**Imagen que contiene reloj, medidor, jugador

Descripción generada automáticamente**

**Método Magnetométrico Resistivo (MMR)**

Facultad de Ingeniería

Colegio de Geofísica

Asignatura: Prospección Electromagnética

Docente:

González Hernández Julio César

Integrantes:

García Velásquez Elvira

Paredes Román Clarise

Ramírez Rodríguez Ricardo Uriel

Torres Mora Carlos Alberto

Diciembre 01 -2022

**Introducción**

El presente reporte muestra los valores de dos tendidos realizados (uno con inyección de corriente y el otro sin corriente).

Se pretende encontrar lo que sucede cuando a los valores de las mediciones se les inyecta corriente, encontrando los parámetros Hn y MMR. Estas diferencias serán visibles mediante gráficos realizados en Matlab para su correspondiente interpretación.

Para llegar a ello, es necesario realizar un proceso algo elaborado ya que, necesitamos obtener la corrección diurna y posteriormente a las lecturas corregidas para cada estación, restarles el valor de dicha corrección diurna.

Es por esto que, necesitamos conocer ciertos conceptos para poder aplicar lo anterior que se muestran más adelante.

La resistividad magnetométrica es un método de exploración eléctrica basado en la medición de campos magnéticos estáticos de bajo nivel y baja frecuencia asociados con el flujo de corriente no inductiva en el suelo. El método de resistividad magnetométrica (MMR) se diferencia del método tradicional en que los electrodos de potencial se reemplazan por una bobina o magnetómetro de alta sensibilidad y se registran uno o más componentes del campo magnético. La MMR se ha utilizado con éxito para explorar sulfuros masivos y recursos geotérmicos, mapear la geología regional, estudiar sitios de roca dura para la eliminación de desechos nucleares, ubicar estructuras de arrecifes en fondos sedimentarios y obtener perfiles de conductividad del fondo marino con profundidad, tanto en aguas someras como profundas. ( Jardani A., 2018)

**Objetivos**

**Generales:**

* Obtener las anomalías Hn y MMR de las mediciones de campo magnético (Hechos en CU, Buap) para que, junto con el radargrama se pueda realizar la interpretación de la composición del subsuelo en la que se realizó el levantamiento.
* Encontrar qué sucede cuando en un tendido tenemos un campo magnético y a este se le inyecta corriente y qué sucede cuando no se le inyecta mediante los parámetros Hn y MMR.

**Específicos:**

* Obtener la tasa de variación diurna de cada loop (ciclo), a través de realizar ciertos cálculos en la herramienta Excel, para realizar la corrección diurna correspondiente.
* Realizar el procesamiento del radargrama proporcionado a través del software prism2 para su correcta interpretación y comparación con el método MMR.
* Graficar en el software Matlab las anomalías del método MMR por medio de un código adecuado que realiza la correcta lectura de los datos ingresados al programa y de esta manera, comparar estos gráficos con el radargrama previamente filtrado, para su posterior interpretación.

**Marco teórico**

**¿En qué consiste el método?**

Los métodos Magnetométricos utilizan una corriente alterna de baja frecuencia (normalmente una onda cuadrada) que se introduce en el suelo mediante un gran dipolo de corriente, normalmente de hasta 2 km de longitud, y orientado en paralelo a la dirección geológica.

Se basa en inyectar corriente de baja frecuencia (1-5Hz) entre dos electrodos (a, b) colocados en la superficie del suelo. Mide el campo magnético asociado al flujo de corriente con el propósito de determinar la conductividad eléctrica de la tierra (R. Edwards y Nabighian M.,1978).

**¿Para qué se utiliza este método?**

Este método es utilizado para medir pequeños contrastes de conductividad en áreas cercanas del punto de medición con el fin de detectar dichos contrastes de conductividad horizontalmente (lateralmente), preferentemente de estructuras que no sean tan profundas. (Peroni J., 2020)

**Fundamento matemático**

El Método Magnetométrico Resistivo implica la combinación de las ecuaciones de Poisson y del campo magnético en condiciones cuasiestáticas, al igual que otros métodos electromagnéticos, éste se fundamenta en las ecuaciones de Maxwell (Jessop M. y Jardani M., 2018).

……………………(Ec.1)

……………………(Ec.2)

…………………..(Ec.3)

…….(Ec.4)

**Condiciones y proceso**

La intención es hacer que la corriente fluya predominantemente en paralelo y se canalice hacia regiones conductoras, esto favorece la detección de objetivos alargados, pero introduce un sesgo direccional en la prospección; sólo se pueden detectar de forma fiable los rasgos que se encuentran dentro de los 45° de la dirección del flujo de la corriente. Los electrodos de corriente pueden estar situados en la superficie o para las zonas en las que los objetivos se encuentran bajo la sobrecarga conductora, en pozos de perforación que penetren en el lecho rocoso para aumentar el flujo de corriente por debajo de la cubierta. Alternativamente, los electrodos pueden situarse intencionadamente en un elemento conductor para facilitar su cartografía.

Para la autora Sóstenes D., una medición de la medición de la intensidad y dirección del campo magnético se realiza con…

“(…) una bobina o un magnetómetro vectorial y éstos deben estar orientados para la medición. Las lecturas del estudio se realizan en la región entre los electrodos de corriente ya sea en la superficie o en el fondo del pozo con trayectorias perpendiculares al dipolo de corriente (perpendicular al rumbo), es decir, perpendicular a la dirección dominante del flujo de corriente. Para detectar las variaciones del campo magnético debidas a la canalización de la corriente es necesario tener en cuenta otros campos magnéticos presentes en la zona de estudio, es decir, el campo creado por el cable que conecta los electrodos de corriente y el campo geomagnético. Los campos magnéticos y los métodos utilizados para su eliminación dependen de las características específicas del método de prospección que se emplee.” (Sóstenes D., 1997).

Las mediciones MMR pueden realizarse en el dominio de la frecuencia o el dominio del tiempo utilizando las mismas formas de onda transmitidas, con las mismas frecuencias y anchuras de pulso, respectivamente, utilizadas para las mediciones eléctricas. Se mide la intensidad de uno o más componentes del campo magnético alterno. Los estudios de superficie suelen medir la componente del campo magnético paralelo a la superficie y perpendicular a la orientación del dipolo de corriente (denominada componente Y). La dirección dominante del flujo de corriente es paralela a la superficie del suelo, por lo que…

“(…) los campos magnéticos asociados son horizontales y están orientados perpendicularmente a la dirección del flujo. Para un estudio en el que la topografía es plana y los electrodos de corriente están en la superficie, el campo magnético debido a la corriente en el cable que conecta los dos electrodos es vertical en la superficie del suelo, por lo que se excluye automáticamente de las mediciones, si la topografía es significativa o las mediciones se realizan en el fondo del pozo, entonces los campos asociados a los cables del transmisor tienen que calcularse y eliminarse de los datos. Este proceso no tiene que ser exacto porque estos campos aumentan gradualmente hacia los cables y aparecen como un componente "regional" fácilmente reconocible en los datos finales, en los que se superponen las variaciones de longitud de onda más cortas debidas a la geología local.” (Sóstenes D., 1997).

**Parámetro MMR**

El parámetro MMR da paso a obtener una mayor resolución, y este es la variación entre el campo primario u observado (Hobs) y el campo de fondo calculado en una estación de referencia u origen (Hbg), normalmente el centro del dipolo transmisor, en relación con el valor de fondo de origen, expresado como porcentaje y dado por (Jessop M. y Jardani M., 2018):

…………(Ec.5)

• = campo primario observado

• = campo magnético de fondo calculado en una estación de referencia (campo magnético de la tierra)

• MMR (%) =Es la variación entre el campo primario observado y el campo de fondo

**Campo magnético primario normalizado Hn**

El o bien campo magnético primario observado, se normaliza al campo magnético normal, o bien calculado en la estación de estudio (). Esta es la fuerza del campo cuando el subsuelo es lateralmente homogéneo, esto debido a que las capas verticales con propiedades eléctricas no influyen en las mediciones.

El campo primario normalizado (HN) se expresa como un porcentaje de la siguiente manera

(Jessop M. y Jardani M., 2018).

………..(Ec.6)

* = campo primario observado
* = campo magnético de fondo o normal (campo magnético de la tierra)
* = campo magnético primario observado normalizado

Valores de HN mayores al 100% indican un flujo de corriente alto.

**Comentario:**

No necesariamente se espera que las anomalías reaccionen igual, basta con ver cómo se comporta Hn (siendo este mayor al 100%) podemos intuir que hay un flujo anómalo de corriente.

**Arreglos en el MMR**

Uno o ambos electrodos de corriente pueden moverse con el magnetómetro, ya sea horizontalmente sobre la tierra o verticalmente en un pozo. Alternativamente, los electrodos de corriente pueden mantenerse en posiciones fijas y el magnetómetro en movimiento.

(Jessop M. y Jardani M., 2018)

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente con confianza media

*lustración 1. Configuración para el MMR.(Jessop M. y Jardani M., 2018, p. 223)*

**Reducción de datos magnéticos**

Es un proceso donde hay que eliminar todas las variaciones externas del campo magnético y sólo dejar las que utilicemos en los cuerpos anómalos enterrados.

Se van a eliminar:

* Variación del campo magnético dipolar interno (se elimina con ayuda del IGRF (Campo Magnético de Referencia Internacional)).
* Variación del campo magnético externo con el tiempo (variación diurna) mediante una corrección diurna.

(Peroni J., 2020).

Al final con esto, pensamos llegar a la anomalía magnética residual (Campo magnético observado después de las correcciones).

**Corrección Diurna**

Tiene un gran efecto en los datos de levantamiento magnético. Consiste en medir un sitio las variaciones del campo magnético a lo largo del tiempo que dure el levantamiento eliminando la variación en los datos del campo magnético visibles causado por el campo magnético externo. Es más compleja a la hora de realizar el levantamiento sobre áreas extensas.

Se necesita de una estación base; Se mide el campo magnético en un punto y después de un cierto periodo, volver a medir el campo magnético para dicha región establecida.

Se van a calibrar las medidas con la finalidad de observar cómo es que se ha dado esta variación diurna para que posteriormente, sea eliminada a nuestras mediciones del campo magnético. (Peroni J., 2020).

**¿Por qué se da la variación diurna?**

Por ciertos agentes externos como por ejemplo: Campo magnético solar y lunar, principalmente), generando que varíe el campo magnético que sea medido en una cierta región. (Peroni J., 2020).

**IGRF (Campo Magnético de Referencia Internacional)**

Permite determinar cómo se comporta el campo magnético en cualquier parte del mundo en una fecha específica ya sea de una fecha pasada o incluso, de una futura, siempre y cuando no se salga del rango de renovación de este modelo.

Es descrito mediante un modelo matemático, desarrollado a partir de observaciones en todo el mundo y cada 5 años se publica un nuevo modelo actualizado. (Peroni J., 2020).

**Metodología**

Se proporcionaron una serie de datos de dos levantamientos realizados en CU BUAP, en la cancha de usos múltiples, estos datos contenían las mediciones del campo magnético del terreno estudiado (ilustración 7).

Mapa

Descripción generada automáticamente

*Ilustración 2. Imagen satelital de la zona de estudio, Arena BUAP. (Tomado de Google Earth)​*

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente con confianza baja

*Ilustración 3. Configuración de las estaciones y electrodos*

Se utilizaron electrodos de corriente y a dos metros de estos, se hicieron las lecturas en 23 estaciones. Este tendido fue de 69 metros de longitud (ilustración 3). se hicieron dos tipos de mediciones: la primera con electrodos, pero sin inyección de corriente, la segunda con electrodos, pero en este caso ya hubo una inyección de corriente. Se obtuvieron tres lecturas en cada estación para cada tipo de medición de las cuales, se obtuvo un promedio. Se utilizó este promedio para hacer el correspondiente tratamiento de los datos e interpretación.

**Tasa de variación diurna y base-drift:**

Para llegar a la interpretación de los datos, se deben corregir las lecturas de las mediciones de los campos magnéticos tomadas en cada estación correspondiente. Para ello, se debe calcular la tasa de variación diurna, la cual es la lectura en la base 2 menos la lectura en la base 1 entre la diferencia de sus respectivos tiempos (ecuación 7). También se debe calcular la variación de la lectura, esto es, la lectura de la base menos la lectura 1(ecuación 8).

Texto

Descripción generada automáticamente

*Tasa de variación diurna(TVD). Ec. (7)*

*Variación de la Lectura de la Base en el i-nésimo loop (vuelta), también llamado Base-Drift. Ec. (8)*

Comentario:

En cada Loop hay que ir verificando cuál ha sido la variación de cada base con respecto a la base 1.

**Corrección diurna y Lectura corregida (Corrección aplicada):**

Después de obtener los dos parámetros anteriores, se calcula la corrección diurna de cada lectura, utilizando la ecuación 9. Esto es, multiplicando la TVD por la diferencia entre el tiempo observado en cada estación ( y el tiempo en la base que le corresponde a cada Loop (, más la base-drift (este proceso debe realizarse para los valores con corriente y sin corriente). Finalmente, se calcula la lectura corregida por variación diurna ( de cada estación utilizando la ecuación 10. Nuevamente lo aplicamos tanto para los datos con y sin corriente. *Lo anterior se muestra en las tablas 1 y 2.*

Una vez teniendo corregidos los valores del campo magnético, se ha en Matlab para observar el comportamiento del campo magnético en cada caso (ilustración 5).

Ec.9. Corrección diurna

Ec.10. Lectura corregida

**Valores con corriente:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Estacion​** | **Tiempo​** | **Tiempo en min​** | **Minutos​** | **Hora en minutos​** | **Lectura​** | **Base drift​** | **Correcion Diurna​** | **Corregido​** |
| B1​ | 11:33​ | 693​ | 33​ | 11​ | 40136.13​ | 0​ | 0​ | 40136.13​ |
| S1​ | 11:35​ | 695​ | 35​ | 11​ | 40081.07​ | 0​ | 0.275​ | 40080.795​ |
| S2​ | 11:37​ | 697​ | 37​ | 11​ | 40066.13​ | 0​ | 0.55​ | 40065.58​ |
| S3​ | 11:39​ | 699​ | 39​ | 11​ | 40046.93​ | 0​ | 0.825​ | 40046.105​ |
| S4​ | 11:40​ | 700​ | 40​ | 11​ | 40027.8​ | 0​ | 0.9625​ | 40026.8375​ |
| S5​ | 11:41​ | 701​ | 41​ | 11​ | 39983.6​ | 0​ | 1.1​ | 39982.5​ |
| S6​ | 11:43​ | 703​ | 43​ | 11​ | 39937.73​ | 0​ | 1.375​ | 39936.355​ |
| S7​ | 11:45​ | 705​ | 45​ | 11​ | 39878.47​ | 0​ | 1.65​ | 39876.82​ |
| S8​ | 11:46​ | 706​ | 46​ | 11​ | 39832.47​ | 0​ | 1.7875​ | 39830.6825​ |
| S9​ | 11:47​ | 707​ | 47​ | 11​ | 39796.13​ | 0​ | 1.925​ | 39794.205​ |
| S10​ | 11:48​ | 708​ | 48​ | 11​ | 39777.6​ | 0​ | 2.0625​ | 39775.5375​ |
| S11​ | 11:51​ | 711​ | 51​ | 11​ | 39761.2​ | 0​ | 2.475​ | 39758.725​ |
| S12​ | 11:52​ | 712​ | 52​ | 11​ | 39739.4​ | 0​ | 2.6125​ | 39736.7875​ |
| S13​ | 11:53​ | 713​ | 53​ | 11​ | 39760.27​ | 0​ | 2.75​ | 39757.52​ |
| S14​ | 11:54​ | 714​ | 54​ | 11​ | 39748.47​ | 0​ | 2.8875​ | 39745.5825​ |
| S15​ | 11:55​ | 715​ | 55​ | 11​ | 39744.2​ | 0​ | 3.025​ | 39741.175​ |
| S16​ | 11:57​ | 717​ | 57​ | 11​ | 39735.47​ | 0​ | 3.3​ | 39732.17​ |
| S17​ | 11:58​ | 718​ | 58​ | 11​ | 39714.4​ | 0​ | 3.4375​ | 39710.9625​ |
| S18​ | 11:59​ | 719​ | 59​ | 11​ | 39706.67​ | 0​ | 3.575​ | 39703.095​ |
| S19​ | 12:01​ | 721​ | 1​ | 12​ | 39676.67​ | 0​ | 3.85​ | 39672.82​ |
| S20​ | 12:02​ | 722​ | 2​ | 12​ | 35689.75​ | 0​ | 3.9875​ | 35685.7625​ |
| S21​ | 12:04​ | 724​ | 4​ | 12​ | 37987.5​ | 0​ | 4.2625​ | 37983.2375​ |
| B2​ | 12:06​ | 726​ | 6​ | 12​ | 40140.67​ | 4.54​ | 4.54​ | 40136.13​ |

*Tabla 1. Valores para corrección diurna y Lectura corregida*

**Valores sin corriente:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Estacion​ | Tiempo​ | Tiempo en min​ | Minutos​ | Hora en minutos​ | Lectura​ | Base drift​ | Correcion Diurna​ | Corregido​ |
| B1​ | 12:10​ | 730​ | 10​ | 12​ | 40141.33​ | 0​ | 0​ | 40141.33​ |
| S1​ | 12:10​ | 730​ | 10​ | 12​ | 40084.73​ | 0​ | 0​ | 40084.73​ |
| S2​ | 12:11​ | 731​ | 11​ | 12​ | 40069.2​ | 0​ | 0.463​ | 40068.737​ |
| S3​ | 12:12​ | 732​ | 12​ | 12​ | 40054.27​ | 0​ | 0.926​ | 40053.344​ |
| S4​ | 12:13​ | 733​ | 13​ | 12​ | 40032.13​ | 0​ | 1.389​ | 40030.741​ |
| S5​ | 12:13​ | 733​ | 13​ | 12​ | 39988.47​ | 0​ | 1.389​ | 39987.081​ |
| S6​ | 12:14​ | 734​ | 14​ | 12​ | 39938.8​ | 0​ | 1.852​ | 39936.948​ |
| S7​ | 12:15​ | 735​ | 15​ | 12​ | 39871​ | 0​ | 2.315​ | 39868.685​ |
| S8​ | 12:15​ | 735​ | 15​ | 12​ | 39834.07​ | 0​ | 2.315​ | 39831.755​ |
| S9​ | 12:16​ | 736​ | 16​ | 12​ | 39796.93​ | 0​ | 2.778​ | 39794.152​ |
| S10​ | 12:17​ | 737​ | 17​ | 12​ | 39777.93​ | 0​ | 3.241​ | 39774.689​ |
| S11​ | 12:18​ | 738​ | 18​ | 12​ | 39757.93​ | 0​ | 3.704​ | 39754.226​ |
| S12​ | 12:18​ | 738​ | 18​ | 12​ | 39748.2​ | 0​ | 3.704​ | 39744.496​ |
| S13​ | 12:19​ | 739​ | 19​ | 12​ | 39760​ | 0​ | 4.167​ | 39755.833​ |
| S14​ | 12:20​ | 740​ | 20​ | 12​ | 39758.27​ | 0​ | 4.63​ | 39753.64​ |
| S15​ | 12:21​ | 741​ | 21​ | 12​ | 39732.73​ | 0​ | 5.093​ | 39727.637​ |
| S16​ | 12:21​ | 741​ | 21​ | 12​ | 39734​ | 0​ | 5.093​ | 39728.907​ |
| S17​ | 12:22​ | 742​ | 22​ | 12​ | 39730.33​ | 0​ | 5.556​ | 39724.774​ |
| S18​ | 12:23​ | 743​ | 23​ | 12​ | 39722.67​ | 0​ | 6.019​ | 39716.651​ |
| S19​ | 12:23​ | 743​ | 23​ | 12​ | 39679.67​ | 0​ | 6.019​ | 39673.651​ |
| S20​ | 12:24​ | 744​ | 24​ | 12​ | 39629​ | 0​ | 6.482​ | 39622.518​ |
| S21​ | 12:25​ | 745​ | 25​ | 12​ | 38038.67​ | 0​ | 6.945​ | 38031.725​ |
| B2​ | 12:29​ | 749​ | 29​ | 12​ | 40150.13​ | 8.8​ | 8.797​ | 40141.333​ |

Tabla 2. *Valores para corrección diurna y Lectura corregida sin corriente*

**Cálculo de las anomalías de Hn y MMR:**

Utilizando las ecuciones 5 y 6 se calculan los parámetros Hn y MMR.

Antes de eso, se debe calcular el campo magnético background con ayuda de una calculadora magnética en una página del NOAA. El campo magnético Hbg que nos arrojó en la arena buap es de 39, 961.4 nT.

Lo anterior se hizo mediante la introducción de las coordenadas del lugar (ver Anexo 2). Teniendo este valor y con las lecturas corregidas se procedió a calcular las anomalías solo para los valores con corriente (tabla 3). Una vez teniendo estos valores se procedió a graficar estas anomalías (ilustraciones 6 y 7)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Estacion​** | **Distancia​** | **Hn​** | **MMR​** |
| B1​ | 3​ | 100.437247​ | 0.00437247​ |
| S1​ | 6​ | 100.298776​ | 0.00298776​ |
| S2​ | 9​ | 100.260702​ | 0.00260702​ |
| S3​ | 12​ | 100.211967​ | 0.00211967​ |
| S4​ | 15​ | 100.163752​ | 0.00163752​ |
| S5​ | 18​ | 100.052801​ | 0.00052801​ |
| S6​ | 21​ | 99.937327​ | -0.0006267​ |
| S7​ | 24​ | 99.7883458​ | -0.0021165​ |
| S8​ | 27​ | 99.6728906​ | -0.0032711​ |
| S9​ | 30​ | 99.5816088​ | -0.0041839​ |
| S10​ | 33​ | 99.5348949​ | -0.0046511​ |
| S11​ | 36​ | 99.4928231​ | -0.0050718​ |
| S12​ | 39​ | 99.4379263​ | -0.0056207​ |
| S13​ | 42​ | 99.4898077​ | -0.0051019​ |
| S14​ | 45​ | 99.4599351​ | -0.0054006​ |
| S15​ | 48​ | 99.4489057​ | -0.0055109​ |
| S16​ | 51​ | 99.4263714​ | -0.0057363​ |
| S17​ | 54​ | 99.3733015​ | -0.006267​ |
| S18​ | 57​ | 99.3536137​ | -0.0064639​ |
| S19​ | 60​ | 99.2778531​ | -0.0072215​ |
| S20​ | 63​ | 89.3005813​ | -0.1069942​ |
| S21​ | 66​ | 95.0498168​ | -0.0495018​ |
| B2​ | 69​ | 100.437247​ | 0.00437247​ |

*Tabla 3. Coeficientes de las anomalías Hn y MMR*

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, PowerPoint

Descripción generada automáticamente*Ilustración 4. Esquema del proceso para obtener la lectura corregida y los parámetros Hn y MMR (Esquema elaborado por el equipo).*

**Resultados**

Se observa que, la magnitud del campo magnético calculado a partir de datos donde se inyectó corriente es, menor al campo calculado en donde no se inyectó corriente. Recordemos que se crean dos campos H (primario y secundario), al crearse un campo primario, afecta los valores obtenidos en campo (altera) por lo que, se deben reducir los datos y al reducirlos, el campo H disminuirá de cierta forma. En un caso contrario donde no hay que hacer una reducción, la magnitud del campo magnético no disminuye de la misma forma.

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

Ilustración 5. Comparación de campos con corriente y sin corriente

Recordemos que la normalización del campo primario indica si existe una anomalía o no, valores mayores al 100% indican una estructura o cuerpo de interés. En este caso existe una ligera anomalía en la parte izquierda del gráfico, entre los 18 y 69 metro aproximadamente podemos decir que existe un cuerpo resistivo, y tan solo en los primeros 18 metros el parámetro Hn está por arriba del 100% por lo que indica que es una zona conductora.

*Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamenteIlustración 6. Anomalía Hn*

Por otro lado, el parámetro MMR es la variación del campo H observado respecto al campo geomagnético en el punto de adquisición, donde si MMR > 0 indica un flujo anómalo de corriente. En el gráfico se observa que en los primeros 18 metros la curva se alza por arriba del cero, y los metros restantes el comportamiento es por debajo del parámetro 0, indicando que gran parte del medio estudiado es una zona resistiva y solo los primeros metros hay presencia de una zona conductora.

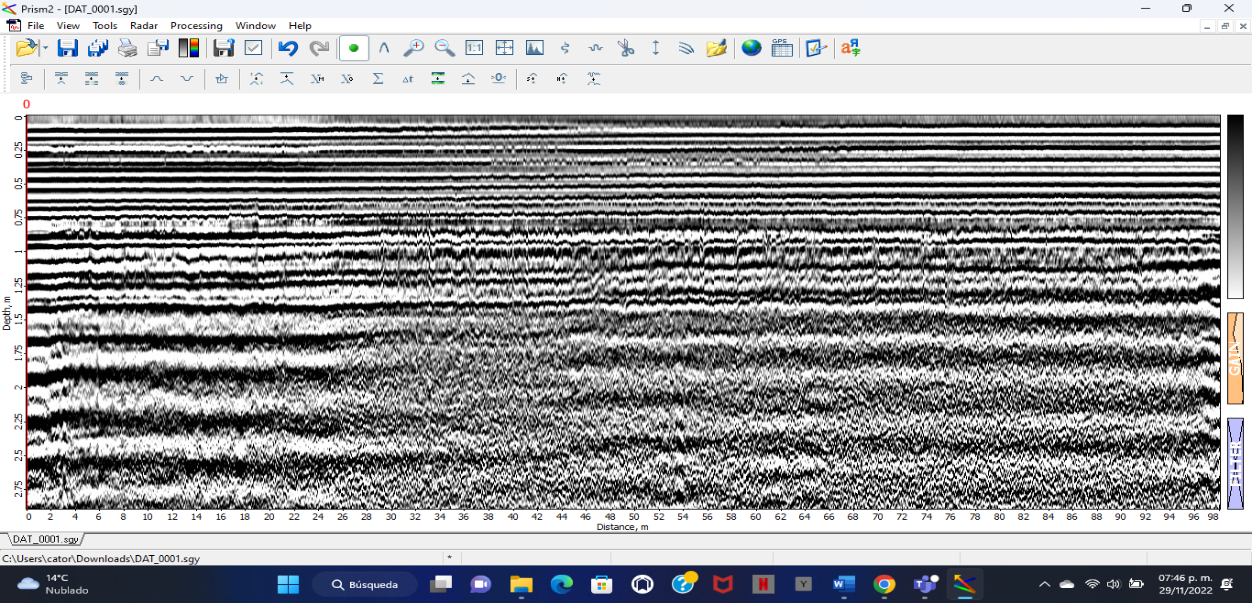
Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

*Ilustración 7. Anomalía del parámetro MMR*

**Radargrama**

Se nos proporcionó un radargrama levantado en el mismo perfil con la finalidad de complementar la información del MMR (ilustración 8), al cual se le aplicaron diferentes filtros (pasabajas, Ormsby, stacking entre otros).



*Ilustración 8. Radargrama con filtros*

En el radargrama se puede observar que efectivamente en los primeros 18-20 metros en la horizontal existen pequeñas perturbaciones las cuales indican que en el medio hay una estructura conductora, con el debido procesamiento se logró obtener un modelo el cual podemos asociarlo con una zona compuesta por gravas y arenas seca.

Geología de la zona:

Interfaz de usuario gráfica, Sitio web

Descripción generada automáticamente

Ilustración 9. Interpretación de la geología de la zona de estudio debido a los resultados obtenidos.​

**Conclusiones**

Nos encontramos en una zona neovolcánica compuesta principalmente por gravas y arenas.

Se concluyó que al inyectar corriente a nuestras mediciones de campo magnético disminuye ya que, el medio excita en cuestión, generando una anomalía magnética mayor. Por otra parte, el campo magnético es mayor cuando no hay corriente, cumpliendo los objetivos generales (en donde se deseaba encontrar una diferencia cuando se inyectabna o no corriente).

**Bibliografía**

Jessop M. y Jardani, A., (october 2018). Geophysical  Journal  International,  Magnetometric resistivity: a new approach and its application to the detection of preferential flow paths in mine waste rock dumps. Recuperado de: <https://doi.org/10.1093/gji/ggy275>

Jessop M. y Jardani M., (2018). Magnetometric resistivity: a new approach and its application to the detection of preferential flow paths in mine waste rock dumps. Recuperado de https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02324208/file/2018-GJI-MMR%20approach.pdf

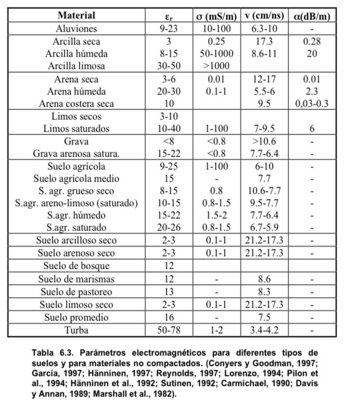
NOAA, (s.f.). Calculadoras de campo magnético. Recuperado de: https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm​

Peroni J., (2020). CHARLAS SEGEMAR: Magnetometría en la exploración regional. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=9B72or9Tjzk

R. Edwards y Nabighian M., (october 1978). SEG Lbrary, On the theory of magnetometric resistivity (MMR) methods. Recuperado de: https://library.seg.org/doi/10.1190/1.1440887#:~:text=The%20Magnetometric%20Resistivity%20(MMR)%20method,one%20or%20more%20grounded%

Sóstenes D., (1997). Inversión y modelado de campos eléctricos y magnéticos para números de inducción pequeños. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/312591613_Inversion_y_modelado_de_campos_electricos_y_magneticos_para_numeros_de_induccion_pequenos>​

**Anexos**



*Anexo 1. Parámetros electromagnéticos para diferentes tipos de suelos y para materiales no compactados. (Sóstenes D., 1997).*

*Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente*

*Anexo 2. Cálculo del campo magnético HBG. Fuente : https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?#igrfwmm*

**Códigos empleados en Matlab para los gráficos z, z y z:**

clear all; close all; clc;

HnY=xlsread('MMR.xlsx','C:C');

MMRY=xlsread('MMR.xlsx','E:E');

CC=xlsread('MMR.xlsx','F:F');

SC=xlsread('MMR.xlsx','G:G');

X=3:3:69;

figure (1)

hold on

plot(X,CC)

plot(X,SC)

grid on

title('Comparacion de campos')

xlabel('Distancia')

ylabel('Campo magnetico (nT)')

legend('Datos con corriente','Datos sin corriente')

figure (2)

plot(X,HnY)

grid on

title('Grafica del parametro Hn')

xlabel('Distancia')

ylabel('Parametro Hn')

figure (3)

plot(X,MMRY)

grid on

title('Grafica del parametro MMR')

xlabel('Distancia')

ylabel('Parametro MMR')