

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO PROFESIONAL:

MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

JOSÉ IVÁN ARANA VIGO

Asesor:

Ing. Marcos Mendoza Linares

Cajamarca - Perú

- 2014 -

Agradecimiento

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para culminar este trabajo de investigación.

El autor

A:

*A Dios por permitirme vivir para
cumplir mis sueños.*

*A mis padres, por demostrarme tanto
amor.*

*A mi esposa y a mis hijos, que son mi
inspiración.*



CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	<i>ii</i>
DEDICATORIA	<i>iii</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>iv</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>v</i>
GLOSARIO	<i>vi</i>
RESUMEN	<i>vii</i>
ABSTRACT	<i>viii</i>
CAPITULO I	
1 Introducción	01
1.1 Justificación de la Investigación.	03
1.2 Alcances de la Investigación	04
1.3 Objetivos	05
1.4 Características locales	06
1.4.1. Ubicación	06
1.4.2. Geografía	07
1.4.3. Área de Influencia	07
1.4.3. Topografía	08
1.4.4. Altitud	08
1.4.5. Hidrografía	08
1.4.6. Temperatura	08
1.4.7. Pluviosidad	08
1.4.8. Accesibilidad	09
CAPITULO II	
2 Marco Teórico	10
2.1 Antecedentes Teóricos.	11



2.2. Teoría de la perforación	11
2.2.1. Métodos de exploración de suelos	11
2.2.2. Determinación del tipo de perforaciones	22
2.3. Clasificaciones de Perforaciones	24
2.4. Estudio de las desviaciones de los pozos de perforación	27
2.4.1. Por qué se desvía un pozo de perforación	30
2.4.2. Por qué es importante medir un pozo de perforación	31
2.5. Instrumentos de medición de pozos de perforación	35
2.5.1. Tecnologías y principios científicos	35
2.5.2. Instrumentos de medición de pozos más usado	38
2.2.8. Accesibilidad	10
2.6. Aplicaciones de la medición de pozos de perforación	38
2.6.1. Aplicaciones en el campo de la prospección geológica	38
2.6.2. Aplicaciones en el campo de la Ingeniería Civil	40
2.6.3. Otras aplicaciones	42
CAPITULO III	
3. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO	43
3.1. Análisis sobre la factibilidad de medir un pozo de perforación	43
3.2. Elección del instrumento de medición a usar	44
3.2.1. Evaluación de opciones. Técnico – económico	46
3.2.2. Evaluación de los parámetros medioambientales	47
3.2.3. Cuadro comparativo	49
3.3. Programación de las mediciones	49
3.3.1. Ubicación de los pozos a medir	51
3.3.2. Plan de medición	51



3.4. Mediciones	52
3.4.1. Equipo de medición	52
3.4.2. Procedimiento de medición	53
3.4.3. Toma de datos	56
3.4.4. Resultados numéricos y gráficos	57
3.4.5. Evaluación de los resultados	73
3.4.6. Informe del resultado de la medición	74
3.4.7. Pozos observados	75
3.4.8. Control de calidad del equipo	76
3.4.9. <i>Control de calidad de la medición</i>	76
3.5. Análisis del procedimiento de medición	77
3.5.1. Flujograma del proceso operativo	78
3.5.2. Procedimiento de medición de pozos de perforación	79
3.5.4. Certificación de la medición	84
 CAPITULO IV	
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
4.1. CONCLUSIONES	85
4.2. RECOMENDACIONES	
 CAPITULO V	
5.1. BIBLIOGRAFIA	87



INDICE DE TABLAS

TABLAS	Pág.
Tabla N° 1. Sondajes para estudios de cimentación del Edificio	23
Tabla N° 2. Tamaños usados en el sistema Wireline (Por cable)	28
Tabla N° 3. Secuencia común de una perforación	29
Tabla N° 4. Instrumentos de medición de acuerdo a la precisión del terreno	45
Tabla N° 5. Elección del instrumento de medición	46
Tabla N° 6. Cuadro comparativo, elección del equipo	49
Tabla N° 7. Método Estándar Medición Pozos Prospección Geológica	54
Tabla N° 8. Mediciones de Equipo Gyrosmart - No Magnético	58
Tabla N° 9. Mediciones de verificación de Pozo de 01 a 10 muestras	66
Tabla N° 10. Mediciones de verificación de Pozo de 11 a 16 muestras	67
Tabla N° 11. Mediciones de verificación de Pozo Dip de 11 a 10 muestras	70
Tabla N° 12. Mediciones de verificación de Pozo Dip de 11 a 16 muestras	71
Tabla N° 13. Procedimiento de medición de pozos de perforación	81
Tabla N° 14. Informe de medición de pozos de perforación	82
Tabla N° 15. Informe de medición de pozos de perforación	82



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
Figura 1. Pozo citado por Camberfort Oklahoma 1,962	32
Figura 2. Configuración típica giroscopio mecánico de dos ejes	37
Figura 3. Medición que expresa en planta la desviación en metros	63
Figura 4. Medición que expresa la longitud real del pozo en metros	64
Figura 5. Expresa la distancia de desviación del pozo con respecto al Este	64
Figura 6. Medición que expresa el rumbo y la inclinación forma del pozo	65
Figura 7. Mediciones que expresa el rumbo del pozo. 16 muestras.	68
Figura 8. Comparación del proyectado (línea negra) con el real	69
Figura 9. Inclinación del pozo	72
Figura 10. Comparación del proyectado (línea negra) con el real. MM	73
Figura 11. Flujograma del proceso operativo	78

GLOSARIO

Anisótropo: Característica de los cuerpos cuyas propiedades físicas dependen de la dirección.

Azimut: 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° hasta 360° y no se requiere indicar el cuadrante que ocupa la línea observada.

Barreno (a): Instrumento de acero para taladrar o hacer agujeros.

Barrido: Fluido de barrido, permite extraer el detrito del fondo del pozo.

Broca: Unidad que enrolla y desenrolla un cable de acero con el cual se baja soporta el peso de la misma, perfora el subsuelo y permite la apertura del pozo.

Buzamiento: Inclinación de un filón o de una capa del terreno. Ángulo con respecto al horizonte sobre el plano de la fractura.

Emboque: Acción de conectar dos tubos de acero, en trabajos de perforación, ya sean partes de la maquinaria de perforación, o de la tubería de perforación.

Empuje push down (apretar): Operación mediante la cual se mantiene en contacto la herramienta de corte con la roca durante la perforación.

Giroscopio: Aparato ideado por Foucault en 1852, consistente en un disco circular que gira sobre un eje libre y demuestra la rotación del globo terrestre. La función principal de un giroscopio es proporcionar equilibrio a un objeto o instrumento. Algunos instrumentos que utilizan un giroscopio interno incluyen la brújula, los automóviles, las aeronaves, y los dispositivos computarizados, entre otros.

Junta de la tubería: Parte o sección donde se conecta la tubería de perforación.

Litología: Parte de la geología que trata del estudio de las rocas.

Macizo rocoso: Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo.

Método de Raise Boring: Consiste en la utilización de una máquina electrohidráulica en la cual la rotación se logra a través de un motor eléctrico y el empuje del equipo se realiza a través de bombas hidráulicas que accionan cilindros hidráulicos.

Motores: Unidades que imprimen la fuerza motriz que requiere todo el sistema de perforación.

Muestreador Shelby: Tubo para muestrear de pared delgada.

Nanotecnología: Estudio y desarrollo de sistemas en escalas manométricas, "nano" es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que viene del griego *návoç* que significa enano, y corresponde a un factor 10^{-9} , que aplicado a las unidades de longitud, corresponde a una mil millonésima parte de un metro (10^{-9} m) es decir 1 Nanómetro.

Pandeo: Construcción, flexión de una viga, provocada por una compresión lateral. Dicho especialmente de una pared o de una viga: Torcerse encorvándose, especialmente en el medio.

Percusión: Impacto producido por el golpeteo del pistón del equipo sobre el terreno, estas ondas de choque se transmiten a la herramienta de corte a través del varillaje.

Perforación: Es agujerear algo atravesando alguna capa. Operación de excavación, consistente generalmente en calar un pozo, abrir un túnel o abrir barrenos en el terreno.

Posteador: Tipo de barreno helicoidal.

Prospección: Exploración del subsuelo basada en el examen de los caracteres del terreno y encaminada a descubrir yacimientos minerales, petrolíferos, aguas subterráneas u otros. Exploración de posibilidades futuras basada en indicios presentes.

Rotación: Movimiento que hace girar la herramienta de corte para que ataque radialmente la roca.

Sistema de lodos: Métodos que prepara, almacena, bombea, inyecta y circula permanentemente por dentro de la sarta un lodo de perforación cumple varios objetivos: lubrica y mantiene fría la broca, sostiene las paredes del pozo y saca a la superficie el material rocoso que se va perforando.

Tubería o "sarta" de perforación: Tubos de acero que se van uniendo a medida que avanza la perforación. A los tubos unidos se le conoce como "sarta" de perforación. El primer tubo que se coloca lleva en la punta una broca.

Volumen de mantos: Estimación volumétrica de formaciones geológicas de depósitos de rocas, minerales u otros, que se encuentran durante la exploración por perforación.

Winche: Del inglés Winch, palabra de uso común en los trabajos de campo para referirse al cabrestante. Torno generalmente accionado por un motor y destinado a levantar y desplazar grandes pesos. Se usa con cables y pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos o mecánicos.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue elaborar un estudio que desarrolle un método estándar de medición de pozos de prospección geológica. El trabajo se realizó en dos puntos de muestreo: *Primer punto de muestreo, Minera Yanacocha, ubicado al Norte de la ciudad de Cajamarca, en el distrito de La Encañada*, se ejecutaron 16 mediciones en un mismo pozo, se verificó los resultados y calidad de muestreo, obteniendo variaciones en un rango de 0.14 % menor que la tolerancia del equipo en ± 2 % de error. *Segundo punto de muestreo, Compañía Minera Cerro Corona GoldFields-La Cima, ubicado al Norte del distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc*, se midió un pozo de 900 m. En ambos casos se utilizó un procedimiento de trabajo seguro y Plan Medio Ambiental (PMA). Utilizando el Método Estándar de Medición de Pozos de Prospección Geológica basado en las Normas Peruanas y se desarrolló teniendo en cuenta tres aspectos: técnicos-operativos, medioambientales y de seguridad ocupacional. Estas consideraciones contemplan las leyes peruanas vigentes con respecto a medioambiente y seguridad industrial. En general la medición de pozos de prospección geológica permite conocer la ubicación en coordenadas de las diferentes muestras o testigos de una perforación más precisa y el muestreo es más confiable.

Palabras claves: Anisótropo, Azimut, Barreno, Barrido, Broca, Empuje push down.

ABSTRACT

The objective of this research was to conduct a study to develop a standard method of measuring geological wells. The work was conducted in two sampling points: First sampling point, Minera Yanacocha, located north of the city of Cajamarca, in the district of La Encañada, 16 measurements were performed in the same well, the results and quality was verified sampling, obtaining variations in the range of 0.14% less than the tolerance of the team in + - 2% error. Second sampling point, Compañía Minera Cerro Corona GoldFields-La Cima, located north of the district Hualgayoc, Hualgayoc province, a well of 900 m was measured. Safe work procedure and Medium Environmental Plan (PMA) was used in both cases. Using the Standard Method of Measurement of Wells Geological Survey based on Peruvian standards and developed taking into account three aspects: technical-operational, environmental and occupational safety. These considerations contemplated Peruvian laws regarding environment and safety. Overall measuring geological wells allows the location coordinates of the different samples or witnessed a more accurate drilling and sampling is more reliable.

Words key: Anisotropic, Azimut, Borehole, Sweep, Broca, Push down.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación evidencia que la medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica, en los últimos años, ha acentuado un éxito en exploraciones geofísicas, utilizando tecnologías de última generación en correlación de conocimientos sobre geología, física y características del campo geotérmico. La planificación de las técnicas geofísicas utilizadas depende de factores que producen que un pozo durante su perforación desvíe su trayectoria; como las propiedades estructurales del suelo, el diámetro de perforación, el mal alineamiento y emboque, demasiado empuje push down, así como de factores típicos, por lo que la exploración y muestreo de suelos, distingue cuáles son las técnicas de sondeo, equipos y tipos de perforación, logrando establecer el inicio y fin de la trayectoria de los pozos perforados, cotejando la desviación e inclinación del pozo, desde su coordenada inicial hasta su coordenada final, así como la longitud real del pozo.

La investigación se justificó, porque el presente trabajo de investigación al realizar la medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica incrementa la precisión de la perforación, obteniendo la ubicación correcta del pozo en coordenadas, así como su inclinación y dirección, permitiendo saber la desviación que ha tenido con respecto a su diseño original y definir la estrategia de exploración más rentable en cada una de las áreas de investigación.

El objetivo de estudio fue elaborar un estudio que desarrolle un método estándar de medición de pozos de prospección geológica.



Es relevante, determinar que al realizar la medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica, incrementan la precisión de la perforación, obteniendo la ubicación correcta del pozo en coordenadas, así como su inclinación y dirección, permitiendo saber la desviación que ha tenido con respecto a su diseño original y definir la estrategia de exploración más rentable en cada una de las áreas de investigación, en la ciudad de Cajamarca.

Los resultados obtenidos de esta investigación, permitieron concluir que todos los pozos se desvían. Los datos obtenidos numéricos y gráficos nos indican una desviación significativa con respecto a la trayectoria esperada. La longitud de diseño de perforación también varió, es decir se perforaron menos metros. La inclinación sufrió una variación con respecto al diseño del pozo.

El presente proyecto de investigación contiene cinco Capítulos de los cuales: *Primer Capítulo*, corresponde a la introducción, justificación de la investigación, alcances y objetivos; *Segundo Capítulo*, comprende el marco teórico: Antecedentes teóricos, características locales, definición de algunos términos básicos que le dan sustento a la investigación; el *Tercer Capítulo*, concierne a la Metodología y Procedimiento describe los resultados de la información obtenida de manera estadística; el *Cuarto Capítulo*, incluye conclusiones y recomendaciones; finalmente el *Quinto Capítulo*, muestra la lista de referencias consultadas y los anexos.



1.1. Justificación de la investigación

La importancia del presente trabajo de investigación radica en que al realizar la medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica se incrementa la precisión de la perforación, obteniendo la ubicación correcta del pozo en coordenadas, así como su inclinación y dirección, permitiendo saber la desviación que ha tenido con respecto a su diseño original y definir la estrategia de exploración más rentable en cada una de las áreas de investigación. Esta información es fundamental en la prospección para la construcción de grandes estructuras de la industria minera y petrolera.

Los resultados de este proyecto permitieron elaborar un estudio de desarrollo con un método estándar de medición de pozos de prospección geológica; generando información para la implementación de estos métodos de medición, los cuáles brindarán un aporte importante en el desempeño de los profesionales, técnicos, estudiantes y personas interesadas en aplicar estas nuevas tecnologías en sus investigaciones, proyectos o trabajos de campo. Utilizando estrategias de exploración eficiente diseñada en mejor posición para determinar el potencial de contribución y los costos económicos probables de aplicación de esta técnica específica, en el departamento de Cajamarca.

Además, los aportes del presente proyecto de investigación servirán de guía para otros investigadores interesados en el tema de medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica, teniendo en cuenta aspectos técnicos, medioambientales y de seguridad ocupacional.



1.2. Alcances de la investigación

La medición de pozos de sondeo o sondaje tiene por finalidad lograr establecer el inicio y fin de la trayectoria de los pozos perforados. Partiendo de la premisa real de que todos los pozos se desvían, es muy importante verificar la desviación e inclinación del pozo, esto nos permite saber un punto de origen (coordenada inicial) hasta llegar al fondo del pozo con un punto final (coordenada final) Este último punto también verifica la longitud real del pozo (profundidad o metros perforados).

Los equipos de medición modernos logran entregar a través de un software información numérica y gráfica del sondaje, así como, en el caso que por diversos motivos no se logre llegar al fondo del pozo (por dificultades operativas o condiciones del terreno) pueden simular la trayectoria final del pozo, este último dato es obtenido por métodos matemáticos y relacionales.

Se pueden medir pozos inundados, es decir, pozos que en su trayectoria de perforación atraviesan mantos de agua se inundan, fenómeno muy común en la perforación, los equipos de medición, en su mayoría logran medir sin mayores dificultades. En el mercado existen equipos que para realizar las mediciones deben trabajar exclusivamente con el pozo inundado.

Es muy importante medir la trayectoria de estos pozos, ya que el sondaje se realiza en diferentes puntos de un área determinada. Los resultados obtenidos a diferentes profundidades en un pozo 1, son relacionados con los resultados a las mismas profundidades con un pozo 2, y así sucesivamente en todos los pozos abiertos, ya sean estos de prospección geológica o hidrogeológica. Estos puntos perforados forman una malla de perforación de gran escala, ya que se encuentran a distancias considerables, por lo que la desviación de cada pozo es muy importante al momento de realizar la correlación y análisis de los



testigos y formar un volumen de mantos importantes a considerar. En la prospección para dimensionar depósitos minerales, estos volúmenes pueden ser extremadamente diferentes si los datos de medición no son los correctos, este es un problema grave, ya que las decisiones, que se toman en base a esa información, pueden determinar la viabilidad del proyecto.

Actualmente existen empresas especializadas en medición de pozos de perforación, en minería los planes de exploración contemplan la medición del ángulo de inclinación y dirección de los pozos. Este trabajo es parte de la perforación de exploraciones en minas como Yanacocha, Antamina, Quellaveco, Cerro Verde, Cerro Corona-La Cima, entre otras. Los resultados han sido beneficiosos para los proyectos pues han logrado ubicar mantos de minerales con mayor precisión y analizar con mayores pruebas la factibilidad de los proyectos. Asimismo han podido realizar el modelamiento de sus yacimientos, a efectos de cuantificar volumétricamente los diferentes tipos de materiales presentes en el sub suelo. Sin embargo no todos reconocen la necesidad de medir estos sondajes; más aún cuando los presupuestos se incrementan al plantear estos trabajos, pero una evaluación rigurosa del costo-beneficio podría demostrar beneficios mayores en la ejecución o no de un proyecto.

Los instrumentos de medición que se han usado en el tiempo han sido diversos; sin embargo se considera una nueva etapa de mayor precisión y calidad de la medición, al utilizar instrumentos basados en tecnología giroscópica, los cuáles han logrado entregar resultados en menor tiempo y de mayor precisión.

La exploración y muestreo de suelos en el campo de la ingeniería civil, es muy importante, tanto a nivel de la etapa de desarrollo del proyecto como en la ejecución del mismo. Tener datos firmes, seguros y abundantes respecto al



suelo con el que se está tratando, nos permite anticipar condiciones críticas durante la construcción de un proyecto.

Es fundamental, desarrollar un adecuado estudio del terreno, cuáles son las técnicas de sondeo, equipos y tipos de perforación y principalmente, el procesamiento, interpretación y aplicación de los resultados.

1.3. Objetivos

General

- Elaborar un estudio que desarrolle un método estándar de medición de pozos de prospección geológica.

Específicos

- Interpretar correctamente los datos obtenidos por la medición.
- Conocer los equipos de medición de pozos de prospección geológica de última generación y su desarrollo tecnológico.
- Analizar el proceso de medición de pozos de perforación y mejorarlo.
- Determinar la importancia de medir este tipo de pozos, en cuanto a costos e impacto en los proyectos de ingeniería.

1.4. Características locales

1.4.1. Ubicación:

a. Política

Departamento : Cajamarca
Provincias : Cajamarca y Hualgayoc
Distritos : La Encañada y Hualgayoc



La sistematización del proyecto se realizó en dos puntos de muestreo, el primero se realizó en Minera Yanacocha- distrito de la Encañada, y el segundo se realizó en Compañía Minera Cerro Corona GoldFields-La Cima.

b. Geográfica

La ubicación geográfica de los dos puntos de muestreo son los siguientes: Las operaciones de *Minera Yanacocha* se ubican al Norte de la ciudad de Cajamarca, en el distrito de La Encañada. Localizada dentro de las coordenadas UTM E 772,800, N 9'229,000 E 774,000, N 9'230,000 y la *Compañía Minera Cerro Corona GoldFields-La Cima*, se ubica al Norte de la provincia de Cajamarca en la provincia de Hualgayoc, distrito de Hualgayoc, comunidad campesina, "El Tingo", anexo predio La Jalca, caseríos Coymolache y Pilancones. Se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los andes peruanos, hacia la vertiente continental del océano Atlántico. Localizada entre las coordenadas del eje central del proyecto UTM 9252018.494 Norte 761648.441 Este.

1.4.2. Área de Influencia:

Minera Yanacocha: Provincias de Cajamarca y Hualgayoc y

Mina Cerro Corona GoldFields-La Cima: Provincia de Hualgayoc.



1.4.3. Topografía:

La topografía de la zona es accidentada, por estar ubicada dentro de las zonas Suni y Jalca.

1.4.4. Altitud:

Ambos proyectos se encuentran entre las altitudes de 3 200 m.s.n.m. y los 4 000 m.s.n.m.

1.4.5. Hidrografía:

La hidrografía de los dos puntos de muestreo son los siguientes:
En Minera Yanacocha: El proyecto abarca las Cuencas del Río Rejo, Río Grande, Río Azufre y Quebrada Honda y en *Mina Cerro Corona GoldFields-La Cima*: El proyecto abarca las cuencas de los ríos Tingo, La Quebrada o Tingo, Maygasbamba, Hualgayoc y Arascorgue.

1.4.6. Temperatura:

La temperatura de los dos puntos de muestreo presentan un clima de zona es templado y frío, abarcan temperaturas que varían en promedio de los 2°C y 15°C (SENAMHI - Cajamarca).

1.4.7. Pluviosidad:

En los dos puntos de muestreo la pluviosidad está relacionada con la altitud existente y su distribución es más regular a mayor altura
Precipitación promedio anual de 200 mm.



1.4.8. Accesibilidad

El acceso a los puntos de muestreo difieren en *Minera Yanacocha*, La zona de operaciones se encuentra a 45 kilómetros al Norte del distrito de Cajamarca, el acceso está ubicado en el Km 35 de la carretera Cajamarca- Bambamarca Ruta-3N y en *Mina Cerro Corona GoldFields-La Cima*, Su ubicación dista a 10 kilómetros al Noreste del poblado de Hualgayoc, a 30 kilómetros al Suroeste de Bambamarca (capital provincial), y a 90 kilómetros de Cajamarca (capital de la Región) por la carretera Cajamarca-Bambamarca Ruta- 3N.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

El ingeniero Luis Silva Arrieta, gerente de Ingetrol compañía chilena de perforación, realizó un estudio sobre mediciones de pozos de prospección geológica presentado en la feria internacional de minería EXPOMIN CHILE, en el año 2004. Presentó el equipo GyroSmart que utilizaba giroscopios mems, la innovación de este equipo fue la batería interna que utilizaba el equipo, cuya duración era de 3 horas (Silva, 2008).

La compañía Stockholm Precisión Tools AB (STP) en el año 1996 presentó sus equipos de medición para la industria petrolera, minera y gas natural, los instrumentos de SPT son innovadores y actualmente cuentan con equipos de tecnología de navegación con giróscopos buscadores de norte. Esta innovación permite al instrumento ubicarse sin necesidad de ingresar datos iniciales como azimut y coordenadas (Silva, 2008).

En 1974 se funda la empresa Reflex que produce equipos de medición, siendo su primer producto el Fotobor, basado en toma fotográfica; posteriormente en el año 1990, presenta el instrumento Maxibor instrumento de tecnología óptica y que tuvo mucho éxito, después de presentar innumerables instrumentos, en el año 2005 presenta el Maxibor II versión vigente a la fecha. Reflex adquiere el GyroSmart mejorando su performance en cuanto a diseño, robustez, software, transmisión de datos, duración de baterías, y hardware para procesamiento de datos. Actualmente es el equipo más versátil y de mejores resultados en el mercado internacional (Silva, 2008).



Estos equipos además de su uso en las industrias petroleras, mineras y gasíferas, se utilizan en el estudio de suelos para grandes estructuras. El rescate de los mineros chilenos atrapados en la mina San José en Atacama, Chile, se realizó con el apoyo de un instrumento GyroReflex, operado por un contratista de mediciones australiano (Silva, 2008).

En el Perú no se conocen estudios realizados; existen trabajos de medición realizados por empresas especializadas las que principalmente brindan servicios a la industria del petróleo y minería (Comunicación oral).

En Cajamarca no existen estudios realizados con respecto al tema. Minera Yanacocha realiza campañas de perforación en sus operaciones y en exploraciones, las perforaciones son tipo diamantina y las realizan empresas especializadas. Estas perforaciones son medidas y auditadas por compañías de medición que usan tecnologías giroscópicas (Comunicación oral).

2.2. Teoría de la perforación

2.2.1. Métodos de exploración de suelos

La perforación de pozos de prospección geológica responde a la necesidad de conocer las propiedades del suelo o materiales, sobre el cual se va a desarrollar determinado proyecto para la construcción de grandes estructuras o extracción de recursos minerales. La perforación debe realizarse para asegurar datos con mayor precisión y aproximación, estos datos son fundamentales para la concepción del proyecto y dependiendo de la magnitud y alcance de la obra este proceso inicial es muy importante. La teoría de la perforación obedece entonces a



determinadas necesidades, ubicadas estas se definirá el tipo de trabajo a realizar, cuya finalidad es la exploración y muestreo.

Asimismo, la perforación de un suelo obedece a determinar las características de un macizo rocoso como objetivo general; en el campo de la construcción a conocer las propiedades intrínsecas del suelo sobre el que se va a construir una obra, y como podrían afectar en mayor o menor grado la ejecución del proyecto.

Es importante tener en cuenta otros factores que son objetivos igual de trascendentes, y que se deben tener en cuenta en el estudio de un macizo rocoso:

- Determinación de la litología, a efectos de saber y conocer el tipo de material o materiales que constituyen el macizo rocoso. Esto es muy importante, pues puede ser determinante para definir la ubicación del proyecto.
- Determinación de la estructura, para definir si el macizo es consolidado, masivo u homogéneo, o tiene estratos y de qué tipo.
- Determinación de la fracturación, con la finalidad de definir alguna falla, se pueden determinar el buzamiento (ángulo con respecto al horizonte sobre el plano de fractura) y la dirección (ángulo con respecto al norte sobre la horizontal).
- Determinación de las propiedades de los materiales que conforman el macizo.
- Determinación del nivel freático en sus diferentes temporadas, y los posibles cambios en éste con la obra culminada.



- Determinación de la estabilidad de taludes, adyacentes al proyecto, así como su posible comportamiento ante fenómenos naturales y a la presencia de la obra.
- Otros aspectos y consideraciones asociadas a las características del terreno, que pueden apreciarse con un adecuado sondaje, exploración y muestreo.

Existen muchos métodos de exploración de suelos, los más utilizados son:

a. Métodos de exploración de carácter preliminar:

- Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado
- Perforaciones con porteadora, barrenos helicoidales o métodos similares
- Métodos de lavado
- Método de penetración estándar
- Método de penetración cónica
- Perforaciones en boleos y gravas

b. Métodos de sondeo definitivo

- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- Métodos con tubo de pared delgada

c. Métodos rotatorios para roca

d. Métodos Geofísicos

- Sísmico.
- De resistencia eléctrica
- Magnético y gravimétrico



a. Métodos de exploración de carácter preliminar

- **Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado:** Este método es el más satisfactorio, pues se considera un tipo de excavación con las dimensiones suficientes para que el técnico pueda bajar y analizar los diferentes estratos, fallas, contenido de humedad y otras características en estado natural. Los alcances de este método dependen principalmente del tipo de suelo, el nivel freático y de otras características que pueden ser limitaciones durante el proceso de excavación o al momento de tomar las muestras.

Durante el proceso de muestreo debe tenerse en cuenta la naturaleza del suelo sin alterar ya que durante la excavación se activan flujos de agua, pudiendo cambiar las propiedades de las muestras. Es recomendable en trabajos en un pozo a cielo abierto llevar un registro completo de las características, condiciones y cambios que se vayan presentando durante la excavación. Las muestras pueden ser alteradas o inalteradas, dependiendo de lo que se requiera.

- **Perforaciones con posteadora y barrenos helicoidales:** Este tipo de exploración brinda muestras de suelo sumamente alteradas, esto debido a que las herramientas que se utilizan trabajan por penetración forzada, sin ningún tipo de consideración por conservar las características primigenias en la extracción de la muestra. Este tipo de muestras suelen ser representativas para hallar el contenido de humedad o la granulometría del suelo. Los barrenos helicoidales, en cuanto a tamaño y separación o paso de la hélice, depende del



tipo de material (cerrado para suelos arenosos y muy abierto para arcillas) y de la preferencia del perforista. Otra herramienta de gran aplicación son las posteadoras, se pueden utilizar manualmente o adaptada al extremo superior de una tubería de perforación para lograr penetración en terrenos muy duros.

Cuando se extraen muestras arenosas bajo el nivel freático, es muy difícil utilizar barrenos helicoidales o posteadoras, en este caso se utilizan cucharas especiales, de las cuáles hay muchas variedades. Estas muestras son aún más alteradas que las muestras obtenidas con barrenos helicoidales y posteadoras, esto debido a la acción del agua en la cuchara, creando una muestra en suspensión.

- **Métodos de lavado:** Este método permite conocer de forma muy aproximada la estratigrafía del suelo. Es económico y rápido en relación a otros métodos, se usa también como auxiliar de avance durante otros métodos de exploración. Las muestras obtenidas son sumamente alteradas, por lo que no son susceptibles de ninguna prueba de laboratorio. La operación consiste en hincar el suelo con un tubo de acero (ademe) con un martillo de 80 a 150 kg. de peso, suspendido en un trípode, se inyecta agua a través del ademe y dentro de una tubería, impulsada por una bomba, el agua con el suelo (sedimento) salen por presión entre el espacio comprendido por el ademe y la tubería de inyección. Se recoge en un recipiente y se puede analizar la muestra. Este procedimiento debe complementarse con una cuchara tipo trépano, las muestras pueden tomarse cada 1.50 metros, cuando el sedimento cambia de color debe procederse de inmediato a un nuevo muestreo, pues indica un cambio brusco de suelo, es decir un nuevo estrato o contaminación por algún mineral del agua.



- **Método de penetración estándar:** Este método proporciona información de forma práctica y con resultados, no solo del subsuelo, también de su descripción. En suelos friccionantes permite conocer la compacidad de los mantos, información muy importante para conocer su comportamiento mecánico. En suelos plásticos la prueba puede mostrar la resistencia de un suelo a la compresión simple. Las muestras representativas son alteradas.

El equipo consta de un penetrómetro de dimensiones establecidas (aproximadamente 0.8 m. de largo) este muestreador tiene ciertas características especiales, que permiten relacionar lo ejecutado en el campo con lo analizado en laboratorio en diversos suelos, principalmente en arenas; logrando aproximar la compacidad, ángulo de fricción interna y el valor de la resistencia a la compresión simple en arcillas, esto debido a que para lograr que el penetrómetro estándar logre ingresar los 0.30 m. especificados, es necesario golpear, contando el número de golpes se pueden determinar todos estos parámetros.

- **Método de penetración cónica:** Estos métodos se utilizan en terrenos cuya estratigrafía es conocida o determinada con anterioridad, por lo que la prueba se realiza en zonas específicas. Mide básicamente la resistencia del suelo al punzonamiento del cono. Estos métodos pueden ser:

Estáticos: La herramienta o cono de penetración se hinca a presión a través de elementos hidráulicos, gatos o pistones, midiéndose en la superficie la fuerza aplicada (Veccio y Luna 2009).



Dinámicos: La herramienta cónica es introducida a golpes, con un peso que se deja caer y golpea la superficie del cono. Se toma la medida de penetración en relación al peso que impacta. Lo usual es un peso de 63.50 kg. con 0.76 m de altura de caída, esta misma energía se utiliza en la prueba de penetración estándar, igualmente se cuentan los golpes para lograr 0.30 m. de penetración de la herramienta (Veccio y Luna 2009).

- **Perforaciones en boleos y gravas:** Al perforar, las herramientas o equipos de perforación, deben atravesar mantos de diferentes formaciones rocosas, cuando se presentan materiales muy resistentes o mantos demasiado consolidados hay que utilizar equipos de mayor envergadura, para el caso de boleos o gravas, muchas veces se usan herramientas de mayor peso, tipo barretones con taladros de acero de alta resistencia, los cuales se dejan caer sobre el estrato a perforar, para esta maniobra se utilizan cables.
- En este tipo de muestreo, se utilizan, inclusive, explosivos, por lo que las muestras son totalmente alteradas (Veccio y Luna 2009).

b. Métodos de Sondeo Definitivo

- **Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado:** Este método se ha descrito en los métodos de exploración de carácter preliminar, donde se indica que la muestra obtenida puede ser alterada o inalterada. En este procedimiento, solamente se considerará obtener muestras inalteradas (el concepto de muestra inalterada, como ya indicamos, no es riguroso, pues la muestra siempre sufre alguna alteración, por más mínima que sea). Asimismo, se debe considerar, obtener datos



adicionales, como buzamientos, potencias, resistencia, tipo de material, etc (Veccio y Luna 2009).

- **Muestreo con tubos de pared delgada:** Este tipo de dispositivos son, básicamente, muestreadores que penetran en el suelo forzados, son cilíndricos y toman muestras en suelos que no presentan resistencias muy fuertes, sin embargo, en suelos muy blandos, con alto contenido de arenas y agua, muchas veces no logra extraer la muestra.

Los muestreadores de tubo de pared delgada, son de varios tipos, siendo los más usados el tipo Shelby, que consta de un tubo de acero sin costuras de 0.80 a 1.00 m de largo, que va conectada a la tubería de perforación, al ingresar en el suelo, una válvula interior corre longitudinalmente a través de un tornillo transversal abriéndose y atrapando la muestra.

Otros dispositivos son el muestreador de pared delgada de pistón y el muestreador que penetra por presión de un diferencial (tipo cardán, activado por poleas).

c. Métodos Rotatorios para Roca

Estos métodos se utilizan cuando los suelos presentan gran resistencia, es decir, las muestras que se requieren son de mantos o bloques de gran dureza, y donde la penetración de las herramientas convencionales no pueden operar. Asimismo, cuando se requiere tomar muestras a grandes profundidades, es necesario usar equipos de perforación de alta rotación con herramientas de gran resistencia a la abrasión, estos equipos se denominan perforadoras de rotación. Las capacidades de estos equipos de perforación pueden ser desde 1.00 metro hasta 1,500 metros de



profundidad de forma casi convencional, llegando hasta los 4,000 metros de profundidad en casos excepcionales o especiales.

En las maniobras de perforación rotatoria, hay tres factores determinantes: la velocidad de rotación, presión de agua o fluido de perforación y la presión sobre la roca.

Estos métodos serán descritos con detalle posteriormente, ya que las desviaciones de los pozos de perforación se presentan en este tipo de prospección.

d. Métodos Geofísicos

Estos métodos de exploración de suelos, se realizan para determinar variaciones en las características físicas de los estratos de suelo de formación sedimentaria que se encuentran sobre formaciones rocosas basales. Este tipo de exploración brinda información muy útil cuando se requiere conocer el perfil de formación de roca basal, así como en investigaciones preliminares para la construcción de presas de tierra. La aplicación de estos métodos es de mayor utilidad en minería e investigaciones geológicas. En mecánica de suelos su aplicación es de menor uso, a pesar que son métodos muy rápidos y expeditivos y pueden satisfacer grandes áreas, no brindan la suficiente información para sustentar definitivamente un proyecto que requiera un soporte de estudios de mecánica de suelos. En este sentido, estos métodos no se pueden considerar a efectos de un estudio serio de cimentaciones.

Describimos a continuación los principales métodos geofísicos más utilizados:



- **Sísmicos:** Consiste en la generación de un impulso elástico en la superficie y el respectivo análisis del movimiento en el suelo de la onda creada por este impulso. Estas pruebas se basan en que según la naturaleza de las rocas varía la transmisión de las ondas elásticas, asimismo en las capas sedimentarias; particularmente se supone están separadas por superficies de contacto bien definidas, que reflejan o refractan parte de las ondas generadas (Veccio y Luna 2009)..

La velocidad de propagación varía entre 150 y 2,500 m/seg en suelos, correspondiendo mayores valores a mantos de grava muy compactos y los menores valores a arenas sueltas. Los suelos arcillosos tienen valores medios, en este rango las arcillas duras son mayores y menores las suaves. En roca los valores fluctúan entre 2 000 y 8 000 m/seg, como término de comparación se usa como referencia que la velocidad de estas ondas en el agua son del orden de 1 400 m/seg (Veccio y Luna 2009).

El método, en la práctica, consiste en provocar una explosión en un punto determinado del área a explorar, usando una pequeña carga de explosivo, usualmente nitro amonio. Ubicados previamente los geófonos (registradores de onda) instalados con una separación de 15 a 30 m. Los geófonos captan la vibración y la transmiten amplificada a un oscilógrafo central que marca varias líneas, una para cada geófono.

- **Resistencia Eléctrica:** Los suelos, dependiendo de su naturaleza, presentan resistividad eléctrica en mayor o menor cuantía, cuando se les induce corriente a través. Esta resistividad eléctrica puede medirse colocando cuatro electrodos equidistantes y alineados; dos se colocan en la superficie y van conectados en serie a una batería, estos son los de corriente; el otro par son interiores y se denominan de potencial de la



corriente circulante. Este método mide las resistividades a diferentes profundidades en un mismo lugar, también a lo largo de un perfil. Las mayores resistividades corresponden a rocas duras, siguiendo las suaves, gravas, hasta llegar a suelos suaves y saturados, los que tienen una menor resistividad (Veccio y Luna 2009)..

Este tipo de mediciones son de mucha utilidad en la prospección de minerales, sin embargo, en mecánica de suelos se aplica muchas veces para determinar la presencia de estratos de roca en el sub suelo.

- **Magnético y gravimétricos:** En el método magnético se mide la componente vertical del campo magnético terrestre en la zona considerada, en varias estaciones próximas entre sí. En los métodos gravimétricos se mide la aceleración del campo gravitacional en diversos puntos de la zona a explorar, las variaciones de esta aceleración indicarán la presencia de masas duras o ligeras, cavernas o agujeros. Estos métodos requieren de equipos de medición como los magnetómetros (Veccio y Luna 2009).

Para efectos de estudios de suelos no son muy usados, ya que arrojan un grado de error muy significativo, y los resultados no son de fácil procesamiento e interpretación.

En general, la elección del método o métodos exploratorios a usar en un proyecto, dependen de la importancia de la obra o proyecto a ejecutar sobre determinada área. Es muy importante tener en consideración que cuantos más datos se obtienen del suelo, es más seguro el éxito del proyecto. Esto depende principalmente de la magnitud y alcance de la obra, del presupuesto, del tipo de subsuelo, de estudios anteriores en la



zona, del acceso al proyecto y otras consideraciones que pudieran dificultar o facilitar la exploración.

2.2.2. Determinación del tipo de perforaciones

Determinar si se va a perforar para estudios de suelos, depende de la importancia del proyecto y del tipo de suelo que se presenta. La cantidad de pozos que se deben de aperturar, está en función de los primeros resultados y hallazgos encontrados en las prospecciones iniciales. Si bien es cierto, todo proyecto cuenta con un plan de perforación que indica el número de pozos a "abrir", es determinante lo que se encuentra en las primeras prospecciones, ya que pueden indicar lo esperado y estimado, sobrepasar las expectativas o simplemente no llegar a ningún resultado esperado. El tipo de perforación a usar, depende del tipo de estudio, si es un proyecto estructural como una presa o un gran edificio, el tipo de perforación deberá enfocarse a obtener y preservar muestras para los ensayos de mecánica de suelos. En el caso de un proyecto minero el tipo de perforación deberá considerar grandes profundidades, los "testigos" deberán obtenerse idealmente inalterados, ya que la estratigrafía es muy importante.

Los sondajes para estudios de cimentación, se determina para efectos prácticos, considerando 1.5B y 3B, siendo B el ancho de la estructura materia de estudio. En el caso de grandes estructuras, como una presa, el estudio es más profundo, dependiendo esto de las condiciones del subsuelo y de lo que se va muestreando a determinadas profundidades, considerando necesario seguir sondeando (Juárez y Rodríguez, 2005).



Tabla N° 1. Sondajes para estudios de cimentación del Edificio

ANCHO DEL EDIFICIO	NÚMERO DE PISOS DEL EDIFICIO				
	1	2	4	8	
Medida					
30.00 m	3.40 m	4.40 m	10.00 m	16.20 m	24.00 m
60.00 m	3.70 m	6.70 m	12.50 m	20.70 m	33.00 m
120.00 m	3.70 m	7.00 m	13.70 m	24.70 m	41.50 m

Fuente: Mecánica de Suelos (Juárez y Rodríguez, 2005).

En este trabajo de investigación se realizó sondeos exploratorios, que se basan en métodos de sondeo definitivo y rotatorio para roca, en estos casos el sondaje se realiza a grandes profundidades. En el caso de los métodos con tubo de pared delgada, las profundidades de perforación son menores que utilizando métodos rotatorios, porque funcionan en suelos blandos, de llegar a un macizo es necesario utilizar métodos rotatorios para roca alcanzando grandes profundidades existen registros de casi 4,000 m. de perforación (Juárez y Rodríguez, 2005).

En este tipo de exploración se perforan pozos a grandes distancias formando una malla, al obtener las muestras se realizan análisis estratigráficos de tipo de suelo cercano a la realidad (es importante partir de la premisa que las muestras o testigos inalterados totalmente no existen) así mismo se pueden realizar pruebas que indican la calidad de la roca, como RQD por sus siglas en inglés (Rock Quality Designation) que mide la fracturación y meteorización de la roca (Juárez y Rodríguez, 2005).

Si tenemos en cuenta, de acuerdo a lo expuesto anteriormente, este tipo de perforaciones a grandes profundidades se desvían groseramente, por lo que la importancia de medir la desviación e inclinación de los pozos perforados, es fundamental al modelar el espectro de un macizo rocoso



encontrado a cierta profundidad y que puede ser crítico al momento de decidir la viabilidad del proyecto. Es muy distinto encontrar un macizo de suelo conformado por yesos en la fundación de una represa, que encontrar roca ígnea, ubicar un espectro de estos materiales nos permitirá saber la potencia y longitud del macizo y tomar decisiones acertadas y fundamentales para la viabilidad del proyecto (Juárez y Rodríguez, 2005).

En la industria minera, se reconocen distintos tipos de perforación con diferentes fines, los objetivos son principalmente ligados a la prospección y extracción de minerales, metálicos y no metálicos.

2.3. Clasificaciones de Perforaciones

a. Según la Técnica de Perforación

- **Perforación Manual:** Se utilizan equipos ligeros operados por perforistas, en este caso el operador es quien aplica la herramienta directamente sobre el terreno. Este tipo de perforación se utiliza en trabajos de menor envergadura.

- **Perforación Mecanizada:** Los equipos de perforación van montados sobre estructuras móviles o estáticas, dependiendo del tipo de perforación, pueden contar con cabina de mando y plataformas para los operadores. Este tipo de equipos se utilizan en trabajos de gran envergadura (López, 2002).



b. Clasificación según la aplicación

- **Perforación de banqueo:** Este tipo de perforación puede ser vertical o inclinada, su aplicación puede ser en minería subterránea o a tajo abierto. En obras civiles se utiliza en perfilado de taludes de carreteras y en canteras de agregados, entre otras aplicaciones (López, 2002).
- **Perforación de avance de galerías y túneles:** Esta aplicación se utiliza en minería subterránea, es horizontal y puede ser mecanizada o manual. Los equipos que realizan esta labor son conocidos comúnmente como "Jumbos" (López, 2002).
- **Perforación de producción:** En este caso la perforación se realiza de forma vertical o inclinada, en este tipo de perforación hay dos aplicaciones principales. La primera y más conocida es la perforación para voladura, el "pozo" o "taco" de perforación es parte de una malla diseñada para tal fin, y es cargado con explosivo para aflojar el material y poder ser explotado. La segunda aplicación, se utiliza en terrenos consolidados o en macizos rocosos, consiste en la fractura del material a través de la perforación vertical en un talud, en cuya base o pie, se aglomera el material, que es recogido y trasladado hacia una zona de almacenamiento. Existen otras aplicaciones, que de acuerdo a los objetivos y recursos utilizan equipos específicos (López, 2002).
- **Perforación de chimeneas:** Son perforaciones verticales de uso común en minería subterránea y en obras civiles. Los métodos de perforación son especiales, entre los que destacan la "jaula Jora",



el método de "Raise Boring" entre otros. La finalidad de construir estas chimeneas son principalmente, de unir dos galerías subterráneas, oxigenar túneles cuando se cierran para mover minerales, entre otros (López, 2002).

- **Perforación con recubrimiento:** Este tipo de perforación es muy usado en suelos poco consolidados, o en perforaciones de pozos de captación agua. Los métodos de perforación a usar dependen de lo que se requiera y del terreno, concluido el trabajo se instala el revestimiento permanente. Actualmente se viene utilizando tubería de perforación de revestimiento, es decir, la tubería de perforación, concluida ésta, queda como revestimiento permanente (López, 2002).
- **Sostenimiento de rocas:** Utilizado para la colocación de pernos de anclaje en minería subterránea. Se utilizan equipos manuales, principalmente (López, 2002).

c. Clasificación según el método de perforación con equipo

- **Rotopercutivos:** Se utilizan generalmente en minería subterránea, en minería a cielo abierto se usa en el denominado "pre corte" dependiendo si el martillo se utiliza en cabeza como en el fondo del barreno (López, 2002).
- **Rotativos:** Este método tiene dos formas marcadas de perforación: por trituración y por corte, ambas se diferencian por la herramienta que ataca al terreno, tricono o core (López, 2002).



2.4. Estudio de las desviaciones de los pozos de perforación

Las desviaciones importantes y que son materia de estudio, se presentan principalmente en pozos perforados con sistemas de rotación, esto no implica que pozos perforados con otros sistemas no se desvíen, todas las perforaciones son susceptibles de desviarse. La importancia de estudiar y determinar la desviación de un pozo de prospección, depende de la finalidad de la perforación y de la profundidad, en este sentido es muy importante indicar que las desviaciones materia de estudio son de pozos de prospección geológica de profundidades mayores a los 50 metros (López, 2002).

Cuando se va a perforar un pozo, se tiene una dirección de perforación elegida, este dato depende del estudio, y de manera general, lo indica el equipo de geólogos o ingenieros a cargo de la prospección, sobre este dato es que se mide la desviación de un pozo (López, 2002).

La perforación por rotación, consiste en el avance mediante la rotación de una columna de tuberías de acero en cuyo extremo hay un elemento cortante, denominado corona. La tubería se va introduciendo en el terreno en la medida que avanza la perforación, siendo la parte más importante la batería o "sarta de perforación" La corona puede ser de dos tipos, de widia (Carburo de Wolframio. Su denominación proviene del alemán *Wie Diamant* que significa, *como el diamante*) y de diamante. El diamante que se utiliza para fabricar estas herramientas de corte, son diamantes industriales, que por sus imperfecciones y fracturas no pueden utilizarse en joyería. Estos diamantes se insertan en otras aleaciones de gran dureza, como el carburo de wolframio o tungsteno, con níquel, bronce y otros metales. Cuando se utiliza este tipo de coronas se denomina, generalmente perforación diamantina (López, 2002).



Las coronas de widia se utilizan en rocas blandas, incluso en calizas. Las coronas de diamante se utilizan en rocas semi duras y duras. El costo es determinante para elegir el tipo de corona a utilizar, pues las coronas de diamante son de un costo muy alto, por lo que determinar adecuadamente el tipo de corona es muy importante (López, 2002).

Existen muchos y variados diámetros de taladros (coronas) y testigos (muestras recuperadas) siendo los más comerciales los usados en el sistema wireline por cable (López, 2002).

Tabla N° 2. Tamaños usados en el sistema Wireline (Por cable)

NOMBRE	Diámetro del Taladro		Diámetro del Testigo	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
PQ	4-53/64	122.6	3-11/32	85
HQ	3-35/32	96	2-1/2	63.5
NQ	2-63/64	75.8	1-7/8	47.6
BQ	2-23/64	60	1-7/16	36.5
AQ	1-57/64	48	1-1/16	27

Fuente: (López, 2002).

Los tubos porta testigos tienen una longitud determinada, alrededor de 3.00 metros, cada vez que queda lleno con la muestra, es necesario retirar la sarta para recuperar la muestra o testigo, y continuar con la perforación.

Los trabajos de perforación de este tipo, consideran seguir y tener en cuenta, hitos necesarios para su ejecución, obtención de los testigos y posterior análisis.



Tabla N° 3. Secuencia común de una perforación:

ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Cota de boca	Dato suministrado por el cliente o geólogo del proyecto.
2	Coordenadas de la boca	Dato suministrado por el cliente o geólogo del proyecto.
3	Fecha de inicio de la perforación	Cumplidas las etapas previas y requerimientos de la autoridad competente: Plan medio ambiental, procedimientos, etc.
4	Fecha estimada de finalización del proyecto.	El perforista o empresa de perforación, se ciñe al cronograma pactado del proyecto, de acuerdo al equipo y rendimientos estimados.
5	Tipo de maquinaria de perforación y elemento de corte a usar.	El tipo de equipo se define de acuerdo a la magnitud de la obra, a lo que solicita el geólogo, al tipo de terreno y al presupuesto asignado.
6	Espesor de cada tramo diferenciado.	Este dato debe ser proporcionado por el geólogo. El perforista no debe sugerir o indicar el espesor, pues la operación pierde objetividad.
7	Profundidad de cada tramo.	Este dato es consecuencia del anterior.
8	Diámetro de la perforación.	Esto se define por el perforista en acuerdo con el cliente o supervisor asignado por él.
9	Descripción del testigo.	Esta labor es el objetivo principal de la perforación, está a cargo del geólogo y debe ser almacenado convenientemente. (Cajas de testigos)
10	Características del terreno.	Clase de roca, color, grado de alteración, textura, estructura, foliación, ángulo de la estratificación con el eje de sondeo.
11	Fracturación.	Tipo, ángulo que forma con el eje, aspecto superficial, tipo de apertura, ancho, relleno y tipo.
12	Tamaño del testigo obtenido	Este dato, permite una rápida clasificación del macizo.
13	Avance.	Es responsabilidad del perforista, y es de mucha importancia, ya que puede brindar datos sobre tramos durante la perforación. Dando una idea previa del tipo de roca. Asimismo, influye en los costos de perforación.
14	Ensayos de penetración.	De acuerdo a lo que se necesite, pueden ser parte del plan de perforación, o se pueden decidir hacer durante la misma. Se pueden usar otras herramientas de medición o prospección.
15	Muestras	Es la parte fundamental de una perforación de prospección geológica. La define el geólogo con el proyectista, quienes deberán interpretar las diferentes muestras obtenidas o enviar a laboratorio para su análisis.
16	Niveles freáticos	El nivel freático es determinante en la perforación, no solo operativamente, ya que este dato también es muy importante al momento de evaluar las muestras. Operativamente, es necesario conocerlo y tomar medidas adecuadas, ya que el fluido de perforación inunda el pozo y si existe presencia de agua hay que controlar los niveles permanentemente.
17	Otros	Todas las incidencias que se consideren relevantes para la prospección, deben ser registradas. Estos datos, al relacionarse, proporcionan una valiosa información al proyecto.

Fuente: (López, 2002).



2.4.1. ¿Por qué se desvía un pozo de perforación?

Existen varias causas que producen que un pozo, durante su perforación, se desvíe de su trayectoria de diseño. Estas causas o factores, las podemos agrupar en cuatro tipos:

- Las propiedades estructurales del suelo: Cuando el suelo está constituido por un macizo rocoso de alta dureza, la herramienta de perforación consigue una dirección más estable, es decir la desviación es menor. Cuando la estructura del suelo es muy suave, la herramienta de corte es susceptible de tomar una dirección errónea, esto debido a que las fuerzas de resistencia del suelo son prácticamente nulas frente a la presión ejercida por la corona, por lo que la herramienta puede tomar cualquier camino fácilmente (Carbajal, 2009).

Asimismo, cuando el suelo cambia de duro a blando o viceversa, o cuando se encuentra un macizo con un buzamiento que corta la trayectoria de la perforación, la herramienta "busca" un camino menos pesado para continuar, produciéndose la desviación. Los pozos no verticales son muy susceptibles de desviarse, si el perforista no tiene la experiencia o técnica adecuada (Carbajal, 2009).

- La elección del diámetro de perforación: Si el diámetro elegido es muy grande comparado con el diámetro del varillaje (tubería de perforación) se produce una desviación por falta de resistencia de la sarta de perforación al pandeo, además del desgaste prematuro de ésta (Carbajal, 2009).



- Mal alineamiento y emboque: Esto sucede cuando al momento de instalar los equipos no se le da la orientación adecuada, es decir se realiza un error de operación o maniobra (emboque) desviándose el pozo de su trayectoria de diseño. Este error es muy común (Carbajal, 2009).

- Demasiado empuje (push down): Ocurre cuando el operador del equipo de perforación o perforadora, por falta de experiencia o exceso de confianza, excede en la aplicación de la presión o empuje de la sarta de perforación, generando una desviación positiva hacia arriba (Silva, 2008).
 - Factores típicos que influyen en las desviaciones
 - Condiciones litológicas
 - Diámetro del pozo
 - Tipo de corona
 - Tipo de barra
 - Los escariadores
 - La velocidad de rotación
 - La presión o empuje de perforación
 - La habilidad o experiencia del perforista
 - La posición inicial
 - El ángulo del pozo
 - Profundidad del pozo

2.4.2. ¿Por qué es importante medir un pozo de perforación?

La medición de pozos de sondeo o sondaje, tiene por finalidad lograr establecer el inicio y fin de la trayectoria de los pozos perforados. Partiendo de la premisa real de que todos los pozos se desvían, es muy importante verificar la desviación e inclinación del pozo, esto nos permite saber un punto de origen (coordenada inicial) hasta llegar al fondo del



pozo con un punto final (coordenada final) Este último punto también verifica la longitud real del pozo, es decir la profundidad o metros perforados (Silva, 2008).

Camberfort (1962) manifiesta que los pozos pueden tener desviaciones extraordinarias, cita el caso de una perforación de 1,600 m de profundidad en Oklahoma, el fondo del pozo con respecto a la vertical se había desviado 750 m y la longitud del pozo era la de diseño, pero se encontraba 240 m por encima de la cota de diseño. Parecería poco probable este tipo de desviaciones, teniendo en cuenta que la tubería de perforación es de acero y necesariamente tiene que curvarse para que la desviación ocurra, sin embargo, se ha comprobado que la curvatura ocurre en la "junta" de la tubería, esto debido a que al unir enroscando la tubería, el hilo de la rosca sufre un desgaste por flexión durante la aplicación de la fuerza al perforar, esto origina que la tubería pueda flexionarse en algún sentido con ángulos menores en un primer momento, pudiendo mantenerse así o curvándose permanentemente durante toda la operación de perforación.

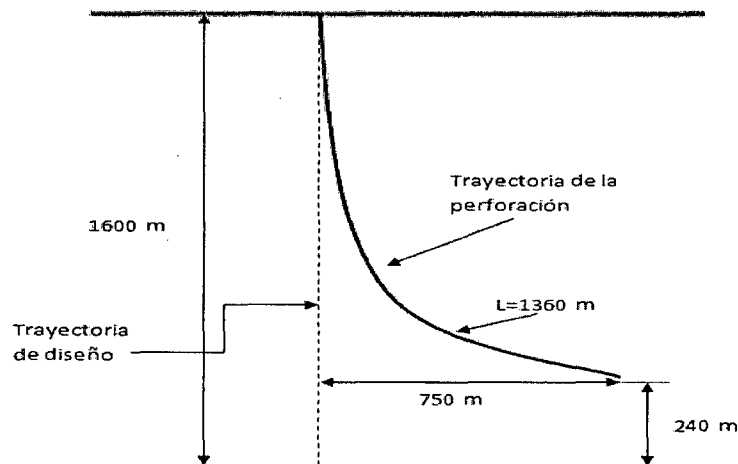


Figura 1. Pozo citado por Camberfort Oklahoma 1,962.



Es muy importante medir la trayectoria de estos pozos, ya que el sondaje se realiza en diferentes puntos de un área determinada. Los resultados obtenidos a diferentes profundidades en un pozo 1, son relacionados con los resultados a las mismas profundidades con un pozo 2, y así sucesivamente en todos los pozos abiertos, ya sean estos de prospección geológica o hidrogeológica. Estos puntos perforados forman una malla de perforación de gran escala, ya que se encuentran a distancias considerables, por lo que la desviación de cada pozo es muy importante al momento de realizar la correlación y análisis de los testigos y formar un volumen de mantos importantes a considerar. En la prospección para dimensionar depósitos minerales, estos volúmenes pueden ser extremadamente diferentes si los datos de medición no son los correctos, este es un problema grave, ya que las decisiones, que se toman en base a esa información, pueden determinar la viabilidad del proyecto (Camberfort 1962).

La tendencia mundial es de elevar y uniformizar los estándares de estimación de los recursos y reservas minerales, para esto se han emitido estrictas normativas como la National Instrument 43-101 (NI 43-101). Esta norma se estableció en Canadá y fue desarrollada por la Canadian Securities Administrators (CSA) después del mayor escándalo en la historia de la minería de oro protagonizado por Bre-X Minerals Ltd. Empresa fundada por David Walsh, quien en 1995 presentó informes sobre reservas en la jungla de Borneo (Indonesia) conocido como el yacimiento de Busang, estos informes indicaban reservas por 6,500 toneladas de oro, que representaban casi el 8 % de las reservas mundiales del metal precioso (Mueller, 2009).



Las acciones de Bre-X ante esta noticia subieron de \$ 2.00 a \$ 275 dólares canadienses, cuando uno de los inversionistas decidió probar las reservas y realizó los estudios, se dio con la ingrata sorpresa de encontrar que el "yacimiento" no contenía más que piedras sin valor alguno. Ante esta estafa de grandes proporciones, es que la NI 43-101 se emite esperando los siguientes resultados:

- a. Que los inversionistas dispongan de información suficiente para tomar una decisión más confiable sobre la inversión.
- b. Proporciona información que no sea engañosa.
- c. Entender el significado de los resultados.
- d. Poder comparar resultados similares.
- e. Entender los riesgos y limitaciones de los datos.
- f. Generar confianza para con los profesionales que preparan y emiten la información.

Esta Norma es internacional y se aplica en muchos países que la han adoptado para sustentar y validar sus estudios, en el Perú su uso es muy común. En este sentido es que la medición de la trayectoria de los pozos de perforación, aportan información muy valiosa, y que puede sustentar una prospección exitosa, de ser el caso (Pineda, 2008).

En ingeniería civil se tienen innumerables casos de grandes estructuras que han colapsado por falta de prospecciones adecuadas o deficientes, los problemas de cimentación ocasionados por información inadecuada son muy recurrentes (Pineda, 2008).



2.5. Instrumentos de medición de pozos de perforación

Los equipos utilizados en la medición de sondaje son de diferente tecnología, esto se debe a la complejidad que representa tomar datos y calcular la posición en rumbo e inclinación de la trayectoria del pozo (rumbo y buzamiento de capas o fracturas).

Tipo de equipos de medición de sondajes:

Absolutos: Toman mediciones independientes entre sí, de tal manera que un error no es arrastrado a la siguiente lectura. Son generalmente magnéticos.

Relacionales: Usan una dirección como referencia y miden en forma relativa los cambios con respecto a esta. No son magnéticos.

En el mercado existen equipos basados en estos principios, expondremos los diferentes tipos de equipos y tecnologías, así como las experiencias obtenidas en campo.

En los equipos de medición, interesa conocer el grado de precisión del equipo, su resolución y repetitividad. Cualquiera de estos factores individualmente no es suficiente. Es decir, la resolución no mejora con mayor repetitividad, se puede repetir un dato consistentemente malo.

2.5.1. Tecnologías y principios científicos de los instrumentos de medición

a. Equipos Magnéticos

- **Con Brújula – Tropari.**- Así como todos los que usan película de revelado. El principio es hacer una lectura usando una brújula con



inclinómetro basculante y mecanismo de fijación por engranajes, que permite leer en superficie, o tomarle una foto en el punto de medición y revelarla después. Este tipo de medición no permite detectar anomalías magnéticas y tienen baja resolución, su uso está quedando rezagado.

- **Clinómetro Óptico:** Este instrumento consiste en un cilindro de 70 mm de diámetro en el que se aloja una plomada, un nivel de burbuja orientado y una cámara fotográfica. Se introduce el instrumento en el pozo y la cámara va tomando una fotografía cada cierta profundidad, registrando la posición de la burbuja, en un plano cardinal orientado y la posición del eje con respecto a la plomada.
- **Con Magnetómetros:** Miden la intensidad del campo magnético de la tierra en cada punto de medición y permiten hacer un contraste rápido con las lecturas regionales (back ground) y con ello estimar si hubo perturbación magnética.

La resolución o aproximación con estos equipos son de décima de grado, miden la inclinación con acelerómetros.

b. Equipos No Magnéticos

- **Instrumento Óptico (1,990):** Instrumento que permite medir la desviación con respecto a una posición inicial, normalmente es la orientación inicial del pozo medido por topografía convencional. La inclinación la mide con acelerómetros, no debe usarse en pozos cercanos a la vertical (90° con respecto a la horizontal) ya que no logra discernir entre los círculos el ángulo correcto.



- **Giroscopio:** Cuando el terreno perforado tiene excesivo contenido de minerales magnéticos (hierro, magnetita, etc) o cuando se requiere medir a través de las barras de perforación (tubería metálica) se usa el giroscopio. Estos equipos son muy delicados y caros, miden el cambio de en la fuerza centrípeta al basculamiento y son muy precisos.

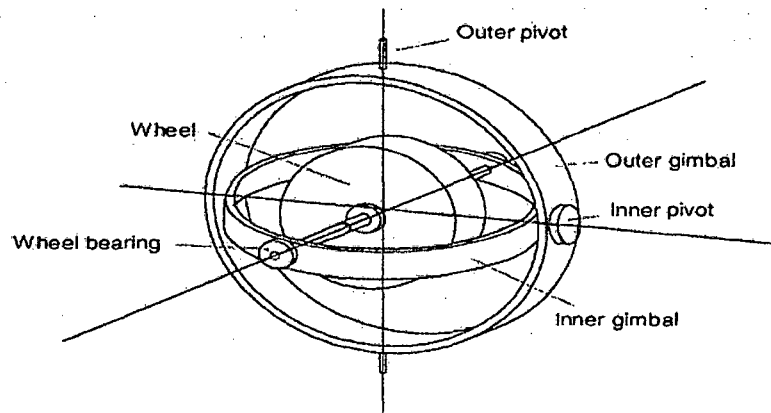


Figura 2. Configuración típica giroscopio mecánico de dos ejes (Carbajal, 2009).

- **Instrumento mecánico (1,950):** Equipo discontinuado y se basaba en equipo convencional de topografía (brújula, eclímetro, nivel basculante, etc.).
- c. Equipos basados en nanotecnología.- MEM y electrónicos.
- d. Equipos Medidores de Tensión – Elongación
- **Equipo Multishot no Magnético:** Basa su principio de medición en los cambios de tensión por el micro-elongación generada en la columna de perforación al ocurrir cambios en la dirección, consta de medidores de tensión-elongación (strain gages). Se utiliza a través de las barras de perforación, asimismo, verifica con una segunda



lectura suministrada por acelerómetros. Estos equipos actualmente se encuentran en evaluación y pruebas.

2.5.2. Instrumentos de medición de pozos más usados

Actualmente los instrumentos de medición más utilizados son los que se basan en tecnologías giroscópicas, seguidos por los equipos multishot no magnéticos, equipos de medición de tensión–elongación y multishot magnético. El orden puede variar, pero es lo más común.

Existen en el mercado varias empresas que han desarrollado estos equipos, los más conocidos son:

- Multishot y GyroReflex de la compañía sueca Reflex.
- Multishot Gyroscopic STP de la compañía sueca Stockholm Precision Tools.
- Deviflex, equipos de tensión-elongación de la compañía sueca Devico.

2.6. Aplicaciones de la medición de pozos de perforación

La prospección por perforación a rotación a grandes profundidades es muy usada actualmente, hasta hace unos años se restringía a la actividad minera y petrolera, esto debido a su alto costo. En la ingeniería civil se ha incrementado su uso en la prospección de suelos para determinar su calidad a efectos de desarrollar proyectos de construcción.

2.6.1. Aplicaciones en el campo de la prospección geológica

La prospección geológica define el trabajo geológico sobre el terreno o levantamiento de campo, que implica el examen sistemático de una región



para información geológica. El objetivo puede ser económico o puramente científico. Bajo este concepto la prospección geológica enmarca a toda investigación sobre el suelo, interna y externamente; sin embargo para efectos de estudio en esta parte, el enfoque se centrará en la prospección minera y petrolera (Lahee, 1962).

a. En minería: La prospección geológica se da en la perforación a grandes profundidades, el objetivo es obtener muestras significativas que puedan dar información sobre posibles reservas de minerales metálicos y no metálicos. La medición es importante debido al carácter financiero de este tipo de operaciones, datos confiables aseguran una inversión con cierto grado de seguridad y viceversa (Lahee, 1962)..

En minería los pozos que se perforan pueden tener muchos fines, además del muestreo de minerales.

b. Pozos de prospección de fuentes de agua: Para control de escorrentías internas, explotación para consumo humano e industrial. Estos pozos se miden para determinar las coordenadas de los puntos de los afluentes subterráneos (Lahee, 1962).

c. Pozos para tronadura (voladura): Esta perforación se realiza para cargar explosivos, para remover el mineral o material "volado". Las mallas de perforación obedecen a un diseño que contempla distancias de separación entre pozos, esto es muy importante pues la carga de explosivo que se utiliza depende de este dato. La medición de estos pozos es de mucha importancia (Lahee, 1962).

d. Chimeneas: Estas estructuras son necesarias en la minería subterránea. Las cuales pueden ser profundas, por lo que es



importante determinar su trayectoria durante su construcción de las mismas (Lahee, 1962).

e. Perforación dirigida: Cuando se quiere orientar la perforación, a medida que se avanza con el sondaje del pozo se va midiendo para corregir la trayectoria. Un caso donde se aplicó este sistema fue en el rescate de los mineros chilenos en la mina San José en el desierto de Atacama en el año 2010. En este rescate se utilizó un giroscopio que fue midiendo la trayectoria del pozo que debería, inicialmente, establecer comunicación con la superficie, para finalmente ser la ruta de salida (Pineda, 2008).

f. En petróleo: La industria del petróleo es altamente competitiva y los yacimientos se encuentran generalmente a grandes profundidades, incluso debajo del fondo marino. Esta actividad requiere de una alta especialización y recursos financieros. Debido a la gran profundidad y a los equipos de perforación de alta rotación las temperaturas por la fricción generada dentro de los pozos llega casi a los 1000°C por lo que es necesario utilizar una funda de alta resistencia para proteger el instrumento de medición (Pineda, 2008).

Estos pozos llegan hasta 2,000 metros de profundidad, por lo que es necesario medir sus desviaciones.

2.6.2 Aplicaciones en el campo de la Ingeniería Civil

En el campo de la ingeniería civil se realizan innumerables estudios de suelos y por diversos métodos; la perforación a gran escala se realiza para estudio de cimentaciones de grandes estructuras, en este caso la perforación debe ser muy precisa en lo que se refiere a inclinación y



orientación, es decir no se puede tener una desviación grosera y no saberlo. Esto se debe a que las estructuras se construyen con dimensiones específicas y la cimentación soporta grandes presiones, por lo que es necesario tener datos precisos sobre las formaciones y estructuras de los suelos sobre los que se va a construir (Pineda, 2008).

- a. **Estructuras:** En proyectos de gran envergadura sobre suelos poco estables o que evidencien fallas geológicas de consideración. En estos casos se deben de considerar prospecciones a gran profundidad, a efectos de considerar en los cálculos posibles deformaciones horizontales, verticales y torsionales sobre la estructura. Las perforaciones en estos casos se deben realizar con la mayor precisión posible, por lo que es necesario orientar el "pozo" esto se puede lograr con mediciones del ángulo de inclinación en tramos cortos, lo que ayudaría a corregir la trayectoria de diseño de la prospección (Lahee, 1962)..

- b. **Transportes:** Durante la construcción de puentes, aeropuertos, ferrocarriles, puertos y otros proyectos que requieran de grandes cimentaciones para las estructuras que las conforman, se requiere muchas veces de estudios muy precisos de los suelos, pues un asentamiento diferencial podría ocasionar el colapso de la edificación. En estos casos los estudios deben realizarse a profundidades considerables y con precisión sobre la real ubicación de las muestras (Lahee, 1962)..

- c. **Construcciones:** Cuando se ejecutan proyectos de construcción a gran escala, en algunos casos se presentan situaciones que requieren de mayor información geológica e hidrológica, en estos casos es necesario realizar prospecciones para determinar el tipo



de suelo o alguna escorrentía subterránea que pueda impactar en la obra. La prospección se hace necesaria, así como la ubicación de los estratos que se quieren conocer o fuentes de agua; esta perforación requiere de elementos conocidos como su trayectoria y punto final de llegada, por lo que es necesario realizar una medición. En las obras donde se realizan grandes movimientos de tierras se presentan este tipo de situaciones (Lahee, 1962)..

- d. Hidráulica:** Cuando se realizan perforaciones para ubicar agua subterránea con la finalidad de explotación, debe realizarse un estudio del acuífero, para lo cual se perforan varios pozos a diferentes distancias y profundidades para determinar el balance hídrico (Lahee, 1962).

2.6.3. Otras aplicaciones

Las mediciones giroscópicas tienen múltiples aplicaciones fuera del ámbito de la prospección. Se usan para medir perfiles de fondos marinos, inclinación de taludes inaccesibles, dirección e inclinación de tuberías horizontales y verticales y otras aplicaciones donde exista una dirección e inclinación que determinar en espacios determinados por paredes longitudinales y continuas (Lahee, 1962).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS



3. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

3.1. Análisis sobre la factibilidad de medir un pozo de perforación

No todos los proyectos consideran medir la trayectoria de los pozos que esperan perforar, por diversos factores que dependen principalmente de la magnitud y tipo del proyecto; en el caso de proyectos de construcción, además de la magnitud, otro factor es la precisión y tipo de suelo sobre el que se va a construir o proyectar; en los proyectos mineros depende del tipo de mineral y de las reservas estimadas (Takashi, 2007).

Estudio de Factibilidad

- Revisión de los datos e información disponible del proyecto.
- Análisis de la necesidad de realizar mediciones. Oferta y demanda y determinación de la prioridad relativa de la medición en el proyecto.
- Estudio y comparación de las alternativas potencialmente viables.
- Diseño del plan de mediciones.
- Diseño preliminar de la instalación e ingeniería relacionada; análisis de la factibilidad técnica, disponibilidad de materiales, accesibilidad, mano de obra y posibles procedimientos de medición de acuerdo al proyecto.
- Costo estimado de la medición para el proyecto. Plan de financiamiento.
- Cronograma de implementación de acuerdo al plan central del proyecto de perforación.
- Implementación del proyecto de medición y esquema de mantenimiento y puesta en marcha.



- Análisis de la capacidad técnica y financiera de los inversionistas, empresas de perforación y operadores del proyecto.
- Evaluación de la validez técnica, factibilidad económica y financiera.
- Evaluación del impacto ambiental y social.
- Posibles riesgos del proyecto, y
- Recomendaciones y procedimientos necesarios para la implementación del proyecto de mediciones.

Este estudio de factibilidad definirá si el proyecto de perforación requiere de realizar mediciones en los taladros; este análisis tiene un enfoque integral y debe ser lo más real posible, ya que en un escenario de alta incertidumbre para los inversionistas las mediciones pueden definir la viabilidad del proyecto al asegurar condiciones favorables, pero el costo de la medición puede ser considerable (Takashi, 2007).

3.2. Elección del instrumento de medición a usar

El equipo de medición necesario para medir un pozo de perforación depende del tipo de pozo, terreno y accesibilidad. El equipo necesario para la medición es el siguiente:

- Instrumento de medición (giroscópico, magnético, etc.)
- Computador de campo con el software del instrumento.
- Winche eléctrico con contador de distancia.
- Fuente de energía para el winche y calibración el equipo.
- Unidad de transporte de los equipos.



El instrumento de medición se deberá elegir de acuerdo a la precisión buscada y a la composición del terreno; en el caso de terrenos mineralizados con alta concentración de magnetita el instrumento cuya tecnología de orientación se basa en el norte magnético, no se debe utilizar ya que pierde orientación y brindará un dato erróneo; para estos casos el instrumento adecuado es el de tecnología giroscópica, lo mismo sucede cuando el pozo de perforación se encuentra con la tubería metálica instalada, el dato del instrumento magnético se distorsiona. A continuación presentamos las ventajas y desventajas de cada equipo.

Tabla N° 4. Instrumentos de medición de acuerdo a la precisión del terreno

INSTRUMENTO	TECNOLOGÍA	MARCA DE REFERENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Multishot	Magnético	Flexit	Sus registros son muy precisos porque sus componentes de lecturas son tres acelerómetros y tres magnetómetros, obteniendo como dato aparte del azimut e inclinación la dirección de la broca con respecto a la gravedad.	Al ser magnético este debe de registrar fuera de la sarta de barras con extensiones de aluminio llamadas moneles o barras antimagnéticas, al estar fuera del revestimiento tiene un alto porcentaje de atrapamiento. Además en yacimientos donde se encuentran cuerpo o diseminados de magnetita las lecturas de azimut sufren alteraciones.
Multishot	Acelerómetros	Devico	Precisión de $\pm 0.1^\circ$, medición en todos los ángulos requeridos inclusive positivos, analiza la dirección y los perfiles de la estratificación, foliación y grietas.	Tecnología muy sensible, lo cual hace que los registros se repitan continuamente debido a errores por movimiento. Costo muy elevado de calibración.
Girsocopio	Giroscópica	Reflex	Medición en todos los ambientes (magnéticos y no magnéticos), todos los ángulos, diseño resistente sin partes móviles, puede medir en todos los intervalos requeridos obteniendo mayor información. Precisión en inclinación $\pm 0.1^\circ$ y en azimut $\pm 0.2^\circ$. Software muy amigable.	Necesita que se le ingrese un dato preciso de azimut inicial para poder orientarse con el norte verdadero.

Fuente: (López, 2002).



3.2.1. Evaluación de opciones. Técnico – económico

Desde el punto de vista técnico consideramos que el instrumento de mejor tecnología es el giroscopio, sin embargo su costo puede ser dos veces más que el de un instrumento con acelerómetros y tres veces más que un instrumento magnético, por lo que la evaluación del tipo de equipo debe ser analizada adecuadamente.

Tabla N° 5. Elección del instrumento de medición

INSTRUMENTO	TECNOLOGIA	FABRICANTE	COSTO DEL EQUIPO US\$	PRECIO DEL SERVICIO DE MEDICIÓN (METRO) US\$
Multishot	Magnético	Flexit	50,000.00	1.80
Multishot	Acelerómetros	Devico	125,000.00	3.50
Giroscopio	Gisroscópica	Reflex	145,000.00	4.80

Fuente: (López, 2002).

En la Tabla N° 5, se observa que el instrumento de mayor costo es el que también brinda mejores resultados técnicos, mientras que el equipo magnético presenta problemas cuando existen trazas de hierro o se tiene que medir el pozo con la tubería de perforación colocada. La diferencia de costo entre la tecnología con acelerómetros y giroscópica es mínima por lo que consideraremos como mejor opción el equipo giróscopo Reflex.



3.2.2 Evaluación de acuerdo a los parámetros medioambientales y de seguridad. Normas nacionales e internacionales

El plan de manejo medioambiental debe alinearse con los planes del cliente y los perforistas en caso sean diferentes operadores. Esto no significa que el plan de manejo ambiental sea una copia de los planes de los otros operadores; la operación de medición debe tener sus propios estándares que deben ser revisados e implementados constantemente, teniendo en cuenta las normas legales y procedimientos internacionales vigentes.

Objetivo del Plan de Manejo Medioambiental:

El plan de manejo ambiental se debe diseñar con la finalidad de no alterar ni afectar al medio ambiente, siguiendo procedimientos y llevando controles adecuados durante las diferentes actividades del proyecto que aseguren una óptima mitigación de sus impactos.

Logística necesaria:

Se debe contar con sistemas de contención, se debe considerar un espacio para la zona de desechos. La alimentación del personal se realizar en ambientes adecuados para el personal. Hay que considerar agua potable en bidones para el consumo humano, que serán cambiados frecuentemente según el consumo.

Procedimiento:

La operación debe realizarse a efectos de no alterar el medio ni contaminarlo. Todo material de desecho y contaminado será



almacenado en cilindros etiquetados y pintados para tal objeto para luego ser depositado en un lugar en coordinación con el dueño del proyecto.

Manejo de agua:

No se extraerá agua de ninguna fuente cercana ni del subsuelo. No se lavarán los equipos en obra, para sus respectivos mantenimientos preventivos estos serán desmovilizados a los talleres autorizados por el cliente o dueño del proyecto.

Manejo de aditivos y otros:

No se prevé el uso de ningún aditivo, pero si lubricantes y otros para los equipos, gasolina, petróleo y otros. Estos serán llevados a obra en recipientes adecuados (plásticos o metálicos pero debidamente sellados) y en cantidades pequeñas según sea el consumo, debidamente identificados y con sus hojas de información de sustancias peligrosas MSDS¹ (Material Safety Data Sheet por sus siglas en inglés) de información del producto, y todos almacenados sobre bandejas metálicas o similares.

En la camioneta que transporta el equipo y el winche se debe contar con un Kit de derrames debidamente equipado (bolsas negras, costales, ¼

¹ Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas (MSDS) es un documento que da información detallada sobre la naturaleza de una sustancia química, tal como sus propiedades físicas y químicas, información sobre salud, seguridad, fuego y riesgos de medio ambiente que la sustancia química pueda causar. Fuente: Universidad de California, Los Angeles. *Labor Occupational Safety and Health (LOSH)* http://www.losh.ucla.edu/losh/resources-publications/fact-sheets/msds_espanol.pdf.



pañó absorbente, 2 kg de trapo absorbente, y escoba) en caso ocurra un derrame de algún producto.

3.2.3. Cuadro comparativo, elección del equipo

Para la elección del equipo hemos considerado como variables principales el análisis realizado en los cuadros 3.1 y 3.2 así como la disponibilidad, soporte técnico y referencias de uso en otros proyectos.

Tabla N° 6. Cuadro comparativo, elección del equipo

INSTRUMENTO	TECNOLOGÍA	MARCA DE REFERENCIA	EVALUACIÓN TÉCNICA	EVALUACIÓN ECONÓMICA	DISPONIBILIDAD	SOPORTE TÉCNICO	REFERENCIAS DE USO	TOTAL
Multishot	Magnético	Flexit	3	5	3	4	2	17
Multishot	Acelerómetros	Devico	2	4	2	2	1	11
Giroscopio	Giroscópica	Reflex	5	3	5	5	5	23

Fuente: (López, 2002).

Escala de Likert: 1 a 5

1: Menor cualidad

5: Mayor cualidad

Del análisis cualitativo, técnico y económico decidimos la opción tecnológica giroscópica, por lo que el equipo elegido es el giroscopio de Reflex.

3.3. Programación de las mediciones

Las mediciones se programan de acuerdo a las consideraciones de perforación del pozo; el proyecto de perforación puede considerar medir al finalizar la perforación requerida o realizar mediciones cada cierto tramo, este aspecto es de importancia pues es necesario tener los equipos disponibles cuando se requiera la medición.



La programación de la medición debe considerar los siguientes aspectos:

- **Datos del proyecto de perforación:** Si el proyecto considera más de un pozo de perforación, es necesario determinar la cantidad de metros a medir y la ubicación de cada pozo.

- **Diseño y características del pozo.-** Individualmente se deberá conocer la dirección e inclinación de diseño, este dato es importante pues se debe verificar el azimut topográficamente antes de realizar la medición. Es un error común que el azimut de diseño no coincida con el de la operación, consecuentemente se obtienen datos de inicio erróneos.

- **Equipos y diámetros de perforación.-** El equipo con el que se perfora debe reunir las condiciones y estándares de seguridad; es necesario conocer sus características técnicas y capacidad de penetración, así como de la "sarta" y tubería de perforación. El diámetro de perforación es importante pues el equipo de medición debe trasladarse a través del orificio y puede ser necesario colocar fijadores para evitar golpeteos al momento de la toma de datos.

- **Accesibilidad y facilidades.-** Las prospecciones por lo general se realizan en zonas de difícil acceso; ya sea por encontrarse en zonas alejadas, escarpada geografía o de mucha vegetación. Considerar las facilidades para trasladar los equipos, así como para proveer de energía para su funcionamiento determinará el éxito de la medición.



Considerados estos aspectos se debe realizar la programación de las mediciones, asignar los recursos necesarios, proveer una cadena de comunicación y trasladar los equipos a la zona de trabajo.

3.3.1. Ubicación de los pozos a medir

La ubicación de los pozos de perforación se determina a solicitud del profesional que requiere el estudio, quien ha realizado un análisis de lo que necesita y en la mayoría de los casos no considera las dificultades que plantea al equipo de perforación y al de mediciones. Esto nos indica que la ubicación no es determinada por las facilidades que se puedan obtener para perforar y medir.

Es importante tener en cuenta que los trabajos de medición y perforación son independientes, pues la medición del pozo tiene por finalidad principal determinar la inclinación y dirección del pozo. Pero la medición también indica si el perforista ha realizado su trabajo de acuerdo a lo esperado en el diseño. La ubicación del pozo por lo tanto es muy importante y debe cumplir con los aspectos considerados en la programación.

3.3.2. Plan de medición

El plan de medición se estructura en base a los equipos necesarios para realizar la medición; los procedimientos operativos, de seguridad ocupacional, medioambientales y de responsabilidad social. Asimismo se considera el programa de mediciones, la ubicación de los pozos y el proyecto.



El plan de mediciones debe considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de industria que ejecuta el proyecto: construcción, minería, petróleo, etc.
- Objetivo del proyecto
- Ubicación
- Legislación y normatividad de la zona, región o país donde se ejecuta el proyecto
- Tecnología necesaria para lograr la medición
- Accesibilidad
- Clima social

3.4. Mediciones

Medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera (Diccionario de la Lengua Española, 2013). Esta acción en el caso de la medición de pozos de perforación, es una operación que compara la distancia que recorre el equipo de medición a través del pozo con respecto al horizonte y a la vertical. Asimismo, y en el mismo recorrido, compara la "ruta" que ha seguido la perforación con respecto al norte y el azimut de diseño.

3.4.1. Equipo de medición

El equipo básico necesario para realizar mediciones es el siguiente:

- 01 GyroSmart Reflex, equipo electrónico de medición de pozos de perforación de tecnología giroscópica.
- 01 Tablet PC para campo (resistente al agua, polvo y variación extrema de temperatura)



- 01 Winche equipado con cable de 1,000m. de longitud, contómetro mecánico o digital, ordenador de cable y brazo extensible orientador.
- 01 Generador eléctrico.
- Kit de herramientas.
- 01 Camioneta 4x4 con la tolva de carga adecuada para trasladar los equipos. El brazo extensible va fijo sobre la cobertura de la unidad. Asimismo cada equipo debe tener un compartimiento adecuado para su transporte y puesta en operación desde el vehículo o fuera de él.

Personal:

- 01 Operador de GyroSmart y procesador de datos (Proyectista)
- 01 Ayudante.

3.4.2. Procedimiento de medición

Procedimiento general:

El procedimiento general contempla el plan de medición y la programación de los pozos a medir, cada proyecto tiene sus particularidades y se debe implementar una estrategia operativa, técnica, y económica. Asimismo este procedimiento debe contemplar la legislación vigente, estándares de seguridad personal, normas medioambientales y relacionamiento con las comunidades cercanas al proyecto.

Procedimiento específico:

Estudio y elaboración de un procedimiento de medición de pozos de perforación.



MÉTODO ESTANDAR DE MEDICIÓN DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA BASADO EN LAS NORMAS PERUANAS

Tabla N° 7. Método Estándar de Medición de Pozos de Prospección Geológica

<p>Pre requisitos de competencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> Personal calificado y autorizado. Entrenamiento: Uso adecuado de EPP específico obligatorio. Inspección de herramientas a utilizar. Entrenamiento: Seguridad en manos, dedos y muñecas. 		<p>Referencias relacionadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Medición de taladros con equipo giroscopio donde se puede ingresar con camioneta. Reuniones de Seguridad. Equipo de Protección Personal. Herramientas manuales y eléctricas. Manejo de derrames. Manejo de Residuos No Peligrosos. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. DS-055. Ley de Seguridad y Salud 29783. Ley de Radiación Solar 30102. Reglas Básicas de Seguridad y Salud Ambiente de trabajo libre de alcohol y drogas. 	
<p>Objetivo: Medición de taladros abiertos, sin tubería, con equipo Giroscopio en plataformas donde puede acceder camioneta.</p>		<p>Equipo de protección personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> Casco. Lentes de seguridad. Botín punta de acero. Guantes de cuero. Chaleco reflectivo y/o Protector auditivo tipo audifono. Bloqueador Solar. 	
<p>Herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Conos de seguridad Maleta con barras de aluminio, barril de bronce, tapones y planchas en V. 		<p>Equipos y materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Camioneta 4*4. Radio de comunicación. Equipo de Giroscopio (Sensor, baterías, monitor y accesorios). Tacos de seguridad Extintor con tarjeta de inspección. Winche con cable de acero y polea. Mesa con polea para bajar equipo si no hubiese brazo incorporado. Generador eléctrico, con bandeja de contención. Contador de metros mecánico. Botiquín de primeros auxilios. Kit de emergencia. 	
No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACIÓN (CÓMO)	Pasos ejecutados (✓) completado (*) No completado
1.	Análisis de Trabajo Seguro (ATS)	<ul style="list-style-type: none"> El personal deberá llenar el ATS, antes de iniciar los trabajos. 	
2.	Inspección del equipo (llenado del pre uso).	<ul style="list-style-type: none"> Verificaran el correcto funcionamiento de todos los items indicados en el formato del pre uso. Una vez concluido la inspección del equipo el operador llenara las observaciones hechas, si es que las hubiese. El chofer realizará el pre uso de la camioneta. 	
3.	Planificación de la tarea	<ul style="list-style-type: none"> El supervisor y/o Operador Survey, imparte la charla de seguridad (5Min) antes de iniciar la jornada, Identificación de peligros de la operación evaluando las condiciones de clima. Los trabajadores inspeccionarán sus herramientas y sus equipos como generador, winche; así como su EPP antes de iniciar los trabajos. En el caso de entrar a la zona de operaciones, deberá solicitar el permiso al supervisor. Contar con baliza, cartel, pértiga en buen estado antes de ingresar a operaciones mina. 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. Contar con conos para delimitar las áreas de trabajo. <p><i>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.</i></p>	



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

4.	Ejecución de la Tarea: Estacionamiento de la camioneta	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar la camioneta a una distancia razonable que facilite la actividad, esto dependerá del espacio que haya en la plataforma. • En el caso de ingresar la camioneta de retroceso, el copiloto deberá bajar para indicar al chofer la ubicación correcta. • Estacionado el vehículo, se delimitará la camioneta con dos conos de seguridad. 		
5.	Verificación de condición y profundidad	<ul style="list-style-type: none"> • El operador Survey, deberá cerciorarse de las condiciones y profundidad del pozo que tiene en ese momento. • 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. 		
6.	Toma de datos iniciales	<ul style="list-style-type: none"> • El Operador tomará los datos del taladro como: Inclinación, azimut, profundidad de perforación programada y real. 		
7.	Instalación de equipos	<ul style="list-style-type: none"> • El generador que se encuentra dentro de la tolva de la camioneta sujeto con sogas, deberá ser bajado al piso en un lugar seguro y estable. • El ayudante, deberá instalar el generador y el winche, el operador deberá verificar el funcionamiento adecuado de los dos equipos. • El operador Survey, deberá colocar la maleta (Computadora, sensores y baterías) en un lugar seguro y limpio. • El operador, verificará el funcionamiento adecuado de las baterías. • El operador, encenderá la computadora y conectará el sensor a las baterías posteriormente establecerá la comunicación con bluetooth e inicializará el instrumento. • 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". 		
8.	Alineamiento del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Luego de ello se deberá esperar 15 minutos para estabilizar la temperatura del sensor. • 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. • 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). 		
9.	Ubicación en la boca del taladro	<ul style="list-style-type: none"> • Se ubicara el brazo mecánico de la camioneta en posición para que este guie 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. • El operador y/o ayudante, trasladará el instrumento hasta la boca del pozo con bastante cuidado en posición vertical, sin realizar movimientos bruscos o golpes para el comienzo de la medición. • 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. 		
10.	Lectura de mediciones	<ul style="list-style-type: none"> • 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. • Se debe tener cuidado que entre lectura y lectura no debe transcurrir un tiempo mayor a 20 seg. • Al término de la medición el operador y el ayudante procede al retiro del instrumento, con ayuda del winche con bastante cuidado y evitando que este golpee. 		

Fuente: (López, 2002).

Este procedimiento es netamente operativo, por lo que se estudiarán los más críticos e importantes por ser de mayor relevancia.



3.4.3. Toma de datos

Los datos se tomaron de acuerdo a la longitud del pozo y al requerimiento de los geólogos; se realizaron mediciones cada 5 metros, es muy importante que se realice esta operación pues el equipo mide el primer dato con las coordenadas y el azimut de la "boca" del pozo, el segundo dato se toma en relación con el anterior y así sucesivamente, este tipo de medición nos indica que el equipo es relacional.

El winche eléctrico es el equipo que sostiene al instrumento durante toda la operación; el giroscopio se introduce en el pozo y con el uso de un cuenta metros mecánico o digital a través del cual se desplaza el cable, se detiene el equipo a la distancia determinada y el equipo captura la primera medición, el proceso es el mismo a lo largo de todo el pozo a medir. Se extrae el giroscopio y se procede a migrar la data al ordenador, procesados los datos en el software se debe observar que el gráfico tenga coherencia, esto es muy importante pues es posible obtener una medición errada y hay que repetir la medición.

Una vez obtenidos los datos estos no deben ser alterados por ningún motivo, si existieran discrepancias por la forma del pozo, azimut o profundidad, lo mejor es realizar otra medición. Este aspecto es muy importante, pues la medición se puede realizar durante o al final de la perforación y las facilidades son mayores, pues el equipo de perforación se encuentra en la zona y el pozo está "operativo".



3.4.4. Resultados numéricos y gráficos

Los resultados de la medición se expresan en una tabla que nos indica el rumbo y la inclinación en cada uno de los puntos, gráficamente se muestra la trayectoria del pozo y su desviación. Ambos datos son igual de importantes, pues permite realizar un análisis detallado y a priori del pozo en estudio.

El software que procesa los datos procesa la información y brinda los datos en diversos formatos, lo usual es en la extensión .txt lo que permite al analista el procesar estos datos en programas más potentes para un mejor análisis.

A continuación presentamos un ejemplo y resultados de mediciones realizadas en diferentes proyectos.



SURVEY FILE : GFD - 314 A D
 FECHA : 18/10/2012
 HORA : 20:30
 GOLDFIELDS LA CIMA
 ZONA : CERRO CORONA
 CORE
 GEOTEC PE - 7-130
 REGISTRO CON EQUIPO GYROSMART - NO MAGNETICO
 OPERADOR : MIGUEL A ROBLES CURAY - MARCO JAUREGUI BRIONES
 COMPAÑÍA : GEODATA CONTROL PERU SRL

Tabla N° 8. Mediciones de Equipo Gyrosmart - No Magnético

Hole ID	Station	Dip	Azimuth	Easting	Northing	Elevation	Temp	UpDown	LeftRight	Shortfall
	Metres	Degrees	Degrees	Metres	Metres	Metres	Cent	Metres	Metres	Metres
GFD - 314 D	0	-65.43	0	0	0	0	13.7	0	0	0
GFD - 314 D	5	-65.57	0.07	0	2.07	-4.55	13.94	-0.01	0	0
GFD - 314 D	10	-65.84	0.03	0	4.13	-9.11	14.19	-0.03	0	0
GFD - 314 D	15	-65.67	0.13	0.01	6.18	-13.67	14.47	-0.06	0.01	0
GFD - 314 D	20	-65.55	0.22	0.01	8.25	-18.22	14.79	-0.07	0.01	0
GFD - 314 D	25	-65.52	0.03	0.02	10.32	-22.77	15.11	-0.08	0.02	0
GFD - 314 D	30	-65.77	359.8	0.01	12.38	-27.33	15.32	-0.1	0.01	0
GFD - 314 D	35	-66.03	359.9	0.01	14.42	-31.89	15.63	-0.14	0.01	0
GFD - 314 D	40	-66.02	0.02	0.01	16.46	-36.46	15.91	-0.19	0.01	0
GFD - 314 D	45	-66.05	0.03	0.01	18.49	-41.03	16.17	-0.24	0.01	0
GFD - 314 D	50	-66.2	0	0.01	20.51	-45.6	16.41	-0.3	0.01	0
GFD - 314 D	55	-66.2	359.9	0.01	22.53	-50.17	16.63	-0.37	0.01	0
GFD - 314 D	60	-66.17	0.03	0.01	24.55	-54.75	16.84	-0.44	0.01	0
GFD - 314 D	65	-66.31	359.73	0	26.56	-59.32	17.03	-0.51	0	0
GFD - 314 D	70	-66.6	359.63	-0.01	28.56	-63.91	17.2	-0.6	-0.01	0
GFD - 314 D	75	-66.83	359.67	-0.02	30.54	-68.5	17.35	-0.71	-0.02	0
GFD - 314 D	80	-66.84	359.53	-0.04	32.5	-73.1	17.49	-0.83	-0.04	-0.01
GFD - 314 D	85	-66.73	359.65	-0.05	34.47	-77.69	17.62	-0.95	-0.05	-0.01
GFD - 314 D	90	-66.68	359.61	-0.06	36.45	-82.29	17.74	-1.06	-0.06	-0.01
GFD - 314 D	95	-66.73	359.15	-0.08	38.43	-86.88	17.85	-1.17	-0.08	-0.01
GFD - 314 D	100	-66.75	359.14	-0.11	40.4	-91.47	17.95	-1.29	-0.11	-0.01



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

GFD - 314 D	105	-66.82	359.17	-0.14	42.37	-96.07	18.05	-1.41	-0.14	-0.01
GFD - 314 D	110	-66.94	359.09	-0.17	44.34	-100.66	18.14	-1.53	-0.17	-0.01
GFD - 314 D	115	-67.17	358.93	-0.21	46.28	-105.27	18.23	-1.67	-0.21	-0.02
GFD - 314 D	120	-67.26	359.2	-0.24	48.22	-109.88	18.31	-1.83	-0.24	-0.02
GFD - 314 D	125	-67.22	359.64	-0.26	50.16	-114.49	18.39	-1.99	-0.26	-0.02
GFD - 314 D	130	-67.32	359.14	-0.28	52.09	-119.1	18.47	-2.15	-0.28	-0.02
GFD - 314 D	135	-67.47	359.08	-0.31	54.01	-123.72	18.54	-2.32	-0.31	-0.03
GFD - 314 D	140	-67.63	358.91	-0.34	55.92	-128.34	18.61	-2.5	-0.34	-0.03
GFD - 314 D	145	-67.65	358.8	-0.38	57.82	-132.96	18.68	-2.7	-0.38	-0.04
GFD - 314 D	150	-67.69	358.66	-0.42	59.72	-137.59	18.75	-2.89	-0.42	-0.04
GFD - 314 D	155	-67.72	358.52	-0.47	61.62	-142.21	18.81	-3.09	-0.47	-0.04
GFD - 314 D	160	-67.74	358.35	-0.52	63.51	-146.84	18.88	-3.29	-0.52	-0.05
GFD - 314 D	165	-67.69	358.31	-0.57	65.4	-151.47	18.94	-3.49	-0.57	-0.05
GFD - 314 D	170	-67.67	358.35	-0.63	67.3	-156.09	19	-3.69	-0.63	-0.06
GFD - 314 D	175	-67.8	358.24	-0.69	69.2	-160.72	19.06	-3.89	-0.69	-0.06
GFD - 314 D	180	-67.77	358.5	-0.74	71.09	-165.35	19.12	-4.1	-0.74	-0.06
GFD - 314 D	185	-67.8	358.57	-0.79	72.98	-169.98	19.18	-4.3	-0.79	-0.07
GFD - 314 D	190	-67.86	358.62	-0.83	74.86	-174.61	19.24	-4.51	-0.83	-0.07
GFD - 314 D	195	-67.83	358.46	-0.88	76.75	-179.24	19.15	-4.72	-0.88	-0.08
GFD - 314 D	200	-67.86	358.39	-0.93	78.63	-183.87	19.21	-4.94	-0.93	-0.08
GFD - 314 D	205	-67.9	358.27	-0.99	80.51	-188.5	19.27	-5.15	-0.99	-0.09
GFD - 314 D	210	-68.01	358.26	-1.05	82.39	-193.14	19.33	-5.37	-1.05	-0.09
GFD - 314 D	215	-68.08	358.25	-1.1	84.26	-197.77	19.39	-5.6	-1.1	-0.1
GFD - 314 D	220	-68.12	358.04	-1.16	86.12	-202.41	19.45	-5.83	-1.16	-0.1
GFD - 314 D	225	-68.12	357.98	-1.23	87.98	-207.05	19.52	-6.07	-1.23	-0.11
GFD - 314 D	230	-68.14	358.12	-1.29	89.85	-211.69	19.59	-6.3	-1.29	-0.12
GFD - 314 D	235	-68.16	358.31	-1.35	91.71	-216.33	19.65	-6.54	-1.35	-0.12
GFD - 314 D	240	-68.16	358.34	-1.4	93.57	-220.97	19.72	-6.78	-1.4	-0.13
GFD - 314 D	245	-68.16	358.59	-1.45	95.42	-225.62	19.79	-7.02	-1.45	-0.13
GFD - 314 D	250	-68.17	358.71	-1.5	97.28	-230.26	19.86	-7.26	-1.5	-0.14
GFD - 314 D	255	-68.16	358.76	-1.54	99.14	-234.9	19.92	-7.5	-1.54	-0.15
GFD - 314 D	260	-68.2	358.98	-1.57	101	-239.54	19.99	-7.74	-1.57	-0.15
GFD - 314 D	265	-68.25	358.89	-1.61	102.86	-244.18	20.05	-7.98	-1.61	-0.16
GFD - 314 D	270	-68.29	359.02	-1.64	104.71	-248.83	20.12	-8.23	-1.64	-0.16
GFD - 314 D	275	-68.33	359.07	-1.67	106.55	-253.47	20.19	-8.48	-1.67	-0.17
GFD - 314 D	280	-68.27	359.29	-1.7	108.4	-258.12	20.25	-8.73	-1.7	-0.18
GFD - 314 D	285	-68.3	359.2	-1.72	110.25	-262.76	20.33	-8.98	-1.72	-0.18
GFD - 314 D	290	-68.21	359.19	-1.75	112.1	-267.41	20.4	-9.23	-1.75	-0.19
GFD - 314 D	295	-68.32	359.25	-1.78	113.96	-272.05	20.48	-9.47	-1.78	-0.2
GFD - 314 D	300	-68.26	359.33	-1.8	115.81	-276.7	20.56	-9.72	-1.8	-0.2



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

GFD - 314 D	305	-68.28	359.72	-1.81	117.66	-281.34	20.65	-9.97	-1.81	-0.21
GFD - 314 D	310	-68.41	359.64	-1.82	119.5	-285.99	20.73	-10.22	-1.82	-0.22
GFD - 314 D	315	-68.39	359.71	-1.84	121.34	-290.64	20.81	-10.48	-1.84	-0.22
GFD - 314 D	320	-68.35	359.98	-1.84	123.19	-295.29	20.9	-10.74	-1.84	-0.23
GFD - 314 D	325	-68.42	0.05	-1.84	125.03	-299.94	20.98	-11	-1.84	-0.24
GFD - 314 D	330	-68.48	359.99	-1.84	126.86	-304.59	21.06	-11.26	-1.84	-0.24
GFD - 314 D	335	-68.48	0.2	-1.84	128.7	-309.24	21.14	-11.53	-1.84	-0.25
GFD - 314 D	340	-68.48	0.44	-1.83	130.53	-313.89	21.22	-11.79	-1.83	-0.26
GFD - 314 D	345	-68.5	0.52	-1.81	132.37	-318.54	21.3	-12.06	-1.81	-0.26
GFD - 314 D	350	-68.5	0.33	-1.8	134.2	-323.19	21.38	-12.33	-1.8	-0.27
GFD - 314 D	355	-68.51	0.32	-1.79	136.03	-327.84	21.45	-12.59	-1.79	-0.28
GFD - 314 D	360	-68.56	359.89	-1.78	137.86	-332.5	21.54	-12.86	-1.78	-0.28
GFD - 314 D	365	-68.55	0.27	-1.78	139.69	-337.15	21.62	-13.14	-1.78	-0.29
GFD - 314 D	370	-68.54	0.25	-1.77	141.52	-341.81	21.7	-13.41	-1.77	-0.3
GFD - 314 D	375	-68.53	0.53	-1.76	143.35	-346.46	21.78	-13.68	-1.76	-0.31
GFD - 314 D	380	-68.51	0.61	-1.74	145.18	-351.11	21.86	-13.95	-1.74	-0.31
GFD - 314 D	385	-68.56	0.78	-1.72	147.01	-355.76	21.94	-14.22	-1.72	-0.32
GFD - 314 D	390	-68.65	0.97	-1.69	148.83	-360.42	22.01	-14.5	-1.69	-0.33
GFD - 314 D	395	-68.69	1.05	-1.66	150.65	-365.08	22.1	-14.78	-1.66	-0.34
GFD - 314 D	400	-68.78	1.18	-1.62	152.46	-369.74	22.18	-15.07	-1.62	-0.35
GFD - 314 D	405	-68.8	1.21	-1.59	154.27	-374.4	22.26	-15.36	-1.59	-0.35
GFD - 314 D	410	-68.79	1.58	-1.54	156.08	-379.06	22.34	-15.65	-1.54	-0.36
GFD - 314 D	415	-68.81	1.73	-1.49	157.89	-383.72	22.43	-15.95	-1.49	-0.37
GFD - 314 D	420	-68.88	2	-1.43	159.69	-388.38	22.52	-16.25	-1.43	-0.38
GFD - 314 D	425	-68.91	2.14	-1.37	161.49	-393.05	22.6	-16.55	-1.37	-0.39
GFD - 314 D	430	-68.98	2.26	-1.3	163.28	-397.72	22.69	-16.86	-1.3	-0.4
GFD - 314 D	435	-69.02	2.46	-1.22	165.07	-402.38	22.78	-17.17	-1.22	-0.41
GFD - 314 D	440	-69.11	2.5	-1.15	166.86	-407.05	22.87	-17.49	-1.15	-0.42
GFD - 314 D	445	-69.16	2.74	-1.07	168.64	-411.73	22.95	-17.81	-1.07	-0.43
GFD - 314 D	450	-69.17	2.88	-0.98	170.41	-416.4	23.04	-18.14	-0.98	-0.45
GFD - 314 D	455	-69.16	3.07	-0.89	172.19	-421.07	23	-18.47	-0.89	-0.46
GFD - 314 D	460	-69.17	3.37	-0.79	173.97	-425.74	23.1	-18.8	-0.79	-0.47
GFD - 314 D	465	-69.2	3.38	-0.68	175.74	-430.42	23.19	-19.13	-0.68	-0.48
GFD - 314 D	470	-69.17	3.6	-0.57	177.51	-435.09	23.29	-19.46	-0.57	-0.49
GFD - 314 D	475	-69.21	3.65	-0.46	179.29	-439.76	23.38	-19.79	-0.46	-0.5
GFD - 314 D	480	-69.24	3.93	-0.34	181.06	-444.44	23.48	-20.12	-0.34	-0.52
GFD - 314 D	485	-69.26	3.95	-0.22	182.82	-449.12	23.57	-20.46	-0.22	-0.53
GFD - 314 D	490	-69.3	4.32	-0.09	184.59	-453.79	23.67	-20.8	-0.09	-0.54
GFD - 314 D	495	-69.37	4.17	0.04	186.35	-458.47	23.77	-21.14	0.04	-0.56
GFD - 314 D	500	-69.34	4.43	0.17	188.11	-463.15	23.86	-21.49	0.17	-0.57



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

GFD - 314 D	505	-69.42	4.42	0.3	189.86	-467.83	23.97	-21.84	0.3	-0.58
GFD - 314 D	510	-69.39	4.81	0.45	191.61	-472.51	24.07	-22.19	0.45	-0.6
GFD - 314 D	515	-69.46	4.86	0.59	193.37	-477.19	24.17	-22.54	0.59	-0.61
GFD - 314 D	520	-69.49	5.13	0.75	195.11	-481.87	24.26	-22.9	0.75	-0.63
GFD - 314 D	525	-69.5	5.26	0.9	196.86	-486.56	24.36	-23.26	0.9	-0.64
GFD - 314 D	530	-69.52	5.23	1.06	198.6	-491.24	24.43	-23.62	1.06	-0.66
GFD - 314 D	535	-69.52	5.33	1.23	200.34	-495.92	24.52	-23.99	1.23	-0.68
GFD - 314 D	540	-69.6	5.51	1.39	202.08	-500.61	24.62	-24.35	1.39	-0.69
GFD - 314 D	545	-69.6	5.69	1.56	203.81	-505.3	24.72	-24.72	1.56	-0.71
GFD - 314 D	550	-69.67	5.67	1.73	205.55	-509.98	24.82	-25.1	1.73	-0.73
GFD - 314 D	555	-69.64	6.03	1.91	207.28	-514.67	24.92	-25.47	1.91	-0.74
GFD - 314 D	560	-69.65	6.08	2.09	209.01	-519.36	25.02	-25.85	2.09	-0.76
GFD - 314 D	565	-69.68	6.41	2.28	210.73	-524.05	25.11	-26.23	2.28	-0.78
GFD - 314 D	570	-69.72	6.43	2.48	212.46	-528.74	25.22	-26.61	2.48	-0.8
GFD - 314 D	575	-69.69	6.7	2.68	214.18	-533.43	25.32	-26.99	2.68	-0.82
GFD - 314 D	580	-69.72	6.78	2.88	215.9	-538.12	25.42	-27.38	2.88	-0.83
GFD - 314 D	585	-69.77	7	3.09	217.62	-542.81	25.53	-27.77	3.09	-0.85
GFD - 314 D	590	-69.85	7.14	3.3	219.33	-547.5	25.63	-28.16	3.3	-0.87
GFD - 314 D	595	-69.88	7.49	3.52	221.04	-552.19	25.73	-28.56	3.52	-0.89
GFD - 314 D	600	-69.89	7.63	3.74	222.75	-556.89	25.84	-28.96	3.74	-0.92
GFD - 314 D	605	-69.89	8.05	3.98	224.45	-561.58	25.95	-29.36	3.98	-0.94
GFD - 314 D	610	-69.92	8.1	4.22	226.15	-566.28	26.02	-29.77	4.22	-0.96
GFD - 314 D	615	-69.95	8.16	4.46	227.85	-570.98	26.13	-30.18	4.46	-0.98
GFD - 314 D	620	-69.98	8.25	4.71	229.54	-575.67	26.24	-30.59	4.71	-1.01
GFD - 314 D	625	-69.97	8.24	4.95	231.24	-580.37	26.34	-31	4.95	-1.03
GFD - 314 D	630	-69.98	8.86	5.21	232.93	-585.07	26.45	-31.41	5.21	-1.05
GFD - 314 D	635	-70.03	8.7	5.47	234.62	-589.77	26.56	-31.83	5.47	-1.08
GFD - 314 D	640	-70.08	8.83	5.73	236.31	-594.47	26.67	-32.25	5.73	-1.1
GFD - 314 D	645	-70.03	9.13	5.99	237.99	-599.17	26.78	-32.67	5.99	-1.13
GFD - 314 D	650	-70.03	9.28	6.27	239.68	-603.87	26.9	-33.09	6.27	-1.15
GFD - 314 D	655	-70.01	9.43	6.55	241.36	-608.57	27.02	-33.51	6.55	-1.18
GFD - 314 D	660	-70.01	9.64	6.83	243.05	-613.26	27.01	-33.93	6.83	-1.2
GFD - 314 D	665	-69.96	9.69	7.12	244.73	-617.96	27.14	-34.35	7.12	-1.23
GFD - 314 D	670	-69.97	9.82	7.41	246.42	-622.66	27.28	-34.77	7.41	-1.25
GFD - 314 D	675	-69.92	10.11	7.7	248.11	-627.36	27.41	-35.19	7.7	-1.28
GFD - 314 D	680	-69.95	10.18	8	249.8	-632.05	27.55	-35.61	8	-1.31
GFD - 314 D	685	-69.95	10.21	8.31	251.49	-636.75	27.69	-36.02	8.31	-1.33
GFD - 314 D	690	-69.94	10.26	8.61	253.17	-641.45	27.83	-36.44	8.61	-1.36
GFD - 314 D	695	-69.94	10.32	8.92	254.86	-646.14	27.97	-36.86	8.92	-1.39
GFD - 314 D	700	-69.91	10.3	9.23	256.55	-650.84	28.12	-37.28	9.23	-1.42



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

GFD - 314 D	705	-69.97	10.55	9.54	258.24	-655.54	28.27	-37.7	9.54	-1.44
GFD - 314 D	710	-69.99	10.66	9.85	259.92	-660.23	28.41	-38.12	9.85	-1.47
GFD - 314 D	715	-70.02	10.72	10.17	261.6	-664.93	28.56	-38.55	10.17	-1.5
GFD - 314 D	720	-70.03	10.75	10.49	263.28	-669.63	28.71	-38.97	10.49	-1.53
GFD - 314 D	725	-70.04	10.76	10.81	264.95	-674.33	28.81	-39.4	10.81	-1.56
GFD - 314 D	730	-69.97	10.94	11.13	266.63	-679.03	28.96	-39.83	11.13	-1.58
GFD - 314 D	735	-69.98	10.92	11.45	268.31	-683.73	29.13	-40.25	11.45	-1.61
GFD - 314 D	740	-69.97	11.14	11.78	270	-688.43	29.31	-40.68	11.78	-1.64
GFD - 314 D	745	-70.01	11.58	12.12	271.67	-693.12	29.5	-41.1	12.12	-1.67
GFD - 314 D	750	-70.01	11.67	12.46	273.35	-697.82	29.7	-41.53	12.46	-1.7
GFD - 314 D	755	-69.99	11.95	12.81	275.02	-702.52	29.91	-41.97	12.81	-1.73
GFD - 314 D	760	-70.05	12.23	13.17	276.69	-707.22	30.12	-42.4	13.17	-1.76
GFD - 314 D	765	-70.04	12.24	13.53	278.36	-711.92	30.26	-42.84	13.53	-1.8
GFD - 314 D	770	-70.06	12.48	13.9	280.03	-716.62	30.46	-43.28	13.9	-1.83
GFD - 314 D	775	-70.1	12.36	14.26	281.69	-721.32	30.67	-43.72	14.26	-1.86
GFD - 314 D	780	-70.13	12.71	14.63	283.35	-726.02	30.87	-44.16	14.63	-1.9
GFD - 314 D	785	-70.16	12.87	15.01	285.01	-730.73	30.96	-44.61	15.01	-1.93
GFD - 314 D	790	-70.18	13.08	15.39	286.66	-735.43	31.16	-45.06	15.39	-1.97
GFD - 314 D	795	-70.18	13.45	15.78	288.31	-740.13	31.38	-45.52	15.78	-2
GFD - 314 D	800	-70.17	13.57	16.17	289.96	-744.84	31.57	-45.97	16.17	-2.04
GFD - 314 D	805	-70.19	13.9	16.58	291.61	-749.54	31.77	-46.43	16.58	-2.08
GFD - 314 D	810	-70.19	14.05	16.98	293.25	-754.24	31.96	-46.89	16.98	-2.11
GFD - 314 D	815	-70.25	14.25	17.4	294.89	-758.95	32.15	-47.36	17.4	-2.15
GFD - 314 D	820	-70.24	14.56	17.82	296.53	-763.65	32.34	-47.82	17.82	-2.19
GFD - 314 D	825	-70.18	14.89	18.25	298.16	-768.36	32.53	-48.29	18.25	-2.23
GFD - 314 D	830	-70.21	14.86	18.68	299.8	-773.06	32.71	-48.76	18.68	-2.27
GFD - 314 D	835	-70.2	15.36	19.12	301.44	-777.77	32.89	-49.23	19.12	-2.32
GFD - 314 D	840	-70.2	15.49	19.58	303.07	-782.47	33.06	-49.7	19.58	-2.36
GFD - 314 D	845	-70.2	15.51	20.03	304.7	-787.18	33.24	-50.17	20.03	-2.4
GFD - 314 D	850	-70.2	15.51	20.48	306.33	-791.88	33.35	-50.64	20.48	-2.44
GFD - 314 D	855	-70.22	15.65	20.94	307.97	-796.59	33.52	-51.11	20.94	-2.49
GFD - 314 D	860	-70.26	15.76	21.39	309.59	-801.29	33.69	-51.59	21.39	-2.53
GFD - 314 D	865	-70.3	16.01	21.86	311.22	-806	33.85	-52.07	21.86	-2.58
GFD - 314 D	870	-70.32	16.35	22.32	312.83	-810.71	34.01	-52.56	22.32	-2.62
GFD - 314 D	875	-70.33	16.42	22.8	314.45	-815.41	34.16	-53.05	22.8	-2.67
GFD - 314 D	880	-70.33	16.5	23.28	316.06	-820.12	34.32	-53.54	23.28	-2.71
GFD - 314 D	885	-70.39	16.3	23.75	317.67	-824.83	34.48	-54.03	23.75	-2.76
GFD - 314 D	890	-70.42	16.44	24.22	319.28	-829.54	34.63	-54.52	24.22	-2.81
GFD - 314 D	895	-70.44	16.52	24.7	320.89	-834.25	34.79	-55.02	24.7	-2.86
GFD - 314 D	900	-70.44	16.49	25.17	322.5	-838.96	34.81	-55.52	25.17	-2.9



Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

- Dip: Inclinación
- Azimut: 0° Norte
- Easting: Coordenada Este en metros.
- Northing: Coordenada Norte en metros.
- Elevation: Punto final del pozo en metros.
- Plan: Vista en planta.
- South-Section-North: Inclinación en metros
- West-Section-East: Desviación de azimut en metros en planta.

Procesamiento del software de datos en diversos formatos

Hole ID	Station	Dip	Azimuth	Easting	Northing	Elevation	Temperature	UpDown	LeftRight	Shortfall
	Mètres	Degrees	Degrees	Metres	Metres	Metres	Centigrade	Metres	Metres	Metres
GFD - 314 D	900	-70.44	16.49	25.17	322.5	-838.96	34.81	-55.52	25.17	-2.9

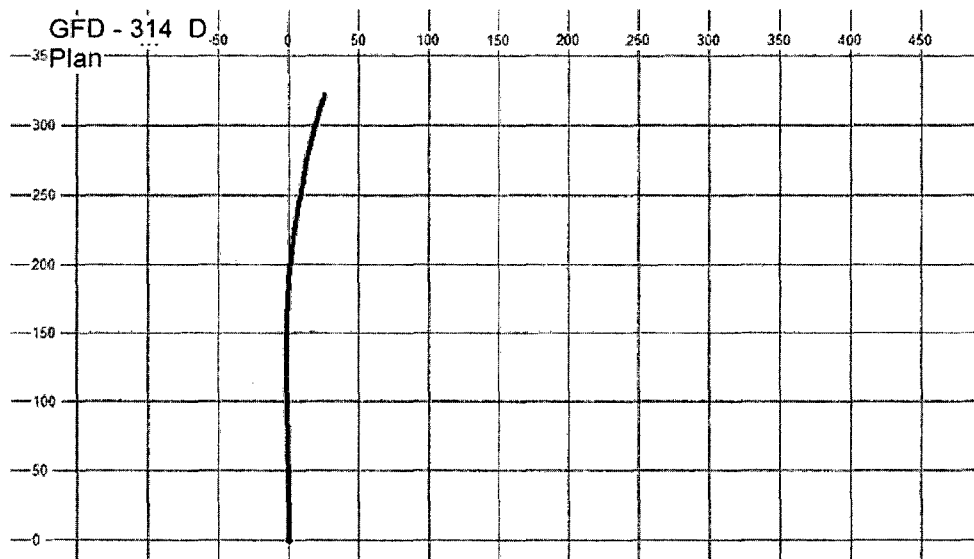


Figura 3. Medición que expresa en planta la desviación en metros.



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

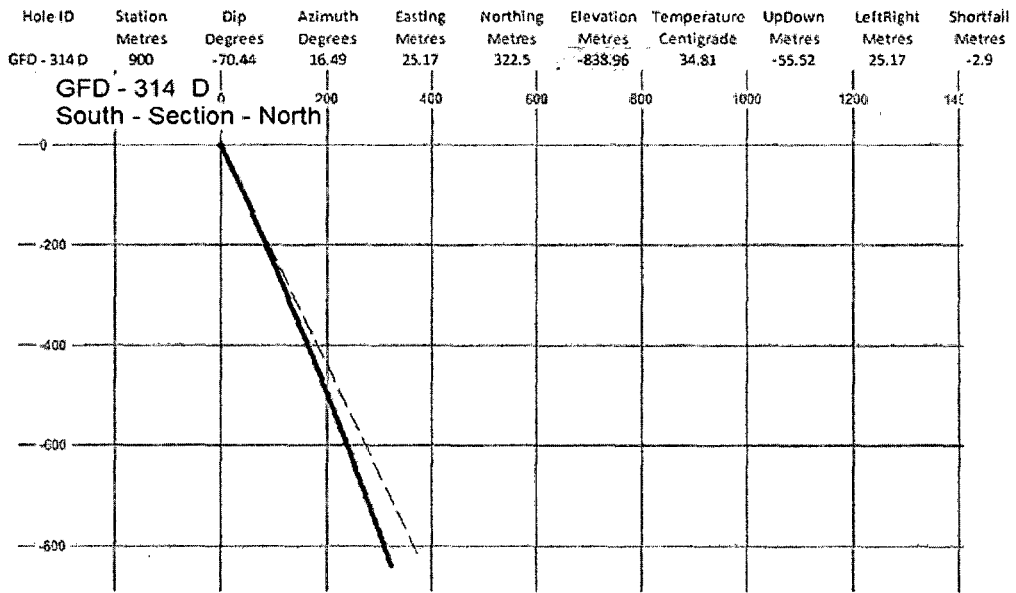


Figura 4. Medición que expresa la longitud real del pozo en metros.

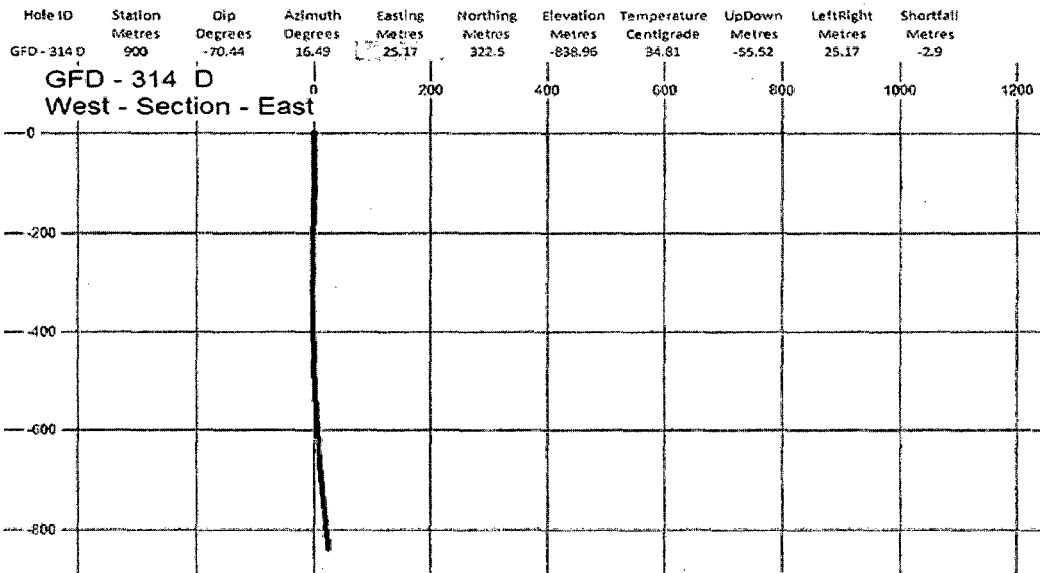


Figura 5. Expresa la distancia de desviación del pozo con respecto al Este.



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

Hole ID	Station	Dip	Azimuth	Easting	Northing	Elevation	Temperature	UpDown	LeftRight	Shortfall
	Metres	Degrees	Degrees	Metres	Metres	Metres	Centigrade	Metres	Metres	Metres
GFD-314 D	900	-70.44	16.49	25.17	322.5	-838.96	34.81	-55.52	25.17	-2.9

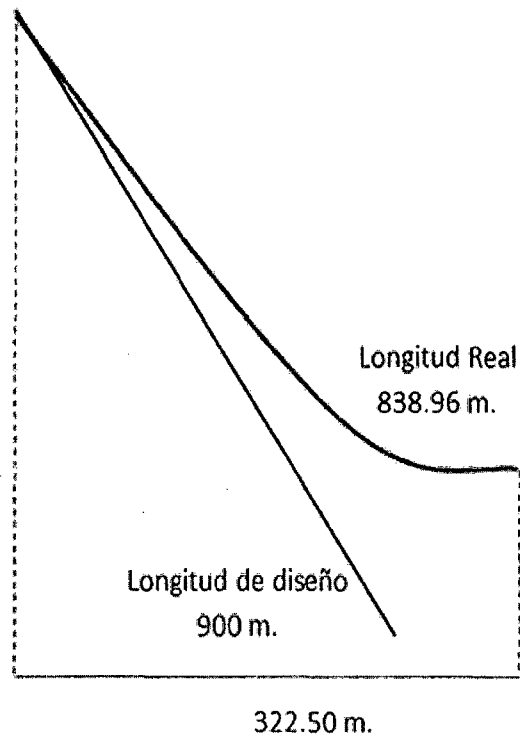


Figura 6. Medición que expresa el rumbo y la inclinación forma del pozo.



MEDICIONES DE VERIFICACIÓN. POZO DE 200 METROS

Tabla N° 9. Mediciones de verificación de Pozo de 200 m - Azimuth-de 01 a 10 muestras

GYRO REFLEX									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
359.9195	359.7428	359.7398	359.812	359.7011	359.8546	359.7368	359.5584	359.7894	359.6575
360.0023	359.8766	359.7984	359.8851	359.9502	359.9982	359.737	359.6096	359.7691	359.8317
0.35252	0.34708	0.21148	0.29047	0.37485	0.39913	0.17425	359.8421	0.2422	0.0798
360.504	360.4228	360.4437	360.4544	360.5403	360.4923	360.3317	360.1611	360.4342	360.2573
0.55735	0.67857	0.47171	0.51227	0.65433	0.50048	0.48659	0.19208	0.5128	0.376
0.31318	0.27754	0.2262	0.25725	0.43607	0.36089	0.12671	0.00591	0.2445	0.0985
0.2705	0.24966	0.24532	0.22604	0.43273	0.30564	0.10341	359.9821	0.2149	0.0733
0.54299	0.57958	0.49158	0.53155	0.71691	0.52986	0.41456	0.04734	0.4054	0.3865
0.63528	0.68604	0.52542	0.56157	0.66458	0.59428	0.43106	0.10611	0.3395	0.5894
0.79287	0.84073	0.63685	0.8073	0.83164	0.78122	0.5965	0.47123	0.6615	0.6407
1.11694	1.12787	0.8834	0.96864	1.04738	0.93034	0.78689	0.61832	0.6803	1.0427
1.18379	1.10454	1.02525	1.0654	1.08418	1.0727	0.92103	0.6346	0.7886	1.0033
1.49486	1.24243	1.11593	1.24915	1.2733	1.10307	0.96964	0.70068	0.8114	1.1497
0.95294	0.85771	0.8336	0.75814	0.9022	0.67904	0.78402	0.30828	0.5671	0.7624
1.23371	1.18131	1.1069	1.13589	1.30506	1.10842	1.11426	0.71756	0.939	1.1068
1.04176	0.90188	0.82178	0.88441	0.93848	0.76587	0.89406	0.39896	0.8033	0.7606
1.07285	1.02052	0.90455	0.96706	1.07096	0.88385	0.97099	0.6106	0.8431	0.8721
1.09499	1.00749	0.95379	0.99943	1.15319	0.86852	0.93042	0.5123	0.8488	0.9301
0.88592	0.85198	0.7082	0.7968	0.9184	0.67897	0.78694	0.45929	0.6582	0.7268
1.08627	0.98717	0.911	0.94964	1.15294	0.99769	0.92834	0.55587	0.7592	0.9631
1.1805	1.2065	0.93519	1.02244	1.08513	0.99062	0.91085	0.44395	0.7024	0.8758
1.20564	1.04157	1.10475	1.20018	1.19484	1.03284	0.91489	0.24821	0.6647	0.8018
0.97557	0.99904	0.94012	0.92621	1.18247	0.8077	0.92297	0.61658	0.7175	0.7563
1.3397	1.16572	1.17912	1.23481	1.26306	0.87372	1.19181	0.80134	0.9677	1.1363
1.49838	1.49638	1.50343	1.59432	1.53551	1.1563	1.40221	1.07302	1.2085	1.3192
1.41778	1.07271	1.37148	1.68458	1.6213	1.34017	1.10515	0.90129	1.1487	1.1316
1.73378	1.83695	1.7137	1.93544	1.77618	1.74207	2.02884	1.43556	1.8827	1.666
1.86805	1.90569	1.75839	1.82499	1.83554	1.60681	1.72688	1.3792	1.8232	1.8335
1.93289	2.0085	1.83917	1.9069	1.99126	1.55177	1.68085	1.24059	1.8225	1.6434
2.11394	2.17397	2.19617	2.17669	2.15907	1.84894	2.02159	1.69744	1.9473	1.7525

Fuente: Elaboración propia.



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

Tabla N° 10. Mediciones de verificación de Pozo de 200 m - Azimuth-, de 11 a 16 muestras

11	12	13	14	15	16	
Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Azimuth deg	Error
0	0	0	0	0	0	0
359.5312	359.6053	359.7426	359.5623	359.9805	359.6737	-0.32084
359.9276	360.1802	359.6996	359.6249	359.5147	359.653	0.51177
0.0491	0.1578	0.1302	0.096	359.6912	0.09113	0.08863
359.9845	360.1213	360.4476	360.1907	359.2417	360.175	0.50949
0.4099	0.108	0.3471	0.2581	359.6495	360.3103	-0.39593
0.0268	0.204	0.2077	359.9291	359.153	0.0856	0.55588
0.3572	0.5202	0.2952	0.0449	358.4697	0.10934	1.16389
0.386	0.4598	0.287	0.2505	359.4651	360.2397	0.24211
0.7037	0.6983	0.279	0.3307	359.9816	360.4541	0.35886
0.5785	0.6642	0.3267	0.5491	359.14	360.5554	1.64961
0.7409	0.686	0.6041	0.6427	359.9355	360.6228	0.82209
0.9712	1.12	0.6907	0.8305	0.16547	0.78351	0.94283
0.8168	0.6545	0.874	0.932	0.95687	0.84768	0.07127
0.7715	0.9415	0.5218	0.4315	0.4631	0.59117	-0.27606
0.9832	1.0755	0.9859	0.713	0.12229	1.16112	0.51408
0.9989	0.8376	0.4802	0.5668	0.78821	0.56991	-0.8009
0.9034	0.945	0.5484	0.659	0.01094	0.84013	0.57773
0.7023	0.7375	0.734	0.6946	0.15166	0.8416	0.19739
0.6059	0.7688	0.4818	0.5486	359.9839	360.6567	0.52662
0.6368	0.7786	0.5978	0.6753	359.793	360.6948	0.93496
0.9392	0.9778	0.4475	0.6166	359.6353	360.6223	0.86795
1.1552	1.1464	0.4672	0.8375	0.14211	0.70172	0.48903
0.8106	0.925	0.6107	0.8696	359.4765	360.768	0.98506
1.1514	1.3553	0.7519	1.0351	359.8699	360.8291	1.06476
1.5163	1.587	1.1717	1.4385	359.9765	360.4423	0.29848
1.1193	1.4334	1.0178	1.2678	359.6185	360.1622	1.26394
1.3497	2.0795	1.009	1.2761	359.7107	360.1835	0.74423
1.6793	1.7171	1.5427	1.6713	360.0527	360.5368	0.11339
1.697	1.8219	1.6316	1.791	0.21772	1.90963	0.90948
1.6929	1.8113	1.5131	1.6422	359.8265	361.6981	1.21051
						0.510332581

Fuente: Elaboración propia.

* Error= $(0.510332581/360) \times 100 = 0.14\%$



Azimut

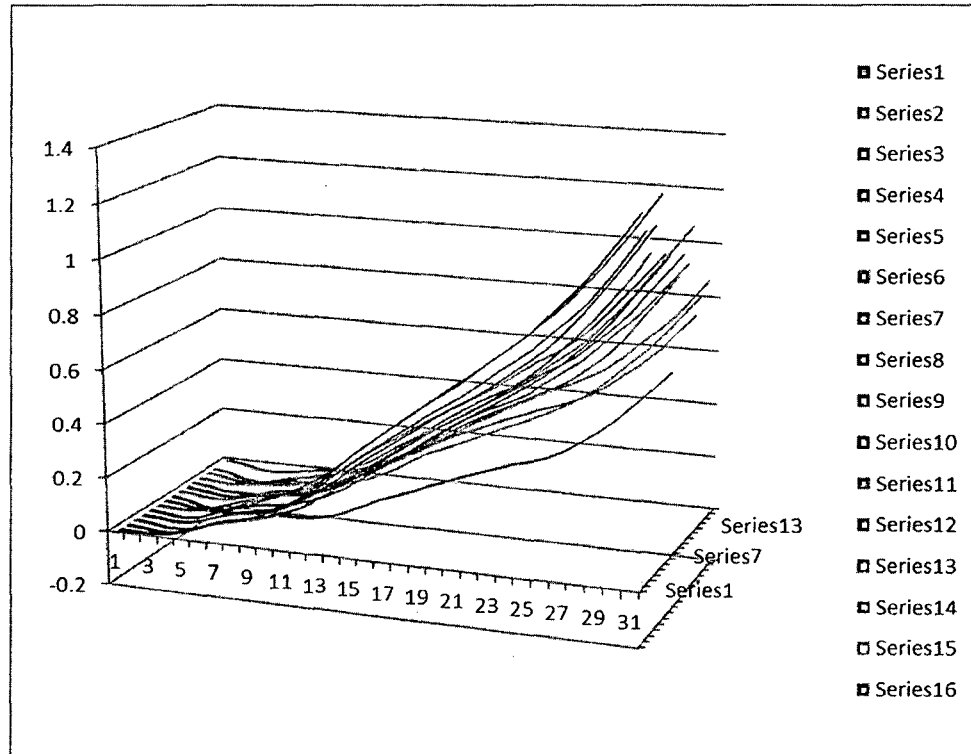


Figura 7. Mediciones que expresa el rumbo del pozo. 16 muestras.

La figura 7, muestra las 16 mediciones del rumbo, realizadas al pozo para verificar la calidad de la medición y del equipo. Se aprecia que las mediciones son consistentes.

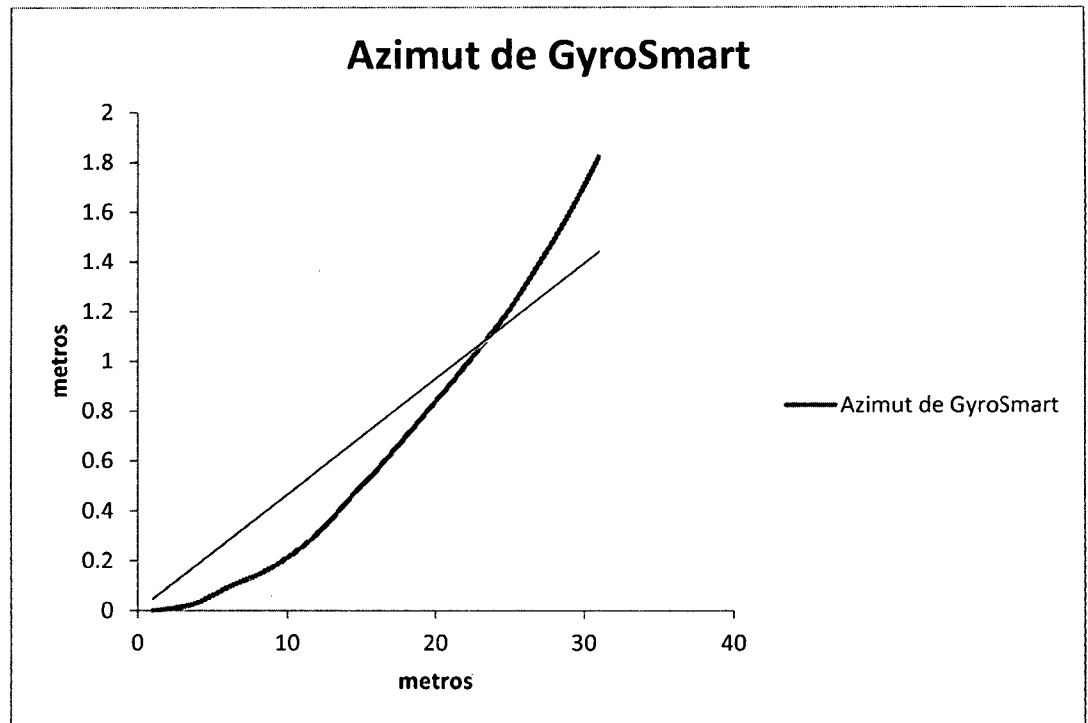


Figura 8. Comparación del proyectado (línea oscura) con el real.

En la figura N°8 se puede observar la desviación del rumbo del pozo con respecto a lo proyectado, esta vista en planta muestra que los pozos se desvían con respecto a la dirección proyectada.



Tabla N° 11. Mediciones de verificación de Pozo de 200 m – Dip -, de 01 a 10 muestras

INCLINACION GYROREFLEX									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg
-59.7746	-59.505	-59.0458	-59.3608	-59.6119	-59.5361	-58.5765	-58.4176	-58.9502	-58.5363
-58.9182	-59.1832	-58.6417	-59.0615	-58.7615	-59.0895	-58.5931	-58.4656	-59.0666	-58.7464
-59.1047	-59.4257	-58.8943	-59.3001	-59.0877	-59.4383	-58.8702	-58.7729	-59.3528	-58.8955
-59.4122	-59.5965	-58.9914	-59.4536	-59.3349	-59.5383	-59.113	-58.9965	-59.5565	-59.5137
-59.7205	-59.9861	-59.4901	-59.8244	-59.769	-59.9839	-59.4729	-59.3226	-59.9667	-59.4516
-59.2935	-59.5864	-59.1308	-59.4494	-59.1939	-59.7457	-59.0514	-58.9299	-59.5026	-59.03
-59.5495	-59.8599	-59.3911	-59.7242	-59.9956	-59.9706	-59.4083	-59.2225	-59.8813	-59.427
-60.3242	-60.4978	-59.9864	-60.2477	-60.1098	-60.5523	-59.9706	-59.7743	-60.3899	-60.0183
-59.8684	-59.7988	-59.4289	-59.8546	-60.0529	-59.9174	-59.4843	-59.3186	-59.8963	-59.5041
-59.309	-59.4756	-58.9558	-59.3467	-59.2536	-59.4891	-58.9439	-58.8712	-59.4366	-59.1263
-59.5541	-59.9114	-59.4509	-59.741	-59.5911	-60.0079	-59.3884	-59.2111	-59.8712	-59.3588
-59.0264	-59.2341	-58.67	-59.1069	-58.7225	-59.5367	-58.7269	-58.4825	-59.1068	-58.9438
-59.2441	-59.6617	-59.3153	-59.5443	-59.435	-59.7979	-59.1854	-59.0191	-59.6396	-59.1873
-58.5039	-58.5639	-58.0027	-58.328	-58.1357	-58.8073	-57.9888	-57.8675	-58.4112	-58.0749
-59.5303	-59.5722	-59.0877	-59.4229	-59.6764	-59.5626	-59.051	-58.8899	-59.5051	-59.1016
-59.7076	-59.9144	-59.5065	-59.6937	-59.6543	-59.9539	-59.3939	-59.2194	-59.9184	-59.431
-58.868	-58.9723	-58.4411	-58.7453	-59.0158	-58.8303	-58.3777	-58.4915	-58.8398	-58.6304
-59.4923	-59.7673	-59.3705	-59.6019	-59.6101	-59.8931	-59.2826	-59.1437	-59.7673	-59.3515
-59.4879	-59.6989	-59.1819	-59.5079	-59.6764	-59.6904	-59.1982	-59.0893	-59.7196	-59.1694
-59.3279	-59.6373	-59.325	-59.4436	-59.5533	-59.7825	-59.2671	-59.0578	-59.7119	-59.2823
-59.5449	-59.8887	-59.5059	-59.6883	-59.7092	-59.996	-59.3691	-59.2654	-59.8787	-59.4468
-59.4725	-59.7427	-59.4301	-59.4973	-59.6124	-60.1082	-59.2935	-59.1556	-59.8343	-59.2622
-59.7447	-59.8835	-59.2516	-59.7097	-59.7197	-59.6149	-59.216	-59.216	-59.7096	-59.2862
-59.8567	-59.9844	-59.6228	-59.8485	-59.9124	-60.1839	-59.4505	-59.3333	-59.9336	-59.6299
-59.8828	-60.1127	-59.8665	-59.8171	-59.7729	-60.1882	-59.608	-59.4779	-60.0257	-59.5835
-60.0635	-60.2413	-59.9146	-59.879	-59.9835	-60.2364	-59.6062	-59.5088	-60.1037	-59.6651
-59.9574	-60.3091	-59.8806	-60.0489	-59.9121	-60.4715	-59.8114	-59.7196	-60.3569	-59.8352
-60.1275	-60.298	-59.8553	-59.992	-60.0852	-60.3627	-59.7069	-59.6345	-60.1191	-59.6281
-60.0472	-60.2746	-59.8591	-59.9846	-59.9544	-60.2316	-59.8103	-59.6544	-60.3337	-59.7496
-60.0494	-60.3397	-59.8678	-59.9528	-60.0179	-60.4247	-59.7674	-59.4854	-60.3876	-59.8003
-60.3216	-60.5222	-60.049	-60.118	-60.0966	-60.5542	-60.0627	-59.9053	-60.6651	-59.6428

Fuente: Elaboración propia.



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

Tabla N° 12. Mediciones de verificación de Pozo de 200 m – Dip -, de 11 a 16 muestras

11	12	13	14	15	16	
Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	Dip deg	
-58.4376	-58.6585	-59.0972	-59.2775	-58.826	-59.623	-1.13414
-58.5644	-58.9631	-58.9104	-59.2108	-58.7116	-59.3242	-1.34683
-58.9441	-59.3273	-58.8628	-59.4793	-59.0727	-59.6176	-1.42534
-59.5063	-59.7046	-59.371	-59.6459	-59.0904	-59.842	-1.54664
-59.0173	-59.1915	-59.7321	-60.1353	-59.4694	-60.181	-0.90701
-59.1785	-59.5222	-59.3236	-59.8146	-59.4556	-59.8667	-1.22911
-59.144	-58.7834	-59.6876	-59.9648	-59.4498	-60.2524	-0.07686
-59.4869	-59.7322	-60.2596	-60.4492	-60.211	-60.6911	-0.87727
-58.9782	-59.3604	-59.732	-60.0303	-59.2924	-60.0165	-1.20661
-59.2265	-59.3909	-59.3217	-59.6784	-59.2558	-59.6395	-0.98168
-59.5289	-58.8911	-59.8083	-60.1959	-59.7406	-60.1738	0.15731
-59.6354	-59.4309	-59.3632	-59.4422	-59.6652	-59.9515	-0.79669
-59.3723	-58.7443	-59.5921	-59.925	-59.2766	-59.9188	0.0973
-59.0588	-59.4517	-58.3087	-58.759	-59.0234	-58.8812	-1.18046
-58.7189	-58.9772	-59.4456	-59.8614	-58.9543	-59.6867	-1.02151
-59.0253	-59.0197	-59.9088	-59.9879	-59.4927	-60.2038	-0.40255
-58.2039	-59.3453	-58.919	-59.2482	-58.4703	-59.051	-1.96996
-58.925	-59.4616	-59.5786	-59.9817	-59.5211	-60.0183	-1.12171
-58.8213	-59.2558	-59.504	-59.9651	-59.1842	-59.9265	-1.1078
-59.0526	-59.3768	-59.6193	-59.9342	-59.5508	-59.9566	-0.44438
-59.5587	-59.6377	-59.8543	-60.1491	-59.8371	-59.9018	-0.02832
-59.6917	-59.5897	-59.5367	-60.127	-59.9462	-59.8443	0.03081
-59.196	-59.5443	-59.3736	-59.9403	-59.3831	-59.9488	-1.27187
-59.6005	-59.6511	-59.8689	-60.2	-59.928	-60.2063	-0.60867
-59.8906	-59.7874	-59.9767	-60.267	-59.6638	-60.0099	-0.09709
-59.7403	-59.8457	-59.9734	-60.3105	-59.8919	-60.3106	-0.36482
-59.6046	-59.9362	-60.2465	-60.5617	-59.8776	-60.473	-1.00465
-59.7045	-59.9625	-59.9205	-60.4423	-59.763	-60.5129	-1.21007
-59.7025	-59.961	-60.0619	-60.3723	-59.6401	-60.3178	-0.68191
-59.7111	-59.7539	-60.0938	-60.3816	-60.0872	-60.3936	0.03087
-59.7239	-59.7668	-60.0619	-60.5414	-59.8853	-60.582	-0.36542
						-0.77719613

Fuente: Elaboración propia.
 * Error= (0.77719613/180)*100= 0.43%



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

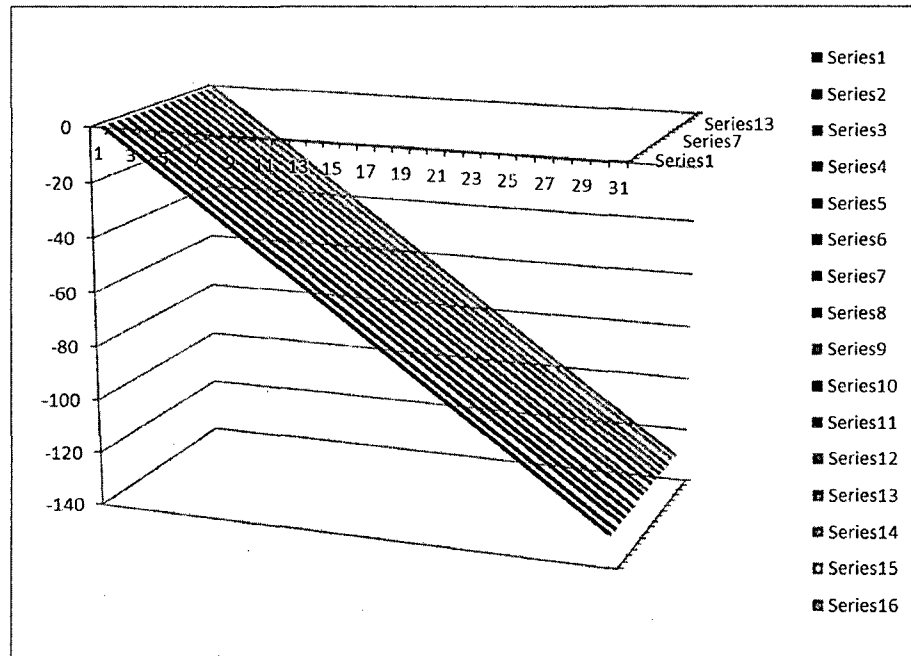


Figura 9. Inclinación del pozo.

En la figura N°9 se aprecia que las mediciones de inclinación son más homogéneas que las del rumbo, esto se debe a que el equipo se apoya en la tubería de perforación al descender y tomar las mediciones. Cuando mide el rumbo el equipo gira con el cable provocando una ligera distorsión.

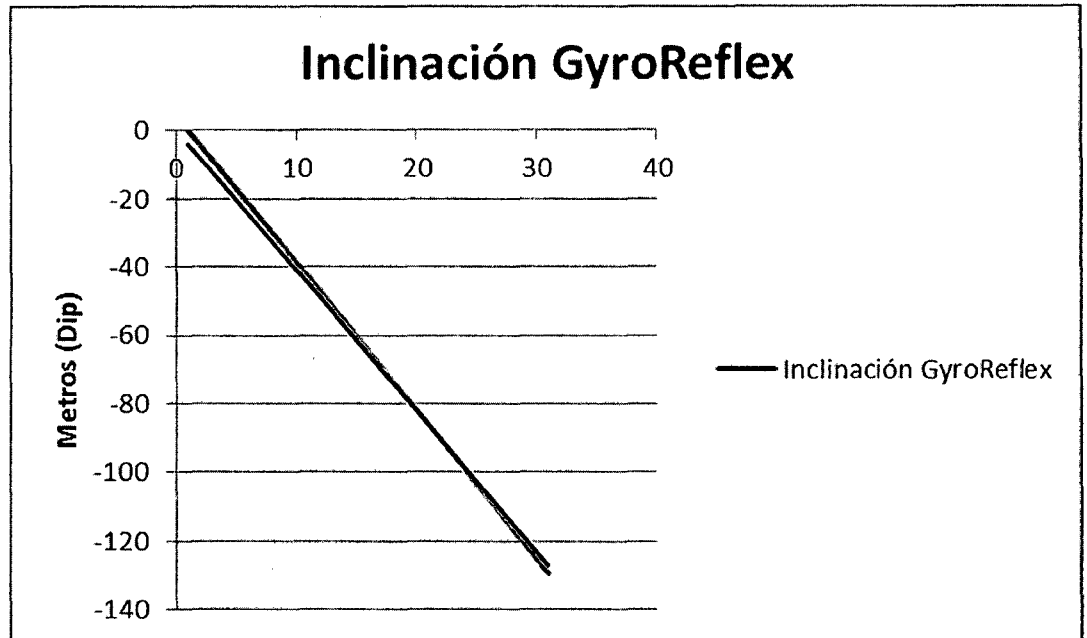


Figura 10. Comparación del proyectado (línea negra) con el real. MM

En la figura 10 se aprecia que el pozo en inclinación se ha desviado ligeramente, es decir mantiene el equipo de perforación tiene mayor control sobre el ángulo de inclinación.

3.4.5. Evaluación de los resultados

Los resultados obtenidos expresan un modelamiento del pozo perforado; de obtener resultados no esperados, es decir desviaciones groseras o sin sentido, es posible que se deba a los siguientes factores:



- Datos iniciales errados.- El azimut y las coordenadas iniciales del pozo no son correctos, o la inclinación de diseño no corresponde a la perforación.
- Pozo vertical.- Cuando se miden pozos verticales se presentan problemas de oscilación del equipo, presentando un modelamiento tipo espiral.
- Procedimiento de medición incorrecto.- Cuando el error es del operador, es decir no sigue el procedimiento de medición adecuado.
- Fallas en el equipo.- El equipo presenta fallas de calibración o desperfectos en la transmisión de datos.

3.4.6. Informe del resultado de la medición

El informe de los resultados obtenidos se presentan en digital y en impresiones, estos deben consignar lo siguiente:

- Datos del pozo.- Ubicación, azimut, inclinación, diámetro, profundidad, equipo de perforación.
- Datos de la operación.- Hora, fecha, operador, ayudante.
- Datos del equipo de medición.- Tipo de equipo, tecnología, marca.
- Software.- Los datos y versión del software que procesa los datos de medición del giroscopio.
- Datos numéricos.- El pozo medido debe consignar cada estación de toma de datos con todas las características obtenidas.



- Gráficos.- Se deben presentar los gráficos necesarios que brinda el software, de tal forma que sea lo más ilustrativo posible para un mejor estudio y análisis.
- Comentarios.- El informe debe consignar algunas ocurrencias que se consideren importantes a efectos de brindar un contexto de la operación: clima, tipo de suelo, condiciones de la operación, facilidades, condiciones sub estándares, etc.

3.4.7. Pozos observados

Los resultados de la medición de los pozos de perforación deben ser coherentes, es decir no se pueden desviar en ángulos agudos o rectos, es físicamente imposible, sin embargo algunos resultados son sujetos de ser observados al presentar resultados que no se ajustan a lo posiblemente esperado. Al analizar los resultados gráficamente, se presentan este tipo de incoherencias y es necesario repetir la medición verificar que los datos no se hayan alterado por algún motivo.

Casos Típicos:

- Datos de ingreso erróneos: coordenadas, azimut e inclinación
- Calibración defectuosa del equipo
- Procedimiento de medición incorrecto
- Toma de datos incorrecta
- Error al procesar los datos obtenidos



3.4.8. Control de calidad del equipo

El equipo debe ser probado en un banco de calibración adecuado, el proceso debe contemplar los siguientes aspectos:

- Se instala el equipo en el banco de calibración.
- El banco de calibración gira sobre dos ejes, uno horizontal y el otro vertical, esto permitirá simular la posición del equipo para comprobar la dirección e inclinación.
- Una vez fijado el equipo en el banco se procede a girar e inclinar el instrumento en ángulos determinados, los cuales se pueden leer físicamente en el banco de calibración. Estos datos deben coincidir con los tomados por el equipo y que son transmitidos al ordenador.
- El rango de la medición debe estar entre los parámetros indicados por el fabricante, caso contrario el equipo debe ser enviado a reparación.

3.4.9. Control de calidad de la medición

El control de calidad de la medición se realiza aleatoriamente, es necesario contar con otro instrumento de medición de similares características y tecnología. Por ser un procedimiento de auditoria es necesario contar con las condiciones similares al de la medición en cuestión, es decir el pozo debe medirse e inmediatamente se debe realizar la medición de auditoria con el otro instrumento.



Otro procedimiento de control de calidad es tomar una muestra estadística sobre un mismo pozo, para este caso es necesario dejar "abierto el pozo" esto implica que el pozo queda con el tubo de perforación instalado. Sobre este pozo se toman un mínimo de cincuenta mediciones y se calcula la desviación estándar, este resultado debe encontrarse dentro de los parámetros estadísticos aceptables.

3.5. Análisis del procedimiento de medición

El procedimiento de medición contempla las actividades que se deben realizar para lograr una medición de calidad, el resultado debe satisfacer al que requiere el dato y el proceso de medición debe ser medioambientalmente aceptable y con altos estándares de seguridad.

El procedimiento debe considerar los siguientes ítems:

- Los instrumentos de medición deben encontrarse en perfecto estado.
- Los instrumentos deben contar con certificado de calibración anual.
- El traslado del equipo debe realizarse de manera segura y en un espacio adecuado.
- El equipamiento para la medición debe cumplir con estándares medioambientales y de seguridad establecida por el reglamento de higiene y seguridad minera.
- Los operadores deben contar con el equipo de protección personal y ropa adecuada de trabajo.
- El personal involucrado debe ser capacitado constantemente en el uso de las herramientas de medición.
- Los datos obtenidos deben entregarse sin ningún tipo de alteración.
- La programación del personal debe cumplir con las normas laborales vigentes.



- El control de calidad debe realizarse por lo menos una vez al mes.
- La calidad de la medición debe controlarse y registrarse.

3.5.1. Flujograma del proceso operativo

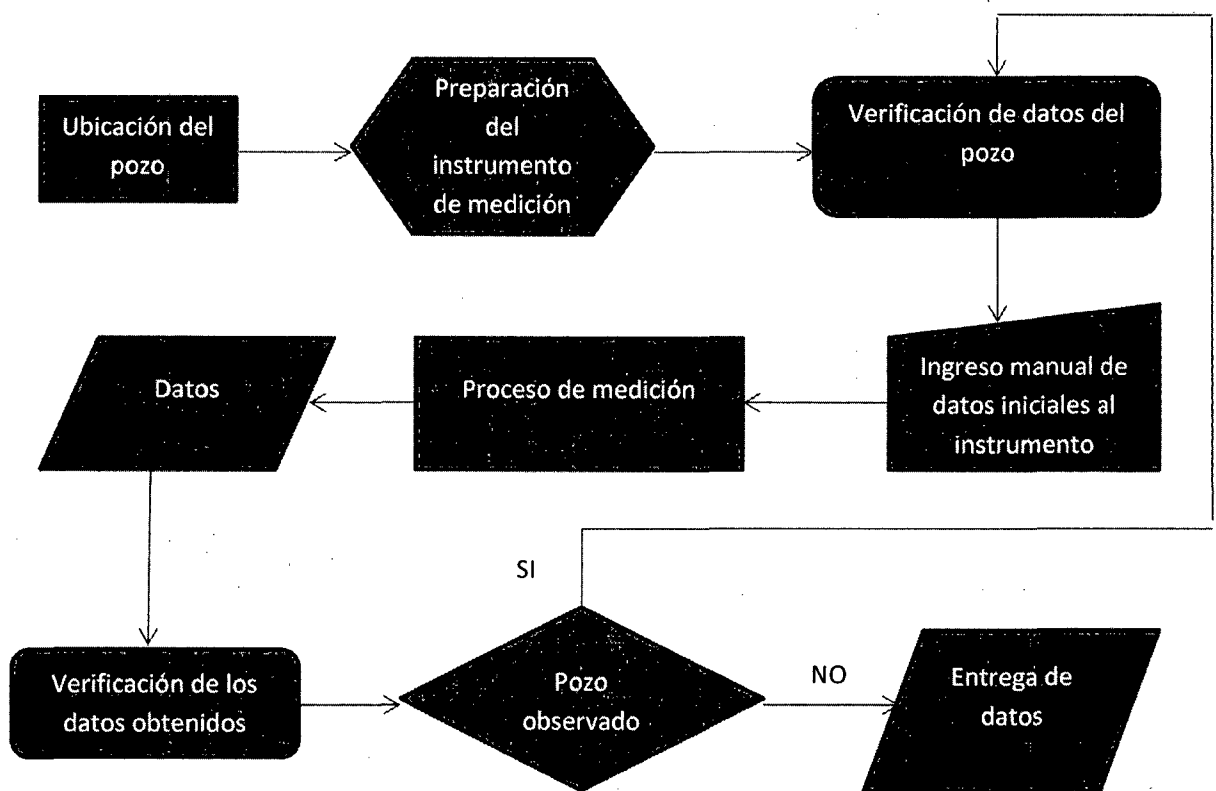










Figura 11. Flujograma del proceso operativo.



3.5.2. Procedimiento de medición de pozos de perforación

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Tabla N° 13. Procedimiento de medición de pozos de perforación

<p>Pre requisitos de competencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal calificado y autorizado. • Entrenamiento: Uso adecuado de EPP específico obligatorio. • Inspección de herramientas a utilizar. • Entrenamiento: Seguridad en manos, dedos y muñecas. 	<p>Referencias relacionadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medición de taladros con equipo giroscopio donde se puede ingresar con camioneta. PETS GEO-02 • Reuniones de Seguridad. PP-E 06.02 • Equipo de Protección Personal. PP-E 18.01 • Herramientas manuales y eléctricas. PP-E 39.04 • Manejo de derrames. PP-E 31.01 • Manejo de Residuos No Peligrosos. PP-E 31.01 • Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. DS-055. • Ley de Seguridad y Salud 29783. • Ley de Radiación Solar 30102. • Reglas Básicas de Seguridad y Salud en Minera Yanacocha. PP-E-55.01 • Ambiente de trabajo libre de alcohol y drogas. PP-E-17.02
<p>Objetivo: Medición de taladros abiertos, sin tubería, con equipo Giroscopio en plataformas donde puede acceder camioneta.</p>	<p>Equipo de protección personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Casco.  • Lentes de seguridad.  • Botín punta de acero.  • Guantes de cuero.  • Chaleco reflectivo y  de trabajo.  • Protector auditivo tipo audífono.  • Bloqueador Solar. 



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGEN



/IL

"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACIÓN (CÓMO)	Pasos ejecutados (✓) completado (* No completado)	
	Herramientas: <ul style="list-style-type: none">• Conos de seguridad• Maleta con barras de aluminio, barril de bronce, tapones y planchas en V.	Equipos y materiales: <ul style="list-style-type: none">• Camioneta 4*4.• Radio de comunicación.• Equipo de Giroscopio (Sensor, baterías, monitor y accesorios).• Tacos de seguridad• Extintor con tarjeta de inspección.• Winche con cable de acero y polea.• Mesa con polea para bajar equipo si no hubiese brazo incorporado.• Generador eléctrico, con bandeja de contención.• Contador de metros mecánico.• Botiquín de primeros auxilios.• Kit de emergencia.		
1.	Análisis de Trabajo Seguro (ATS)	<ul style="list-style-type: none">• El personal deberá llenar el ATS, antes de iniciar los trabajos.		
2.	Inspección del equipo (llenado del pre uso).	<ul style="list-style-type: none">• Verificaran el correcto funcionamiento de todos los ítems indicados en el formato del pre uso.• Una vez concluido la inspección del equipo el operador llenara las observaciones hechas, si es que las hubiese.• El chofer realizará el pre uso de la camioneta.		
3.	Planificación de la tarea	<ul style="list-style-type: none">• El supervisor y/o Operador Survey, imparte la charla de seguridad (5Min) antes de iniciar la jornada,• Identificación de peligros de la operación evaluando las condiciones de clima.• Los trabajadores inspeccionarán sus herramientas y sus equipos como generador, winche; así como su EPP antes de iniciar los trabajos.• En el caso de entrar a la zona de operaciones, deberá solicitar el permiso al supervisor.• Contar con baliza, cartel, pértiga en buen estado antes de ingresar a operaciones mina.• 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.• Contar con conos para delimitar las áreas de trabajo. <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.	Ejecución de la Tarea: Estacionamiento de la camioneta	<ul style="list-style-type: none">• Ubicar la camioneta a una distancia razonable que facilite la actividad, esto dependerá del espacio que haya en la plataforma.• En el caso de ingresar la camioneta de retroceso, el copiloto deberá bajar para indicar al chofer la ubicación correcta.• Estacionado el vehiculo, se delimitará la camioneta con dos conos de seguridad.		



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGEN



/IL

"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

5.	Verificación de condición y profundidad	<ul style="list-style-type: none">• El operador Survey, deberá cerciorarse de las condiciones y profundidad del pozo que tiene en ese momento.• 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.		
6.	Toma de datos iniciales	<ul style="list-style-type: none">• El Operador tomará los datos del taladro como: Inclinación, azimut, profundidad de perforación programada y real.		
7.	Instalación de equipos	<ul style="list-style-type: none">• El generador que se encuentra dentro de la tolva de la camioneta sujeto con sogas, deberá ser bajado al piso en un lugar seguro y estable.• El ayudante, deberá instalar el generador y el winche, el operador deberá verificar el funcionamiento adecuado de los dos equipos.• El operador Survey, deberá colocar la maleta (Computadora, sensores y baterías) en un lugar seguro y limpio.• El operador, verificará el funcionamiento adecuado de las baterías.• El operador, encenderá la computadora y conectará el sensor a las baterías posteriormente establecerá la comunicación con bluetooth e inicializará el instrumento.• 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".		
8.	Alineamiento del equipo	<ul style="list-style-type: none">• Luego de ello se deberá esperar 15 minutos para estabilizar la temperatura del sensor.• 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.• 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).		
9.	Ubicación en la boca del taladro	<ul style="list-style-type: none">• Se ubicara 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.• El operador y/o ayudante, trasladará el instrumento hasta la boca del pozo con bastante cuidado en posición vertical, sin realizar movimientos bruscos o golpes para el comienzo de la medición.• 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.		
10.	Lectura de mediciones	<ul style="list-style-type: none">• 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.• Se debe tener cuidado que entre lectura y lectura no debe transcurrir un tiempo mayor a 20 seg. Al término de la medición el operador y el ayudante procede al retiro del instrumento, con ayuda del winche con bastante cuidado y evitando que este golpee.		



3.5.3. Presentación de informe de medición de pozos de perforación

Tabla N° 14. Informe de medición de pozos de perforación

SURVEY FILE:	ILL- 012
DIA:	08/04/2014
HORA:	08:00 a.m.
MINERA:	PROYECTO MINERO ILLARI
SECTOR:	ILLARI
PERFORACION EN:	HQ
MAQUINA:	AK Drilling
GIROSCOPIO:	REFLEX GYRO NO MAGNETICO
OPERADOR:	MIGUEL ROBLES CURAY
COMPAÑÍA:	GEODATA CONTROL PERU S.R.L.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 15. Informe de medición de pozos de perforación

ILL- 012					
Station	Dip	Azimuth	Easting	Northing	Elevation
m	deg	deg	m	m	m
0	-59.98	45	0	0	0
5	-59.75	45.28	1.78	1.77	-4.32
10	-59.72	45.32	3.57	3.54	-8.64
15	-59.93	45.48	5.36	5.31	-12.97
20	-60.18	45.58	7.14	7.06	-17.3
25	-60.11	45.96	8.92	8.79	-21.63
30	-60.02	46.14	10.72	10.52	-25.97
35	-59.85	46.18	12.53	12.26	-30.29
40	-59.96	46.04	14.33	14	-34.62
45	-60.19	45.72	16.13	15.73	-38.95
50	-60.48	45.77	17.9	17.46	-43.3
55	-60.58	46.12	19.67	19.17	-47.65
60	-60.57	46.33	21.44	20.87	-52.01
65	-60.37	46.48	23.22	22.57	-56.36
70	-60.37	46.87	25.02	24.27	-60.7
75	-60.31	46.89	26.83	25.96	-65.05
80	-60.35	47.05	28.64	27.65	-69.39
85	-60.33	47.1	30.45	29.33	-73.74



"MEDICIÓN DE LA TRAYECTORIA DE POZOS DE PROSPECCIÓN GEOLÓGICA"

90	-60.24	47.17	32.27	31.02	-78.08
95	-60.27	47.38	34.09	32.7	-82.42
100	-60.12	47.49	35.92	34.38	-86.76
105	-60.06	47.79	37.76	36.06	-91.09
110	-60.04	47.95	39.61	37.74	-95.43
115	-60.08	48.15	41.47	39.4	-99.76
120	-60.03	48.07	43.33	41.07	-104.09
125	-60.05	48.12	45.18	42.74	-108.42
130	-59.93	48.2	47.05	44.41	-112.75
135	-59.88	48.16	48.92	46.08	-117.08
140	-59.93	48.31	50.79	47.75	-121.4
145	-59.94	48.28	52.66	49.42	-125.73
150	-59.89	48.13	54.52	51.09	-130.06
155	-59.75	48.03	56.4	52.77	-134.38
160	-59.77	48.19	58.27	54.45	-138.7
165	-59.78	47.95	60.14	56.13	-143.02
170	-59.74	48.13	62.01	57.81	-147.34
175	-59.63	48.01	63.89	59.5	-151.66
180	-59.6	48.13	65.77	61.19	-155.97
185	-59.55	48.08	67.66	62.88	-160.28
190	-59.52	48.08	69.55	64.57	-164.59
195	-59.56	47.91	71.43	66.27	-168.9
200	-59.64	47.87	73.31	67.97	-173.21
205	-59.7	47.83	75.18	69.66	-177.53
210	-59.73	47.9	77.05	71.35	-181.85
215	-59.8	47.9	78.92	73.04	-186.17
220	-59.84	48.08	80.78	74.72	-190.49
225	-59.81	48.09	82.65	76.4	-194.81
230	-59.81	48.32	84.53	78.08	-199.13
235	-59.86	48.34	86.4	79.75	-203.46
240	-59.91	48.34	88.28	81.42	-207.78
245	-60	48.3	90.15	83.08	-212.11
250	-59.96	48.12	92.01	84.75	-216.44
255	-59.86	48.22	93.88	86.42	-220.76
260	-59.82	48.42	95.76	88.09	-225.09
265	-59.9	48.43	97.64	89.75	-229.41
270	-59.84	48.37	99.51	91.42	-233.74
275	-59.79	48.34	101.39	93.09	-238.06
280	-59.76	48.21	103.27	94.77	-242.38

Fuente: Elaboración propia



3.5.4. Certificación de la medición

La certificación de la medición es un documento que resulta de la medición de una serie de pozos de perforación de un proyecto de prospección geológica, el cual ha cumplido con un procedimiento estándar de medición, este procedimiento debe ser coherente y considerar todos los aspectos técnicos, medioambientales, de seguridad y cumplimiento de los estándares y las normas legales vigentes. Asimismo debe contar con un control de calidad adecuado y una auditoría al proceso operativo y de resultados.

La certificación de la medición podrá extenderse si se cumplen con los procedimientos y alcances del proyecto de forma integral.



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



4.1. CONCLUSIONES

- El estudio que se desarrolló en este trabajo de investigación de medición de pozos de prospección geológica es el *Método Estándar de Medición de Pozos de Prospección Geológica*, basado en las normas peruanas vigentes con respecto a medioambiente y seguridad industrial.
- De la medición en estudio, se concluyó que los datos numéricos y gráficos obtenidos nos muestran una desviación de 25.70 m con respecto al punto esperado. La longitud de diseño fue de 900 m, la perforación lograda fue de 838.96 m, es decir se perforaron 61.04 m menos. La inclinación fue de 70 44° con respecto a la horizontal, para un diseño de 65°, por ende todos los pozos se desvían.
- El equipo de medición de mejor tecnología es el Gyro Reflex, basado en nanotecnología y dotado de cuatro giróscopos que trabajan en serie. Esto permite que al girar (los giróscopos) logren un alineamiento paralelo al eje terrestre y se pueda determinar la inclinación y el azimut real del pozo. Su principal fortaleza con respecto a los equipos magnéticos es que no existen alteraciones de los resultados por presencia de metales ferrosos en el pozo.
- El trabajo se realizó en dos puntos de muestreo: *Primer punto de muestreo Minera Yanacocha- distrito de la Encañada*, se ejecutaron 16 mediciones en un mismo pozo, se verificó los resultados y calidad de muestreo, obteniendo variaciones en un rango de 0.14 % menor que la tolerancia del equipo en +- 2 % de error. *Segundo punto de muestreo Compañía Minera Cerro Corona GoldFiels-La Cima*, se midió un pozo de 900 m. En ambos casos se utilizó un procedimiento de trabajo seguro y Plan Medio Ambiental (PMA), asimismo se logró optimizar los tiempos de medición aplicando un procedimiento topográfico con una estación total, para ubicar las coordenadas y azimut iniciales, los resultados fueron determinados en campo y corroborados en gabinete.
- La medición de pozos de prospección geológica permite conocer la ubicación en coordenadas de las diferentes muestras o testigos de una perforación este dato es importante, porque el impacto que puede ocasionar la presencia de una formación geológica en el sub suelo define la viabilidad de un proyecto, además la medición no utiliza ningún material peligroso ni contaminante, por lo que el proceso de medición de pozos de prospección no impacta negativamente el medio ambiente. Además permite perforar menos pozos, porque los datos obtenidos por la medición tienen una ubicación más precisa y el muestreo es más confiable.



4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de un procedimiento estándar de mediciones, el que debe revisarse constantemente y actualizarse teniendo en cuenta los aspectos técnicos, innovación tecnológica, parámetros medioambientales y de seguridad personal.
- Todos los pozos de prospección geológica se desvían, por lo que el uso de estos equipos permiten completar la información sobre la prospección geológica que asumía la desviación de los pozos en base a estimaciones. Debe implementarse la medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica como parte de la investigación y estudio y no como un dato complementario.
- Es importante elegir instrumentos de medición que brinden la tecnología, seguridad y calidad necesaria para obtener datos que permitan conocer las características reales del pozo en estudio.
- Se debe realizar un control de calidad adecuado de la medición, puede ser por repeticiones con el mismo instrumento, o por auditores externos y con instrumentos de la misma tecnología pero de diferentes fabricantes.
- El estudio de la geología se encuentra en constante innovación y es necesario conocer los nuevos instrumentos de medición, así como su adecuado uso y aplicación en la ingeniería, la difusión de estos recursos tecnológicos debe ser prioritaria.



CAPÍTULO V

BIBLIOGRAFÍA



5.1. BIBLIOGRAFIA

Camberfort, H. 1962. Perforaciones y sondeos. 2 ed. Editorial Omega. Madrid. España. 149 p.

Carbajal, A. 2009. Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Instituto Tecnológico Geominero de España. 250 p.

Juárez BE; Rodríguez RA. 2005. Mecánica de Suelos. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo I. 3°. Editorial LIMUSA. México. 235 p.

Labor Occupational Safety and Health (LOSH) Universidad de California, Los Angeles. Fecha de consulta C/23 / 07/14. Documento en línea. Disponible en http://www.losh.ucla.edu/losh/resourcest-sheets/msds_espanol.pdf

Lahee, F. 1962. Geología Práctica. 2 ed. Editorial Omega. Barcelona. España. 349 p.

López, MJ. 2002. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. 2 ed. Editorial Dossat. Madrid. España. 158 p.

Mueller, M. 2009. Revista Oro y Finanzas 30 de diciembre. Fecha de consulta C/23 / 07/14. Documento en línea. Disponible en <http://www.oroymasfinanzas.com>.

SENAMHI – Cajamarca. Fecha de Consulta C/03 / 07/14. Documento en línea. www.senamhi.gob.pe.



Silva, AL. 2008. Informe sobre la tarea de medir variaciones en la dimensión de pozos. Ingetrol Chile. 70 p.

Pineda, LC. 2008. Medición de perforación de pozos. Fecha de Consulta C/03 / 07/14. Documento en línea. Disponible en http://es.scribd.com/lpineda_22/info.

Takashi, K. 2007. Formulación de un proyecto y análisis de factibilidad. Seminario Internacional. Guía operacional para la preparación de proyectos de préstamo ODA de Japón. Agencia de cooperación internacional del Japón JICA.

Veccio, J; Luna G. 2009. Laboratorio de Mecánica de Suelos. Edit. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Bolivariana. UNEFA – NAGÜANAGÜA. Carabobo-Venezuela. 345 p.