591	14.329	24.680	-52.778
65	-61.922	60.604	15.484	26.729	-57.190
70	-61.965	60.260	16.644	28.774	-61.603
75	-62.048	60.003	17.813	30.809	-66.018
80	-61.902	59.908	18.989	32.843	-70.431
85	-62.055	60.203	20.162	34.878	-74.845
90	-61.879	60.056	21.332	36.916	-79.259
95	-61.719	60.358	22.506	38.967	-83.665
100	-61.985	60.572	23.669	41.019	-88.074
105	-62.293	60.216	24.823	43.050	-92.494
110	-62.508	59.834	25.980	45.057	-96.925
115	-62.668	59.751	27.139	47.046	-101.364
120	-62.657	59.747	28.295	49.030	-105.805
125	-62.770	59.377	29.457	51.006	-110.249
130	-62.812	59.160	30.625	52.971	-114.696
135	-62.898	58.305	31.809	54.921	-119.145
140	-62.454	57.652	33.026	56.867	-123.587
145	-62.192	57.474	34.272	58.827	-128.015
150	-62.715	57.552	35.514	60.779	-132.447

Fuente: Geodata control Perú SAC