

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - LIRCAY**



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE LA PROSPECCIÓN
GEOFÍSICA – GEOELÉCTRICA EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO DEL
CERCO PERIMÉTRICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE
MINAS CIVIL AMBIENTAL–UNH”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GEOTECNIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. Guillermo ÑAHUI SALVATIERRA

BACH. Osman ÑAHUI SALVATIERRA

HUANCAMELICA – PERÚ

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(Creada por Ley N° 25265)
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL
AV. CENTENARIO N°1200 TELÉF. 952847104
LICENCIADA BAJO RESOLUCIÓN N° 086-2019-SUNEDU/CD
ACTA DE SUSTENTACIÓN

EN LA CIUDAD DE LIRCAY DEL DÍA 15 DE DICIEMBRE DEL 2020, SIENDO LAS 3:00 P.M.; EN CUMPLIMIENTO A LA **DIRECTIVA N° 001-VRAC-UNH**, APROBADO CON **RESOLUCIÓN N° 355-2020-CU-UNH (20/07/2020)**, MEDIANTE LA PLATAFORMA VIRTUAL MEET SE REUNIERON LOS MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADO CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD VIRTUAL N° 098 – 2020 – FIMCA – UNH (09/11/2020), CONFORMADO DE LA SIGUIENTE MANERA:

PRESIDENTE : MG. DEDICACIÓN MIGUEL MEDINA CHAMPE.
SECRETARIO : ING. ENRIQUE RIGOBERTO CAMAC OJEDA.
VOCAL : MG. FRANKLIN SURICHAQUI GUTIERREZ.

Y EN CUMPLIMIENTO A LA RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD VIRTUAL N° 107-2020-FIMCA-UNH, DE HORA Y FECHA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS TITULADO: **"EVALUACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA – GEOELÉCTRICA EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL – UNH"**.

CUYO AUTORES (EL) (LOS) GRADUADOS (S):

BACHILLER (S):

ÑAHUI SALVATIERRA GUILLERMO

ÑAHUI SALVATIERRA OSMAN

A FIN DE PROCEDER CON LA SUSTENTACION DE LA TESIS FINAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA

ACTO SEGUIDO SE INVITA A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL ABANDONAR LA PLATAFORMA DEL MEET POR UNOS MINUTOS PARA LA **DELIBERACIÓN DE LOS RESULTADOS**; LUEGO SE INVITÓ A PASAR NUEVAMENTE A LA PLATAFORMA DEL MEET A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL, EN LA QUE SE DA EL RESULTADO SIENDO **APROBADO POR MAYORÍA**, CULMINANDO A LAS 5:40 P.M.

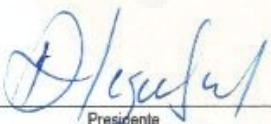
BACHILLER: ÑAHUI SALVATIERRA GUILLERMO

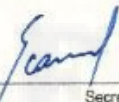
MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR MAYORÍA
SECRETARIO	
VOCAL	

BACHILLER: ÑAHUI SALVATIERRA OSMAN

MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR MAYORÍA
SECRETARIO	
VOCAL	

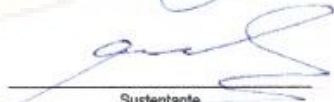
EN CONFORMIDAD A LO ACTUADO FIRMAMOS AL PIE DEL PRESENTE.

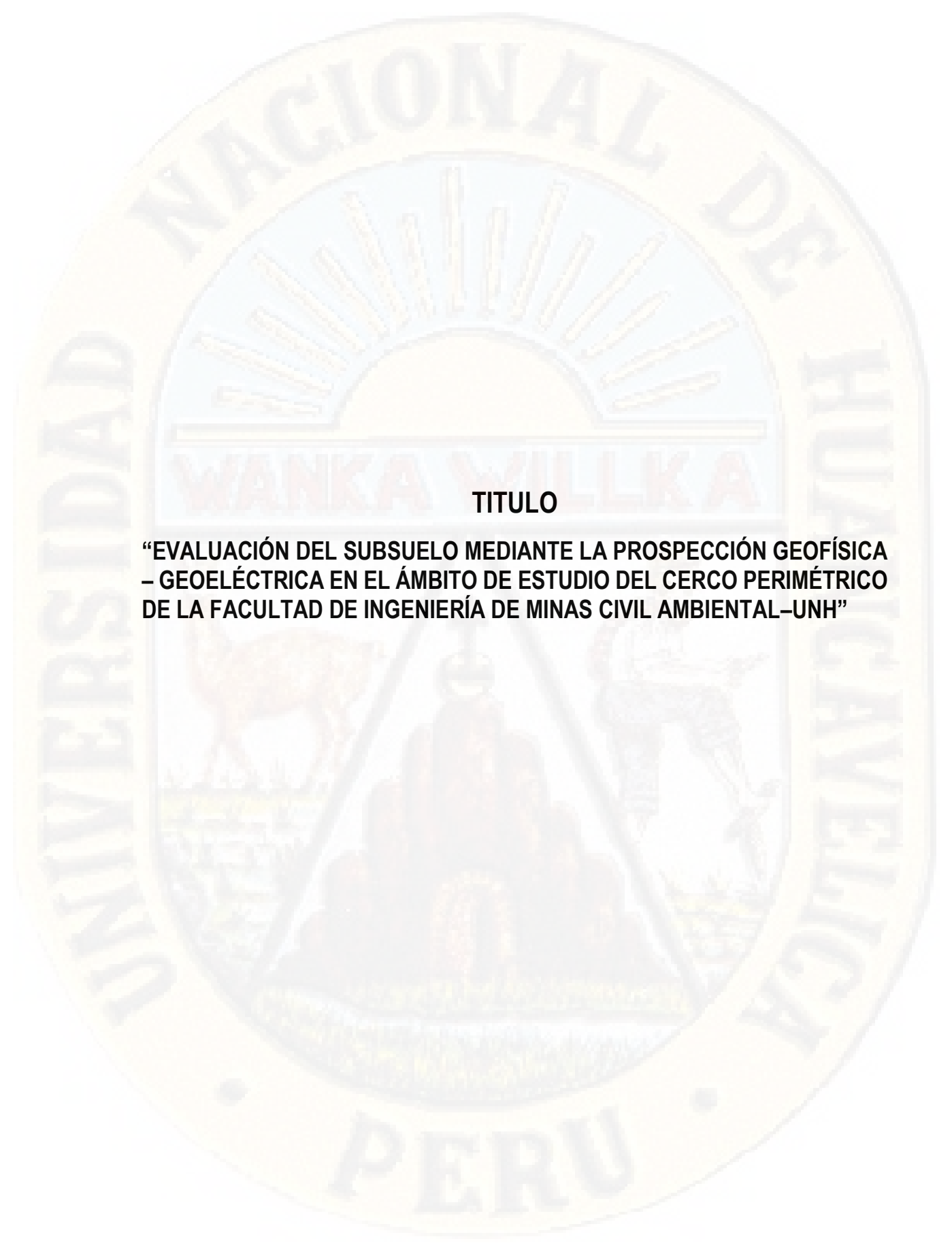

Presidente
MG. DEDICACIÓN MIGUEL MEDINA CHAMPE.


Secretario
ING. ENRIQUE RIGOBERTO CAMAC OJEDA.


Vocal
MG. FRANKLIN SURICHAQUI GUTIERREZ.

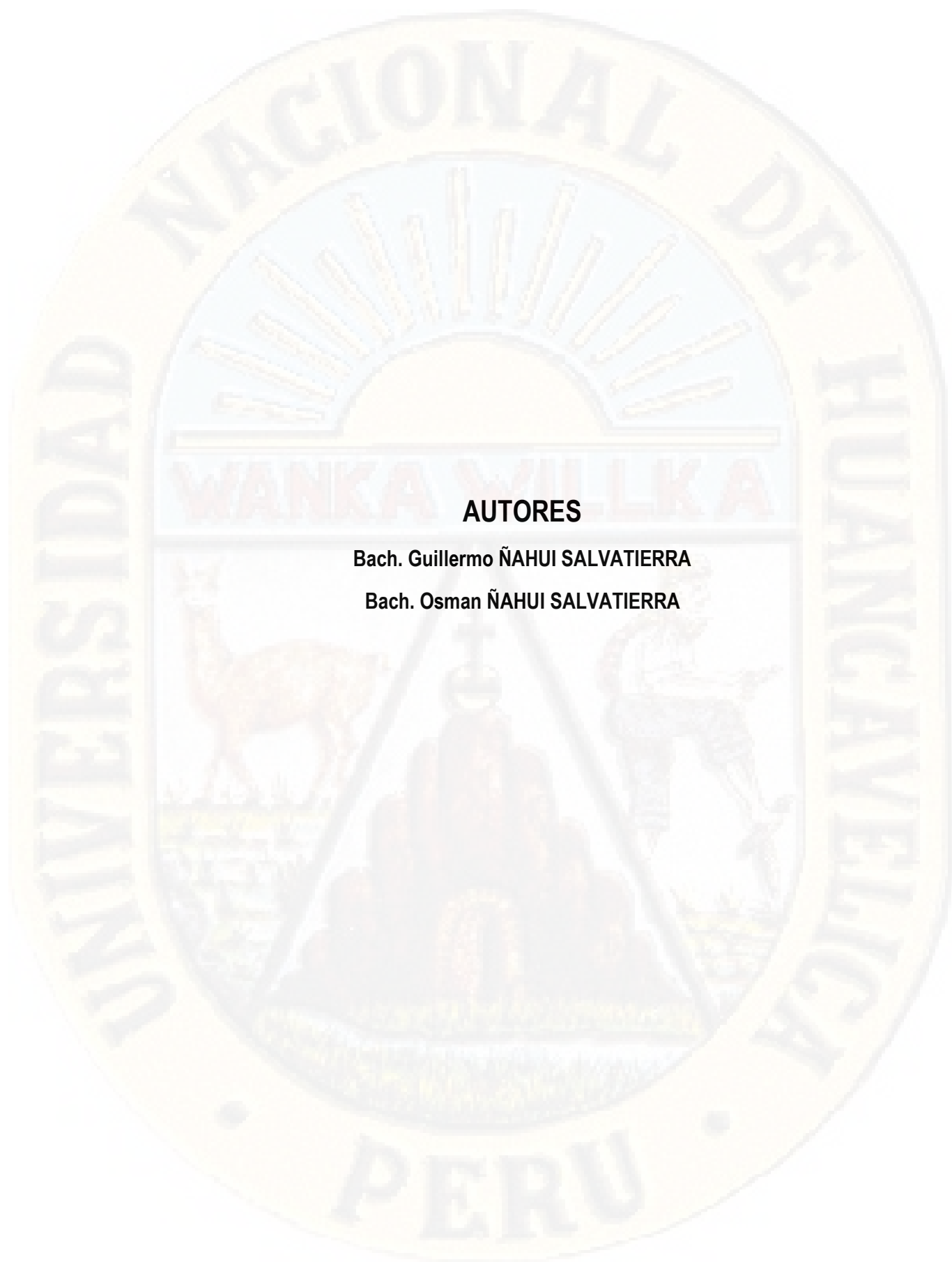

Sustentante
ÑAHUI SALVATIERRA GUILLERMO


Sustentante
ÑAHUI SALVATIERRA OSMAN



TITULO

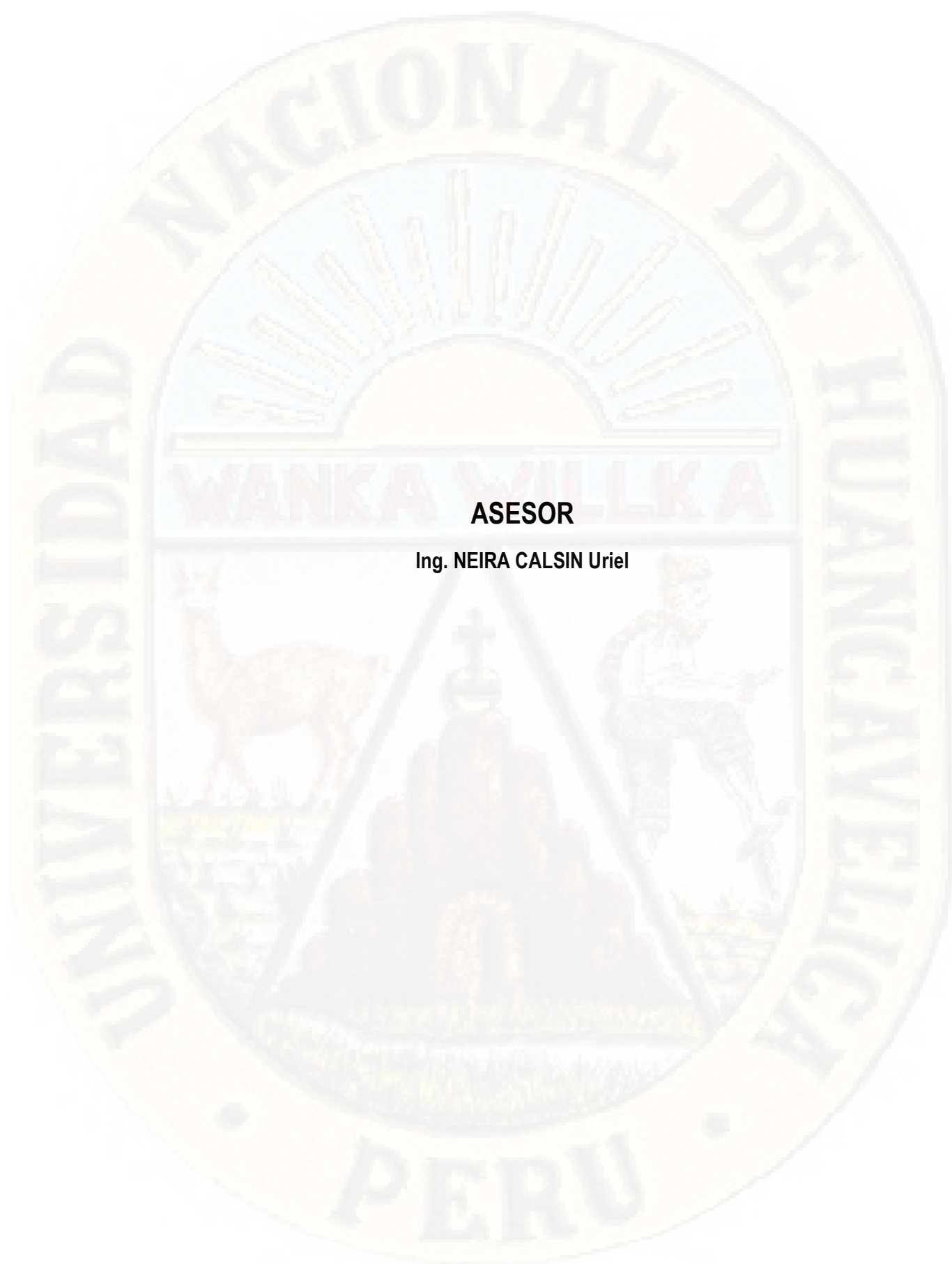
**“EVALUACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA
– GEOELÉCTRICA EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO DEL CERCO PERIMÉTRICO
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL–UNH”**



AUTORES

Bach. Guillermo ÑAHUI SALVATIERRA

Bach. Osman ÑAHUI SALVATIERRA



ASESOR

Ing. NEIRA CALSIN Uriel

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento:

A Dios, por mantenernos con buena salud, fortalecernos en los momentos más complicados durante la carrera universitaria y brindarnos experiencias, aprendizajes y amor que enriquecieron nuestras vidas.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, que nos acogió por 5 años durante nuestra formación y por permitirnos desarrollarnos como profesionales.

De manera especial, agradezco a mi asesor el Ing. Uriel Neira Calsin, quien nos brindó su apoyo durante la investigación y a mi hermano mayor Ing. Jerry por el apoyo moral y económico. Es gracias a ellos que se hizo efectivo la elaboración, ejecución y sustentación del presente proyecto de tesis.

Agradecemos al staff de catedráticos pertenecientes a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que nos dieron su apoyo incondicional y por transmitirnos conocimientos científicos en nuestra formación profesional para hacer de nosotros unos buenos profesionales y servir al pueblo huancavelicano.

A mis padres y hermanos por inculcarnos valores para hacer de nosotros buenos hijos, ciudadanos y buenos profesionales al servicio de nuestra nación; asimismo, por habernos forjado a seguir una carrera tan hermosa como lo es la ingeniería.

Y finalmente, a todos mis amigos quienes durante estos cinco años de carrera universitaria fueron testigos de este logro.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
ACTA DE SUSTENTACION	ii
TITULO.....	iii
AUTORES.....	iv
ASESOR.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
TABLA DE CUADROS	viii
TABLA DE FIGURAS	ix
TABLA DE GRAFICAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1	FORMULACIÓN DEL GENERAL.....	15
1.2.2	FORMULACIÓN DEL ESPECIFICO.....	16
1.3.	OBJETIVOS.....	16
1.3.1	OBJETIVOS GENERAL.....	16
1.3.2	OBJETIVOS ESPECIFICO.....	16
1.4.	JUSTIFICACIÓN	17

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	ANTECEDENTES.....	19
2.1.1	ANTECEDENTES INTERNACIONAL.....	19
2.1.2	ANTECEDENTES NACIONAL	21
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	23
2.2.1	SUBSUELO	23
2.2.2	EXPLORACION DEL SUBSUELO.....	23
2.2.3	PROGRAMA DE EXPLORACION DEL SUBSUELO	24
2.2.4	LITOLOGIA DEL SUBSUELO	25
2.2.5	SUELOS CONCEPTO LITOLOGICO.....	26

2.2.6	SUMIDEROS.....	28
2.2.7	ROCAS CONCEPTO LITOLOGICO	31
2.2.8	NIVEL FREATICO	33
2.2.9	GEOFISICA	37
2.2.10	DISPOSITIVO ELECTRODICO.....	55
2.2.11	TEORIA DE LA TOMOGRAFIA ELECTRICA	62
2.3.	HIPOTESIS.....	76
2.3.1	HIPOTESIS GENERAL.....	76
2.3.2	HIPOTESIS ESPECIFICAS	76
2.4.	DEFINICION DE TERMINOS	76
2.5.	DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES.....	81
2.5.1	VARIABLES GENERAL.....	81
2.5.2	VARIABLE ESPECIFICAS	81

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	82
3.2.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	83
3.3.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	83
3.4.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	84
3.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	85
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	87
3.7.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	88

CAPITULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	PRESENTACIÓN DE DATOS	91
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES.....	114
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	115
	ANEXOS.....	116

TABLA DE CONTENIDO DE CUADROS

Tabla N° 01. Resistividad eléctrica de la estratigrafía del tipo de material	43
Tabla N° 02. Dispositivos electródicos por factores geométricos	53
Tabla N° 03. Dispositivo electrodico de investigación (ze/a, ze/l)	54
Tabla N° 04. Ventajas y desventajas de los dispositivos electródicos	56
Tabla N° 05. Descripción del material a través de su resistividad.	79
Tabla N° 06. Coordenadas de los de Sondaje Eléctrico Vertical (SEV).....	86
Tabla N° 07 - 1. Parametros geologicos - SEV	90
Tabla N° 07 - 2. Parametros geologicos - SEV	90

TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Dolina de origen humano	30
Figura 2. Dolina de origen natural	31
Figura 3. Nivel Freático Del Subsuelo.....	34
Figura 4. Nivel FreáticoDel Subsuelo profundo	35
Figura 5. Medición del nivel freático.....	36
Figura 6. Resistividad eléctrica potencialde un factor geométrico.....	40
Figura 7. Vectores densidad de corriente en semiespacio homogéneo	49
Figura 8. Representación de la configuración de campo en la superficie.....	50
Figura 9. Representación de la configuración de campo del SEV.....	58
Figura 10. Representación de la muestra la forma de operación de la Calicata	59
Figura 11. Representación de la Pseudosección del Dispositivo Wenner-Schlumberger	60
Figura 12. Resultados del perfil 3, se muestran.....	63
Figura 13. Acoplamiento capacitivo entre los electrodos	69
Figura 14. Configuración de campo del equipo OhmMapper TR5.....	71
Figura 15. puntos seleccionado para la toma de muestra.....	86
Figura 16. Configuración de electrodos para un estudio 2D	89

TABLA DE CONTENIDO DE GRAFICAS

Resultado de la prospección del subsuelo sev n°01	92
Resultado de la prospección del subsuelo sev n°02	98
Resultado de la prospección del subsuelo sev n°03	103
Resultado de la prospección del subsuelo sev n°03	108

RESUMEN

Esta investigación está enfocada en el estudio de prospección geofísica, la cual está caracterizada por estudiar las variaciones de parámetros físicos de las rocas, sumideros presentes, y nivel freático de los suelos, de la cual se estudió en el subsuelo del cerco perimétrico presente en la Facultad de Ingeniería de Minas Civil-Ambiental (FIMCA) con el objetivo de evaluar la prospección geofísica – geoeléctrica de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH). Esta zona presenta efectos de hundimiento de suelos y fallas geológicas catalogadas anteriormente por estudios realizados por los docentes que trabajan en la facultad. Por ello, se decidió evaluar el subsuelo del cerco perimétrico de la facultad al tener para el desarrollo de los ensayos correspondientes, el análisis de prospección geofísica – geoeléctrica tiene como fin de evaluar zonas potencialmente riesgosas.

El estudio se efectuó en cuatro perfiles (representación de la simulación de la prospección del subsuelo en condiciones humedad y secas), donde se describe la topografía subterránea con imágenes de resistividad eléctrica en relación con las propiedades del medio. Asimismo, estas imágenes están basadas en caracterizaciones subterráneas a profundidades adecuadas por el método de diferencias finitas expresado en el algoritmo de Loke y Barker y utilizando el paquete informático RES2DINV. Para el ensayo se empleó como instrumento el resistivímetro, una laptop para el procesamiento in situ y electrodos con suministros para el extendido de la prospección geofísica – geoeléctrica suministros proveniente de la empresa fabricante AEMC 6471 - Resistance Tester Kit with Clamps - 300ft.

Palabras clave: exploración, subsuelo, cerco perimétrico, resistividad eléctrica, prospección geofísica, sondeo eléctrico vertical (SEV).

ABSTRACT

This research has focused on the study of geophysical prospecting, characterized by studying the variations of physical parameters of the rocks, present sinks, and groundwater of the soils, it was studied in the subsoil of the perimeter fence present in the Faculty of Civil-Environmental Mining Engineering (FIMCA) where the objective was evaluating the geophysical - geoelectric prospecting of Universidad Nacional de Huancavelica (UNH). This area presents effects of subsidence of soils and geological faults previously cataloged by studies carried out by teachers who take part of the faculty. That was the reason, so it was decided to evaluate the subsoil located at the perimeter fence of the faculty by having, to develop the test, the geophysical-geoelectric prospecting analysis has the purpose of evaluating potentially risky areas.

This research was carried out in four profiles as a representation of the simulation of the subsoil prospecting in wet and dry conditions, where the underground topography is described with images of electrical resistivity related to the properties of the medium. Furthermore, these images are based on underground characterizations at suitable depths by the finite difference method (Loke and Barker algorithm) using the RES2DINV software package. The test used as an instrument the resistivimeter, a laptop for in-situ processing and electrodes with supplies for the spread of geophysical prospecting - geoelectric supplies from the manufacturer company AEMC 6471 - Resistance Tester Kit with Clamps - 300ft.

Keywords: exploration, subsurface, perimeter fence, electrical resistivity, geophysical prospecting, vertical electrical sounding (SEV).

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Huancavelica está situada en una zona lacustre, está compuesta por diferentes características y estructuras geológicas con diferentes niveles de compactación y está vinculada básicamente a la geomorfología y geología; además, está formada por tres tipos de depósitos, los cuales fueron de largo, de lomas y de transición.

En la ciudad de Lircay perteneciente a la provincia de Angaraes, el comportamiento de las arcillas del suelo no es uniforme; debido a un conjunto de causas relacionadas con el cambio climático, el uso de diversos materiales de relleno, así como las fallas geológicas, entre otras causas, las mismas que, provocan presión de arenas y materiales sedimentarios que al estar mal compactados generan agrietamientos, hundimientos, en el peor de los casos, producen deslizamientos sobre su superficie.

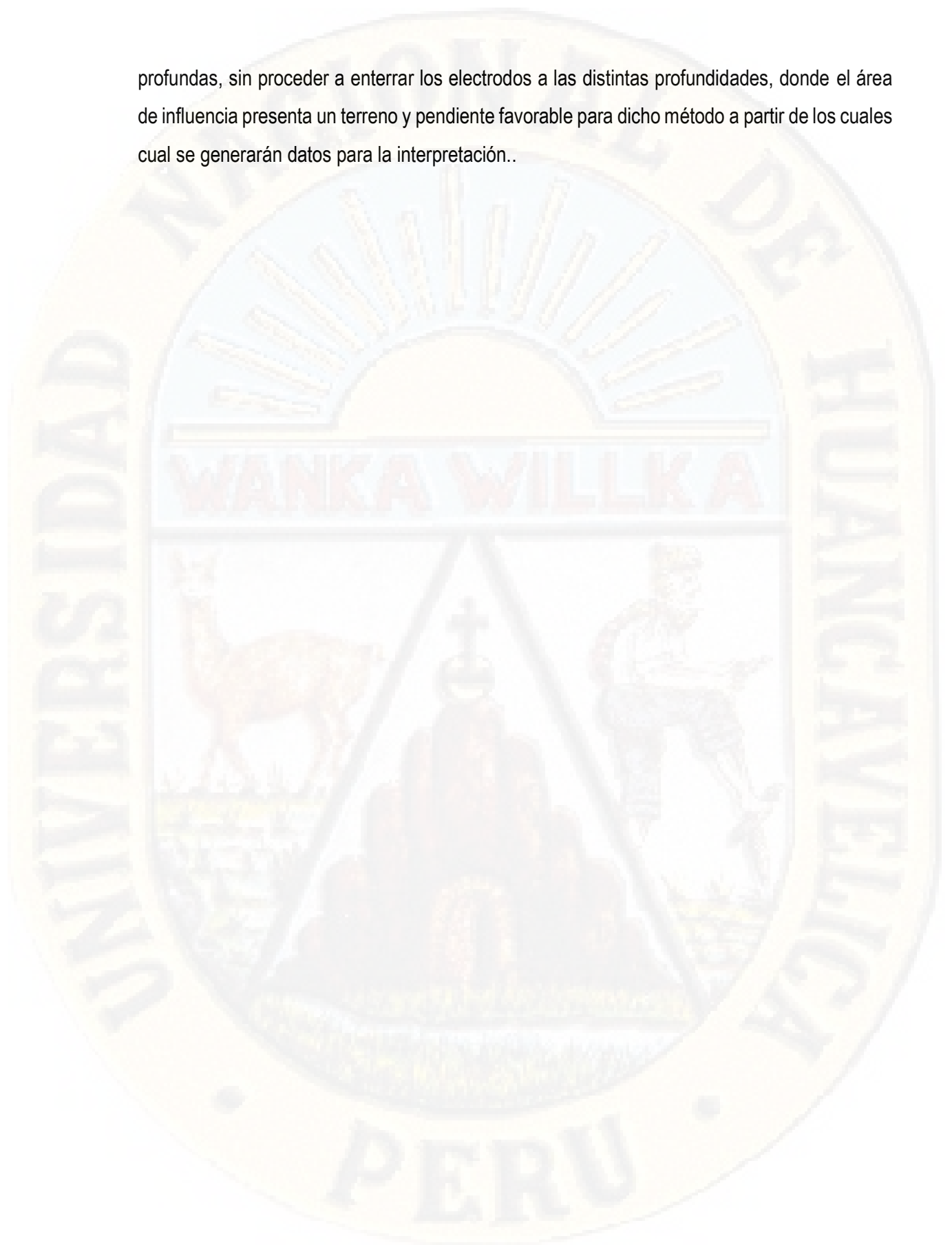
Recientemente, se ha evidenciado agrietamientos y hundimientos de terreno en la ciudad de Lircay, afectando la infraestructura urbana con la pérdida de bienes, los cuales se encuentran ubicados en zonas inestables o áreas susceptibles a colapsos. Como en el caso de Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), específicamente en la Facultad de Ingeniería de Minas Civil – Ambiental, donde se evidencia un evento habitual de hundimiento de suelos presentes en el cerco perimétrico de lo cual es un fenómeno que no tuvo un estudio adecuado y tratamiento de mejoramiento de suelos ante este afecto natural que sucede en la facultad.

El objetivo de estudio es determinar el comportamiento del subsuelo para obtener registros de análisis mediante la prospección geofísica – geoelectrica que presenta el cerco perimétrico de la facultad menciona con anterioridad mediante la evaluación del subsuelo nos ayudara a coadyuvar a una mejor determinación y evaluación del subsuelo que presenta el cerco.

Los sondeos se efectuaron con un equipo de Ohmetro de tierra y de resistividad modelo Chauvin Amoux C.A C.A 6471 con la calibración N° 154311 – 2019. Asimismo, para la interpretación geofísica de los sondeos eléctricos verticales se utilizó los softwares para S.E.V. (ipi2win, r2dinv32 y wsm9.1).

Para el presente estudio se empleó el método Schlumberger-Wenner, al ser el considerado como el más preciso y popular; mediante el cual se obtiene la resistividad del suelo en capas

profundas, sin proceder a enterrar los electrodos a las distintas profundidades, donde el área de influencia presenta un terreno y pendiente favorable para dicho método a partir de los cuales cual se generarán datos para la interpretación..



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los estudios geofísicos han sido aplicados en distintas investigaciones geotécnicas en años, con fines de prevención y análisis de la caracterización del subsuelo; por ello, la geofísica se aplica como complemento continuo en estudios geotécnicos para obtener información detallada del subsuelo. En la actualidad los métodos eléctricos y electromagnéticos están siendo utilizados como complemento en los estudios de investigación en diferentes áreas de la ingeniería. Sin embargo, cabe resaltar que son la Ingeniería Geotécnica e Ingeniería Civil las que están actualmente ligadas a la precisión y resolución de resultados geofísicos mediante imágenes de resistividad o tomografía eléctrica. Muchas de las exploraciones geofísicas en el área de la ingeniería geotécnica se realizan con fines de complementar estudios para nuevas construcciones, ampliaciones de edificaciones y/o remodelación de grandes proyectos (Flores, 1995).

En el Perú, las investigaciones geofísicas por los métodos de Resistividad – geoelectrica demandan un menor costo y tiempo en proyectos de Ingeniería Geotécnica, mediante el análisis e interpretación de imágenes de tomografía eléctrica con respuesta de comportamiento del subsuelo. Como también se han realizado infinidad de ensayos geofísicos tanto en Costa, Sierra y Selva Peruana, es decir, en suelos y/o zonas desérticas, rocosas, bofedales y zonas sobre aguas dulces (ríos), obteniendo diferentes resultados para cada tipo de suelo. No obstante, son pocos los

Estudios que se han realizado en zonas de alto peligro y vulnerabilidad de riesgos, tomando en cuenta fenómenos naturales como hundimientos de tierra, fallas geológicas, aguas subterráneas, suelos inestables, etc.

De cierta manera se plantea un desafío en la determinación de la caracterización del subsuelo para obtener registros de análisis mediante la prospección geofísica – geoelectrica que presenta el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH, teniendo los aspectos de fenómenos naturales presentes y con antecedentes geológicos en el distrito de Lircay de la provincia de Angaraes – Huancavelica; ya que, se deben realizar mediciones directamente de estudio geofísico – geoelectrica para obtener resultados 2D de tomografía eléctrica y obtener una interpretación de la caracterización del subsuelo en el área de estudio mencionado.

Ahiezer Alarcón Barradas menciona en el capítulo III que el tratamiento del problema se realizó con una Tomografía Eléctrica Resistiva en dos dimensiones (TER 2D), desarrollada en el lugar durante el mes de noviembre del 2009, con configuración electrónica Wenner y Schlumberger. Se obtiene una imagen de la distribución de resistividad del subsuelo, mediante los programas de inversión RES2DINV (Loke y Barker, 1996), y el programa RESIST 6 Multielectrodo CICESE. Debido a esta caracterización de análisis por parte del investigadores, se consideró el uso de los softwares aplicables a la tomografía eléctrica tales como RES2DINV y Ipi2Win, para el desarrollo del proyecto de tesis que nos permite determinar y evaluar la caracterización del subsuelo en relación a la corriente eléctrica, de lo cual nos lleva a desarrollar la prospección geofísica con el método de exploración geoelectrica (Pérez et al. 2001).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué exploración presenta el subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?

1.2.2.PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ❖ ¿Cuáles son las características litológicas del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?
- ❖ ¿Cuál es la profundidad del nivel freático mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?
- ❖ ¿Cuáles son los sumideros existentes identificados mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?
- ❖ ¿Cuál es la roca firme o suelos compactos identificados mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1.OBJETIVO GENERAL

Determinar la exploración del subsuelo mediante de la prospección geofísica – geoelectrica en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.

1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar las características litológicas del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.
- ❖ Identificar la profundidad del nivel freático mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.

- ❖ Identificar los sumideros existentes mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.
- ❖ Identificar la roca firme o suelos compactos mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.

1.4. JUSTIFICACIÓN

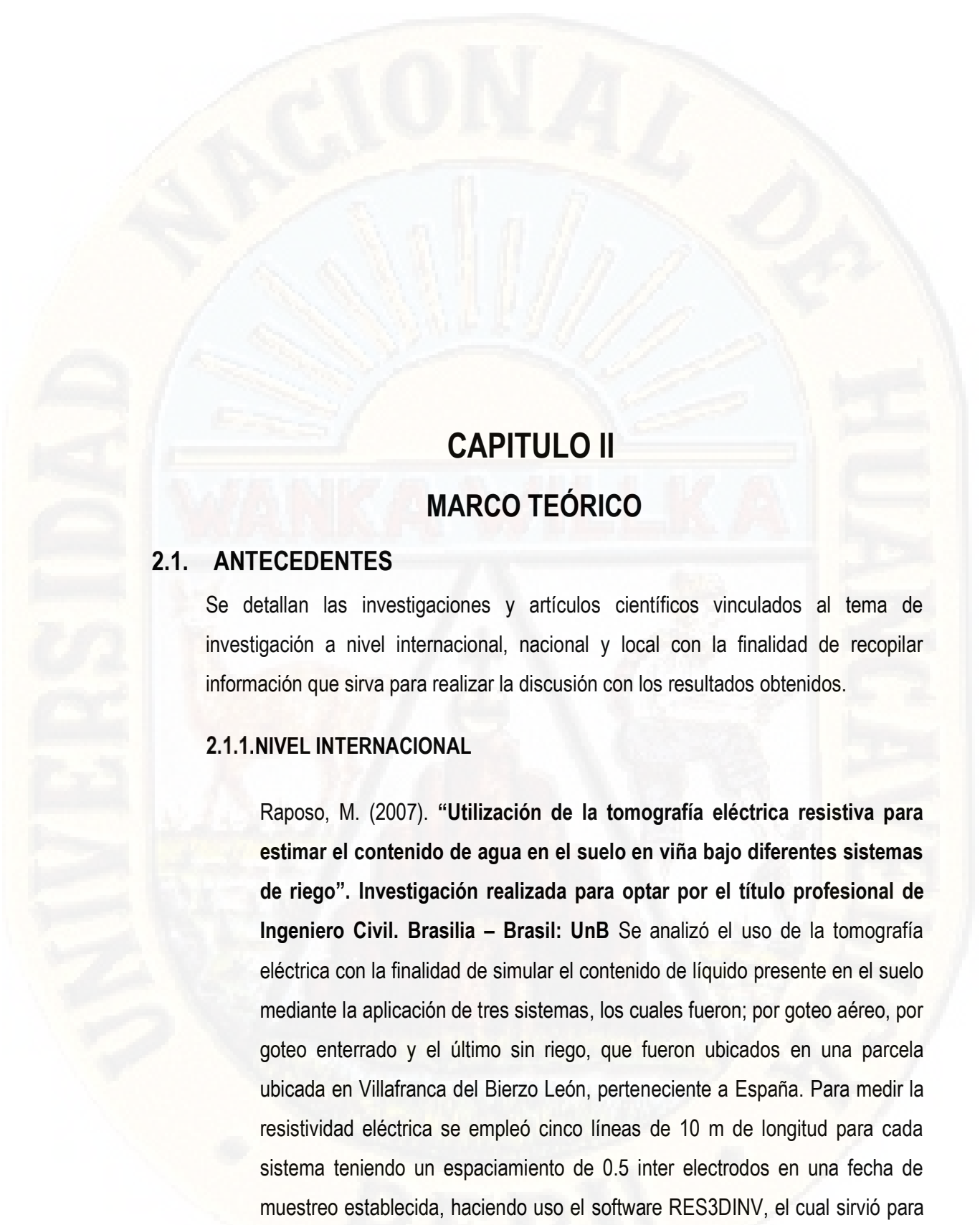
La ciudad de Lircay cuenta con registros de fenómenos que hasta la fecha han ocurrido en los barrios Pueblo Viejo, Pueblo Nuevo y Bellavista tales como agrietamientos y hundimientos en el terreno. Estos fenómenos han afectado a la infraestructura urbana, teniendo como consecuencias la pérdida de bienes ubicados zonas inestables o áreas susceptibles a colapsos. Existen ejemplos donde en los últimos tiempos han sucedido fenómenos de hundimientos de terrenos como los ubicados en el barrio de Pueblo Nuevo, donde hasta la fecha existen puntos de hundimientos de terrenos. Además, se evidencian en la ciudad universitaria de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y otro acontecimiento se ubica en el Parque de Santa Rosa, losa deportiva de la Pampa y fenómenos de hundimiento de vías en el barrio de Bellavista en el terminal terrestre de Lircay.

La prospección geofísica – geoelectrica del subsuelo es una de las ciencias que comprende el estudio e investigación de los fenómenos que se relacionan a la estructura. Es relevante estos estudios para el distrito de Lircay; de esta forma, obtener información y caracterizar las zonas vulnerables susceptibles a colapso.

En la elección del área de influencia de la investigación se optó por áreas libres que no presenten anomalías. El estudio consta de cuatro perfiles a lo largo de un perímetro de aproximadamente 444 m ubicado en la ciudad universitaria sede Lircay de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental. A través de la exploración del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica, este método mide las propiedades físicas-mecánicas del subsuelo con el ensayo de la resistividad eléctrica obtenida con un resistivímetro de extensión vertical de 90 m aproximadamente

(AEMC 6471 – R.T.K.C. - 300ft) y el método de dispositivo Wenner-Schlumberger para el sondaje eléctrico vertical (SEV).





CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Se detallan las investigaciones y artículos científicos vinculados al tema de investigación a nivel internacional, nacional y local con la finalidad de recopilar información que sirva para realizar la discusión con los resultados obtenidos.

2.1.1. NIVEL INTERNACIONAL

Raposo, M. (2007). **“Utilización de la tomografía eléctrica resistiva para estimar el contenido de agua en el suelo en viña bajo diferentes sistemas de riego”**. Investigación realizada para optar por el título profesional de Ingeniero Civil. Brasilia – Brasil: UnB Se analizó el uso de la tomografía eléctrica con la finalidad de simular el contenido de líquido presente en el suelo mediante la aplicación de tres sistemas, los cuales fueron; por goteo aéreo, por goteo enterrado y el último sin riego, que fueron ubicados en una parcela ubicada en Villafranca del Bierzo León, perteneciente a España. Para medir la resistividad eléctrica se empleó cinco líneas de 10 m de longitud para cada sistema teniendo un espaciamiento de 0.5 inter electrodos en una fecha de muestreo establecida, haciendo uso el software RES3DINV, el cual sirvió para la inversión de la base de datos como parte la estimación de la resistividad eléctrica aparente. De esta forma, compactándose la base de datos de

resistividad eléctrica luego de haberse aplicado la inversión con las humedades obtenidas con el TDR. La información obtenida fue analizada para luego ser ajustada a las ecuaciones matemáticas de Rhoades y Archie que representan las relaciones entre humedad y resistividad eléctrica del suelo. Se concluyó que, existió un mal ajuste de la base de datos a las ecuaciones matemáticas de Archie y Rhoades en rangos obtenidos de humedad y resistividad eléctrica.

Ramírez, M. (2010). **“Caracterización de fallas y fracturas mediante tomografía eléctrica utilizando electrodos de acoplamiento capacitivo”**. Estudio para obtener el título profesional en ingeniería civil. Ciudad de México – México: UNAM. El objetivo fue evaluar el resultado geoelectrico del lugar establecido ubicado en la ciudad de México. Se evidenció efectos de subsidencia y se indagó el subsuelo de la zona con la finalidad que encuentren estructuras con altos niveles de riesgo. De modo que, la caracterización se realizó en cinco perfiles evidenciándose las diferencias de la resistividad eléctrica relacionadas con las propiedades del medio. Los resultados indicaron que las imágenes de resistividad se obtuvieron al aplicar el método de diferencias finitas empleando el paquete RES2DINV y al usar un resistivímetro de electrodos de acoplamiento capacitivo, el cual fue creado por la empresa Geometrics. Se obtuvo un nivel en un rango de 0-5 m con la variación en la resistividad eléctrica causada por tubificación en la extracción de líquido. La heterogeneidad del terreno genera la subsidencia de materiales; asimismo la zona se compone de un área con un alto porcentaje de arcillas e intercalaciones de arena y limo a causa de la actividad geológica.

Fazzito, S. (2011). **“Estudios geofísicos aplicados a la neotectónica de la falla El Tigre, precordillera de San Juan”**. Investigación efectuada para obtener el título profesional de ingeniero civil. Buenos Aires - Argentina: UBA. Se analizó los rasgos estructurales en la Precordillera Centro- Occidental de San Juan, caracterizando la estructura, la cinemática y la deformación de esta zona, la cual presenta actividad neotectónica, en específico, en la falla El Tigre que evidencia un deslizamiento oblicuo. Al aplicar y desarrollar métodos geofísicos a la par de los geológicos como el análisis estructural, estratigráfico y

geomórfico permiten la ampliación de la información y el conocimiento de la zona. Se utilizó métodos geofísicos como el Paleomagnetismo, la Tomografía Eléctrica Resistiva somera en 2D; además de la Anisotropía de Susceptibilidad Magnética en las zonas afectadas por la falla. Por tanto, se identificó las discontinuidades en la traza y geoformas relacionadas con la falla; además, se reconoció las estructuras oblicuas, se determinó las curvaturas menores y mayores de la traza. Asimismo, se evaluó la actividad de la falla en el tiempo.

2.1.2. NIVEL NACIONAL

López, Y. (2016). **“Ensayos geofísicos para la exploración de suelos en estructuras patrimoniales”**. Estudio realizado para obtener el título profesional en ingeniería civil. Lima – Perú: PUCP. La investigación se realizó en suelos de estructuras patrimoniales que requirieron la aplicación de técnicas no destructivas y permitan la exploración del suelo; además de, la evaluación de las propiedades sin provocar daños ni modificar el suelo. Los métodos geofísicos cumplen con los estándares que permiten la investigación de los suelos, siendo en su mayoría no destructivos. El objetivo fue comprender y aplicar los métodos geofísicos bajo fines geotécnicos, los cuales fueron empleados en la exploración de las estructuras; se utilizó los equipos disponibles en la universidad. Además, utilizaron como métodos geofísicos la refracción sísmica y cociente espectral y el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW). Se especifica el método MASW, al ser el más complejo en el análisis. Asimismo, se describió las características de los equipos utilizados junto con la metodología empleada en recolección, procesamiento y análisis de información; finalmente la discusión de resultados. Dentro de los casos, el primero se llevó a cabo en el Complejo Arqueológico de Huaca de la Luna que se encuentra ubicado en Trujillo, aquí se utilizó tanto el ensayo de MASW como el de refracción sísmica. Además, del ensayo de SCPTu como técnica que muestre la asociación de los resultados obtenidos de velocidad de corte. Los ensayos geotécnicos se realizaron junto con la revisión de la geológica de zona escogida que permitió contrastar la eficiencia en los resultados; de esta forma, una mejor simulación del perfil estratigráfico.

Zenteno, E. (2017). **“Evaluación geofísica mediante sondeos electromagnéticos transitorios de la formación Zapallal en la cuenca del Río Piura”**. Investigación realizada para obtener el título profesional de ingeniero civil. Piura – Perú: UNP. El objetivo fue realizar una evaluación geofísica utilizando sondeos electromagnéticos transitorios presentes en la formación Zapallal, la cual se ubica en la cuenca del río Piura Zenteno Tupiño. Mediante el uso del método eléctrico del sondeo electromagnético transitorio se realizó la prospección geofísica en la cuenca del río. El entorno de la investigación se caracterizó por la presencia de gran cantidad de pampas eriazas junto con la gran posibilidad de encontrar acuíferos. Los resultados indicaron que la zona cuenta con condiciones geoelectricas buenas para la captación de acuíferos.

Castillo, F. (2017). **“Estudio geofísico para la exploración de agua subterránea en el Fundo Buselcat Asia – Cañete, Lima”**. Estudio realizado para obtener el título profesional en ingeniería civil. Arequipa – Perú: UNSA. Mediante la estratigrafía uniforme en el fundo, los resultados de cargabilidad y resistividad, la cual estaba diferenciada por los diferentes grados de compactación; donde en las zonas de arcilla/arena se encontraron resistividades bajas en la superficie obteniendo valores promedio a 50 Ohm-m. Se identificaron cinco horizontes definidos al emplear los SEVs, en los SEV 01 y 03, el nivel de humedad se alcanzó a una profundidad de 26.5 m. Mientras que, en el SEV 02, el nivel de resistividad fue alto a una profundidad de 11.5 m con presencia de arcillas secas o de macizo rocoso. Además, como complemento se emplea el método de prospección magnética que identificó dos contactos regionales que se ubicaron al sur y al norte de la zona con un NW-SE, no se evidenció presencia de mineralización. En relación al modelo de inversión en 3D de susceptibilidad magnética se presentó una estratigrafía que indicó la presencia de agua subterránea con valores entre 0.0017 a 0.0022cgs, relacionados con los resultados hallados de resistividad. Asimismo, en la zona se encontraron canteras de arcilla y al sur terrenos agrícolas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1.SUBSUELO

Según Pulgar (1998) el subsuelo es lo que se ubica debajo de la superficie de la Tierra; de forma que, conforma un espacio inmediatamente posterior a la superficie en relación a las capas geológicas que presenta el planeta. De acuerdo con su etimología, el subsuelo es lo que se encuentra por debajo del suelo y dependiendo de la región a la que se hace referencia, el subsuelo puede encontrarse en estado más o menos natural; en otros casos, con una mayor o menor transformación por la acción del hombre.

El subsuelo es considerado como una sección geológica de la Tierra cuyo acceso visual es limitado; de forma que, se dificulta el reconocimiento de las características esenciales, lo que no le resta importancia en su estudio por su visibilidad. Contrario a ello, el subsuelo es un espacio donde suceden relaciones y fenómenos necesarios para la vida (J.A. Pulgar, 1998).

2.2.2.EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Pulgar (1998) menciona que la exploración del suelo es un proceso que permite identificar las propiedades o los estratos almacenados subyacentes a la estructura; además de las características físicas permitiendo disponer de información que permita:

- Identificación de la litología del suelo.
- Evaluación de la capacidad de carga del subsuelo.
- Identificación de hundimientos de tierra o dolina
- Determinación de los probables problemas presentes en suelo tales como un suelo colapsable o expansivo, un relleno sanitario, entre otros.
- Determinación de la posición del nivel del agua o del nivel freático.
- Predicción de la presión lateral ejercida por la tierra a las diferentes estructuras como en los muros de contención, las tabla estacas, o en el caso de cortes apuntalados.
- Disponer de métodos de construcción que se adecuen a las condiciones cambiantes del subsuelo.

Para realizar construcciones y excavaciones es necesario realizar la exploración del subsuelo; además, con posibilidad de ser requerida para adiciones o para cambios de estructuras existentes (J.A. Pulgar, 1998).

2.2.3.PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

Pulgar (1998) menciona que la exploración del subsuelo forma parte de un proceso, que incluye pasos como la recolección de información preliminar, seguido del reconocimiento, para dar paso a la investigación de sitio, la primera consiste en adquirir información que se encuentre relacionada con el tipo de estructura que se construirá y su uso.

- La topografía de la zona, la presencia de zanjas de drenaje, de tiraderos abandonados, de residuos sólidos, entre otros materiales. Asimismo, en los taludes o en las grietas anchas y profundas de contracción en rangos espaciados en forma regular se presenta el escurrimiento plástico como un indicador de suelos expansivos.
- En la construcción de carreteras o vías férreas se evidencia la estratificación en cotes profundos.
- La naturaleza del suelo representada en el tipo de vegetación del lugar.
- En los estribos de puentes colindantes y en edificios se encuentran las marcas de agua.
- La revisión de pozos cercanos permite identificar los niveles del agua freática.
- Identificar las grietas en los muros, así como los tipos de construcción, entre otros problemas.
- Mediante los reportes de exploración del subsuelo realizados para las estructuras del lugar se determina las naturalezas correspondientes a la estratificación de las propiedades físicas del suelo
- Investigación del sitio: Esta fase consiste en:
 - Planeación
 - Elaborar barrenos de prueba

- Recolección de la muestra de suelos que permitan realizar las observaciones y someter a pruebas de laboratorio.
- Se predetermina la profundidad mínima de los barrenos; no obstante, está sujeta a cambios durante el perforado. El uso de reglas establecidas depende de las características del subsuelo encontrado que sirve para determinar la profundidad mínima para las cimentaciones en el barrenado.

Por lo que, la geofísica aplicada o la exploración geofísica consideran el emplear métodos físicos y matemáticos; de tal forma que, se determine las propiedades físicas de las rocas; además, de sus contrastes. Al determinar permite conocer el arreglo de cada uno de los cuerpos de roca que se encuentran al interior de la Tierra; así como las anomalías. Los métodos electromagnéticos, los sísmicos y los potenciales son los más empleados dentro de los métodos de exploración física .

Al conocer el arreglo de las rocas que se encuentran en el interior de la Tierra se puede optar por un objetivo científico o comercial. Como en el caso, que se conozca las dimensiones de un reservorio de hidrocarburos a través del uso de métodos gravimétricos. Asimismo, para el estudio de un terreno a construirse se desarrolla una exploración que permita determinar la profundidad a la cual se ubican cada uno de los estratos de roca sana, la cual tiene la capacidad para sostener y soportar la construcción. Se emplea la geofísica aplicada como una expresión relacionada con los métodos de exploración geofísica, así como los de prospección geofísica; sin embargo, poco frecuente con la ingeniería geofísica.

2.2.4.LITOLOGÍA DEL SUBSUELO

De acuerdo con Alva (2012), la litología del subsuelo se compone de un conjunto de capas formando una estructura. Siendo la estratificación una forma para conocer la estructura en franjas, como ocurre con los niveles de la zona, similar a la piel de las personas, así como el conjunto de la sociedad, la córnea; por tanto, la estratificación es todo aquello que presenta una división en varios

niveles continuos. Al analizar el suelo, se debe considerar que éste se conforma de un conjunto de subcapas o también denominados como estratos. La formación del suelo parte de las rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas, minerales, líquido y burbujas de aire que hacen que el suelo obtenga una porosidad. Asimismo, el suelo se compone de partículas de arena junto con la arcilla y el material orgánico. Además, está compuesto por componentes líquidos como agua y sales minerales disueltas, de la misma forma está compuesta por componentes gaseosos. El suelo tiende a formarse en un promedio aproximado de millones de años y en el transcurso de este proceso hay factores que intervienen como la erosión por lluvias, vientos, etc., el transporte de materiales y asimismo la sedimentación.

La estratificación del terreno consiste en la forma en cómo se ordena el suelo. Entre las distintas capas o estratos que conforman el suelo se encuentra la capa superficial compuesta de arena, arcilla, aire y humus; la capa intermedia que contiene fragmentos de roca y con una mínima presencia de seres vivos y la capa profunda que presenta rocas de gran tamaño y donde no hay seres vivos (Jorge Alva, 2012)

2.2.5.SUELOS CONCEPTO LITOLÓGICOS

a) Suelos residuales

Los suelos residuales son el producto de la meteorización de las rocas y su comportamiento depende de las propiedades de la roca original y del grado de descomposición. Los deslizamientos de tierra son muy comunes en suelos residuales, especialmente en los periodos de lluvias intensas (Alva, 2012).

b) Suelos aluviales

Según Alva (2012), señala que este tipo de suelos son depósitos que fueron transportados por agua, el cual transcurre y se almacena; ello ocurre cuando la velocidad del agua se reduce; por lo que, los materiales pueden originarse a partir de las lluvias o de forma lacustre; además, de contener partículas finas, gruesas o la mezcla de ambas. En su mayoría, los depósitos aluviales

son estratificados y presentan una permeabilidad en dirección horizontal superior a la dirección vertical.

Si la composición de los suelos aluviales es principalmente de arcilla le brinda una textura blanda; mientras que, si se componen de arena son sueltos. La poca cementación genera que se incremente la propensión a sufrir de deslizamientos o de erosión. Puede ocurrir que los suelos posean una matriz de arcilla, la cual fue cementada tanto con arena como con limo y grava, donde los óxidos de hierro y arcillas actúan como cementantes. La formación de terrazas altas cuyos niveles freáticos colgados generan una tendencia a los desplazamientos puede formarse a partir de suelos aluviales cementados (Alva, 2012).

c) Suelos glaciales

Los depósitos de suelo que tienen un origen glacial provienen de los depósitos glaciares que fueron transportados por los glaciares que, por efecto del incremento de la temperatura genera que se deshiele y formen estos depósitos, los mismos que varían su composición del tamaño de granos variando desde arcillas hasta grandes tamaños como en los cantos (Jorge Alva, 2012).

d) Suelos eólicos

Estos suelos son producto del transporte por parte del viento, que varían desde Dunas de arena hasta Loess, que son considerados como depósitos de limo y de arena fina. Presentan poca vegetación y la composición de los materiales es rica en cuarzo; además, de ser poco densos. La erosión es el principal problema para estos depósitos (Jorge Alva, 2012).

e) Depósitos orgánicos

También denominados como depósitos de materiales orgánicos, de turba o de material orgánico sin descomposición total; dado que, tienen un alto contenido de agua. Estos depósitos pueden estar estratificados con otros elementos como el limo, arena o entremezclarse con arcilla. Son

considerados como materiales problemáticos en la ejecución de excavaciones; dado que, presentan una baja resistencia al cortante, generando que los materiales orgánicos cedan o fluyan durante la ejecución de excavaciones o se licúen al producirse eventos sísmicos (Jorge Alva, 2012).

f) Suelos coluviales

También denominados como coluviones son depósitos de ladera generados por el desprendimiento o deslizamiento tanto de roca como de suelo; lo que genera que sean considerados como materiales que tienden a los deslizamientos (Jorge Alva, 2012).

2.2.6.SUMIDEROS

2.2.6.1. CONCEPTO

Según Acosta Mireles (2001) un sumidero es un tipo de dolina circular que actúa como desagüe natural para el agua de lluvia o para corrientes superficiales como ríos o arroyos. Generalmente se forma en suelos de piedra caliza, donde se filtra agua ligeramente ácida que poco a poco carcome el subsuelo hasta que se forma una cueva subterránea y el agua que se sigue filtrando provoca el derrumbe del techo de dichas cuevas hasta que se forma un sumidero. Los sumideros alimentan el caudal de ríos subterráneos que a su vez suelen alimentar acuíferos que son importantes fuentes de agua, tanto para los humanos como para ciertos hábitats. En algunos casos, un tollo puede confundirse con un sumidero aunque, en el primer caso, la hondonada que forma el tollo no contiene indicios visibles como sumidero por estar el hundimiento en rocas muy permeables, en las que se infiltran las aguas de lluvia muy rápidamente.

En algunas zonas del mundo los sumideros se han utilizado o utilizan como vertederos, cosa que afecta la calidad del agua subterránea, y por lo tanto, la de los acuíferos. Asimismo, a otros los han sellado con cemento con la finalidad de poder construir sobre ellos, lo que puede

influir en el caudal subterráneo. Incluso, al ser desagües naturales, el obstruirlos puede traer consecuencias muy graves en la parte superficial totalmente desastrosas .

2.2.6.2. HUNDIMIENTOS DE TIERRA O DOLINAS

Una dolina es una depresión superficial del suelo producto de un vacío subterráneo que genera el debilitamiento del apoyo de la tierra que se encuentra encima. También se puede describir como una depresión geológica caracterizada por sus relieves Karsticos generados por la meteorización química de rocas formadas por minerales solubles en el agua, tales como piedra caliza, alijes (piedra pómez) o dolomitas (rocas sedimentarias) .

Es importante recalcar que toda dolina ya sea de origen natural o humano tiene a perder mucha agua por infiltración logrando impermeabilizar el fondo de la misma hasta transformarla en un estanque alimentado por el agua pluvial; vale la pena mencionar que las dolinas también pueden clasificarse por sus niveles de evaporación .

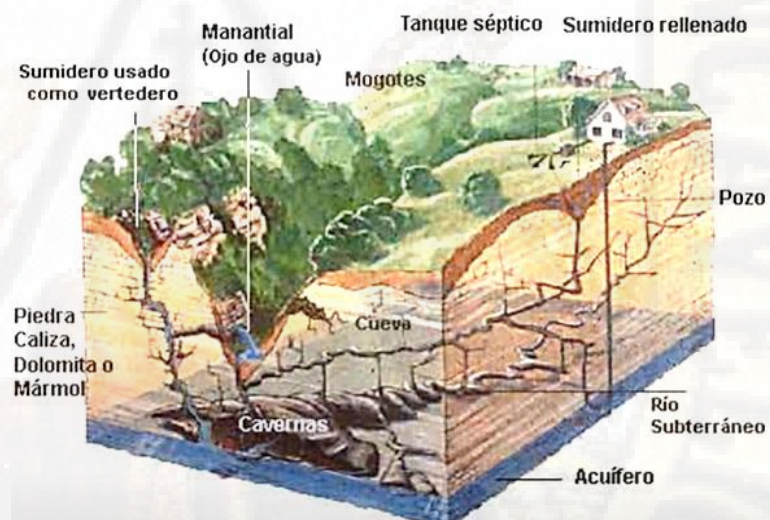
Como se origina una dolina

La combinación del anhídrido carbónico presente en la atmósfera con el agua de lluvia genera la formación de ácido carbónico, el cual al mezclarse con el carbonato de calcio presente en las calizas y arcillas las transforma en material soluble compuesto por bicarbonato de calcio; al convertirse en material soluble en agua, las partículas quedan libres depositándose en las zonas más bajas dando así lugar a la creación de dolinas o hundimiento de tierra. El aparecimiento de una dolina tiene muchas consecuencias ya que llega a causar daños estructurales e inestabilidad debajo de edificios, carreteras y puentes .

Dolinas de origen humano

Se toman principalmente como consecuencia del incontrolado uso de la tierra ya sea bombeo de agua o construcciones carentes de estudios de desarrollo urbano incluyendo gestión de riesgos. Otros factores que llegan a originar este tipo de dolinas son los tanques sépticos abandonados ya que el recubrimiento de hormigón que cubre las mismas con el tiempo llega a agrietarse hasta lograr el fallo de la estructura haciendo que la superficie se rompa repentinamente; este tipo de fallo generalmente sucede en áreas susceptibles a carga activa constante (peso de personas). La forma técnica de evitar este tipo de fallo es realizar un estudio de los proyectos anteriores en el área para descartar las posibilidades de apareamiento de este tipo de dolinas .

Figura 1: Gráfico de dolina de origen humano



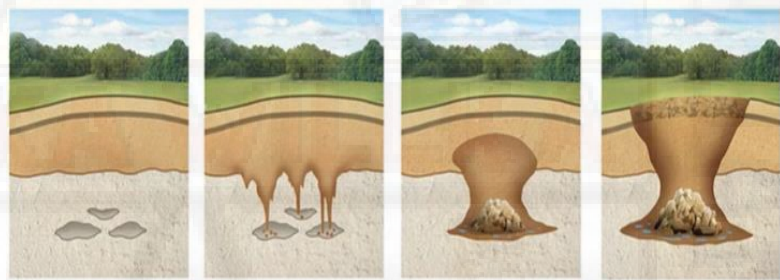
Fuente: (Dr. Hector D. Rouanet, 2017)

Dolinas de origen natural

Se originan cuando la superficie interior de la roca se comienza a disolver dando lugar a la creación de diversas cavidades subterráneas. Este tipo de dolinas es más frecuente cuando el material que conforma la parte del subsuelo está mayormente formado por piedras caliza (karst), dolomita, carbonato de roca o salinas, las cuales pueden ser

fácilmente disueltas debido a la circulación de agua subterránea. Vale la pena mencionar que las dolinas de origen natural generalmente se forman después de un periodo de fuertes y prolongadas lluvias o bien seguidas de un lapso de sequía provocando niveles freáticos bajos lo que obliga de forma natural de baja expuestas las cavidades subterráneas que dan lugar al hundimiento del terreno (Rouanet, 2017).

Figura 2: Gráfico de dolina de origen natural



Fuente: (Dr. Hector D. Rouanet, 2017)

2.2.7. ROCAS CONCEPTO LITOLÓGICOS

2.2.7.1. ROCA FUERTE MASIVA

Tipos de roca

Según Niemeyer (2014), señala que los tipos de roca vienen a ser las siguientes: Granito, Gabro, Dolerita, Basalto, Riolita, Metacuarcita, Neiss, Caliza y Mármol.

Características

Unas de las características de las rocas vienen a ser la resistencia a la mayoría de los procesos de deterioro de masas de roca, aunque pueden ser más susceptibles a la meteorización. Puede ocurrir desintegración localizada alrededor de las discontinuidades mayores, conduciendo a caídos de bloques. Los caídos de granos ocurren en las rocas algo débiles (Niemeyer, 2014).

2.2.7.2. ROCA FUERTE DISCONTINUA

Tipos de roca

Arenisca con uniones de sílica y conglomerados, orto cuarcita, piro clásticos, calizas, dolomitas, mármoles y rocas ígneas fisuradas.

Características

Susceptible a varios modos de deterioro dependiendo del sistema de fracturas. Los caídos de roca y desmoronamiento de los taludes son dominantes con caídos de bloques y de placas de roca e inclinaciones.

2.2.7.3. ROCA COMPUESTA

Tipos de roca

Intercalaciones de estratos duros y blandos, rocas bandeadas o con intrusiones ígneas.

Características

Susceptible a meteorización diferencial que conduce al colapso de los overhangs con caídos de bloques y de rocas asociados.

2.2.7.4. ROCA DEBILITADA TECTÓNICAMENTE

Tipos de roca

Roca fallada o bandeada con fracturas y zonas de breccia.

Características

Zonas trituradas o cortadas y altamente fracturadas, susceptible a colapso, desmoronamiento, caídos de roca y bloques.

2.2.7.5. ROCA DÉBIL GRANULAR

Tipos de roca

Arenisca friable, arcillolita, arenisca o conglomerado con uniones de yeso, arcilla o calcio, margas y calizas débiles.

Características

Susceptible a meteorización del material y debilitamiento que conduce a la formación de láminas, caída de granos, lavado de granos y ocasionalmente colapso y caída de bloques. La fragmentación se puede

asociar con la penetración de elementos extraños por las fisuras (Niemeyer, 2014).

2.2.7.6. ROCA KÁRSTICA

Tipos de roca

Calizas generalmente, duras.

Características

Susceptible a la formación de cavidades de disolución y colapso. Generalmente aparecen masas discontinuas de roca dura que son susceptibles a desmoronamiento y caídos de roca que puede acelerarse por la actividad de disolución. Se pueden desarrollar diversos tipos de formas Kársticas (Niemeyer, 2014).

2.2.7.7. ROCA ANISOTRÓPICA

Tipos de roca

Lutitas, pizarras, filitas y esquistos con estructura laminar.

Características

Susceptible a la formación de cáscaras y láminas que pueden colapsar. También son susceptibles al lavado superficial y proceso de erosión.

2.2.7.8. ROCA CON APARIENCIA DE SUELO

Tipos de roca

Chalk, marl, areniscas muy débiles, roca altamente meteorizada y suelo residual (Niemeyer, 2014).

Características

Susceptible a procesos de erosión, surcos y cárcavas. El deterioro primario ocurre por lavado superficial y caída de granos con flujos de detritos y colapso como modos secundarios (Niemeyer, 2014).

2.2.8. NIVEL FREÁTICO

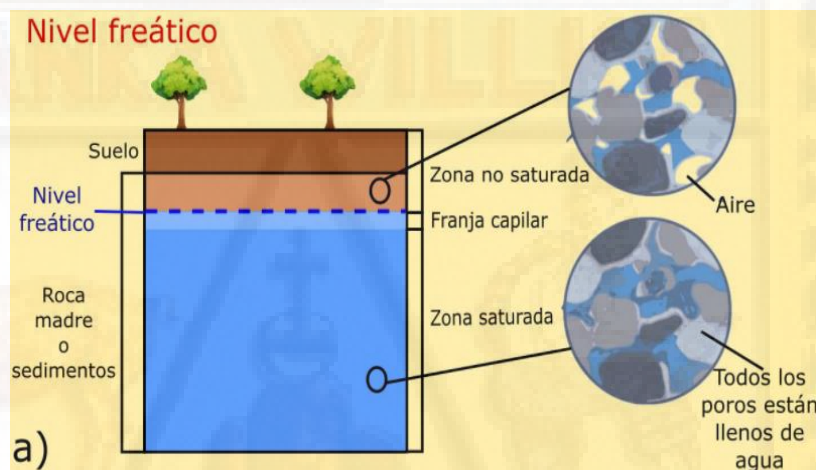
Según Rojas (2014), señala que el nivel freático viene a ser el límite superior del suelo saturada de agua, en donde viene a ser de gran importancia; ya que, representa a las aguas subterráneas o acuíferos en el estudio de hidrología, la

cual ayuda a predecir la productividad de los pozos, dar a conocer la variación del flujo de agua y considerar las variaciones de los niveles en los lagos.

Para comprender el concepto se considera que:

De acuerdo con Rojas (2014), el agua se infiltra e ingresa a través del sedimento permeable y al estrato de roca atravesando las grietas y conductos que funcionan como conexión entre los poros. El agua cubre de forma parcial los poros cerca de la superficie del suelo; mientras que, el espacio libre se llena de aire.

Figura 3: Nivel freático del subsuelo



Tomado de (Rojas, 2014)

La zona no saturada corresponde a la región del subsuelo donde el agua llena de forma parcial los poros (Rojas, 2014).

Mientras que **la zona no saturada**, se ubica a mayor profundidad y está llena totalmente y/o ha saturado los poros.

En sentido estricto, “agua subterránea” es un término empleado por los geólogos para determinar el agua subterránea que se encuentra en la zona saturada, donde los espacios porosos están llenos de forma completa por el agua.

El nivel freático es considerado como un horizonte superior que actúa como una división entre la zona saturada, la cual se ubica en la parte inferior de la zona no saturada y forman parte de la zona superior de la zona superficial. La atracción electrostática de las partículas de agua conocida como tensión superficial junto con la dirección de la superficie de los minerales provoca la filtración del agua a

la superficie; con ello, se complete los poros en la franja capilar. Además, es relevante considerar que un acuífero no confinado está conformado por la superficie freática (Rojas, 2014).

La profundidad en el subsuelo depende de su ubicación

Dependiendo del lugar, el nivel freático puede definir tanto la superficie de un arroyo, como de otros cuerpos de agua como un lago o en el caso de un pantano permanente. Por ello, el nivel freático se encuentra por encima del nivel del suelo.

Figura 4: Nivel freático del subsuelo profundo



Fuente:

En ciertos lugares, se puede encontrar a la superficie freática debajo de la superficie del suelo como ocurre en las regiones húmedas, donde el nivel se halla a pocos metros de la superficie como punto de referencia; en tanto, en las regiones áridas se puede encontrar a muchos metros debajo de la superficie. Un factor que influye en la profundidad del nivel freático es la precipitación, la cual, genera que la superficie freática se reduzca cuando ocurre la estación seca, ocurriendo lo contrario durante la estación húmeda. Por lo que, los arroyos y estanques funcionan como retenedores de agua se secan en la estación seca; dada la infiltración del agua en el suelo (Rojas, 2014).

2.2.8.1. ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO

Para Rojas (2014), el análisis del nivel freático debe de ser calculada, dicha medición puede llevarse a cabo con tan solo una cinta métrica de largo alcance, el cual se debe introducir en un pozo que está estudiando aquella capa freática.

Figura 5: Medición del nivel freático



Fuente: (Rojas, 2014)

En caso, se emplea una cinta métrica para el nivel freático se sigue el siguiente procedimiento:

- Introducir la cinta métrica en el pozo para comenzar con su descenso
- Prestar atención al momento en el que la cinta toque el nivel freático, a lo que se escuchará el tope entre ambos o en caso la cinta no descienda.
- Visualizar el valor que marca la cinta teniendo como punto de referencia el suelo.

Actualmente hay un conjunto de equipos que puedan medir el nivel freático, quienes reaccionan cuando están en contacto con el recurso

hídrico y en efecto producir un ruido, es por ello que la medición es más precisa y totalmente fácil para quien haga la medición. Ambos procedimientos son similares, con la diferencia que en este último el equipo emite un ruido (Rojas, 2014).

2.2.9.GEOFÍSICA

De acuerdo con Rodríguez indica que es una parte de la geología en la ciencia del estudio de la estructura de la Tierra considerando una perspectiva de la física y de los agentes que la modifican (Diccionario e enciclopedia – española).

La geofísica como rama de la geología está enfocada la aplicación de técnicas que permitan estudiar el subsuelo de forma física (Rodríguez, 2015).

Las prospecciones se llevan a cabo para conseguir recursos ya sean estos minerales como no minerales; asimismo, permiten resolver determinados problemas geológicos. También pueden tener importancia económica. Los estudios geofísicos se enfocan en el estudio de la transmisión de una característica física y/o química relacionada a las partes del suelo o en el caso de una propiedad vinculada con las características. Específicamente, la prospección geofísica evaluará las variaciones de las propiedades del estudio sujeto a evaluación. Las diferencias entre el valor esperado del lugar de exploración, en relación con el valor obtenido se evidencia estructuras o acumulaciones minerales en la mayor parte de los casos.

De acuerdo a la clasificación de los métodos geofísicos se tiene:

- a. **Método gravimétrico.** Está enfocado en el campo natural de la gravedad; mientras que, su mecanismo de evaluación consiste en la variación del componente vertical presente en el campo gravitatorio terrestre, éste varía en función de la densidad del material a analizar. Para las prospecciones petrolíferas se aplica el modo de reconocimiento general; a diferencia, en minería se emplea el método de comprobación (Rodríguez, 2015).
- b. **Métodos magnéticos.** Se aplican en el campo magnético que posee la Tierra. Las diferencias que se presentan en el campo pueden ser un indicador de sustancias magnéticas presentes en el medio, que en conjunto se constituyen minerales de ventaja comercial. Estos métodos son

empleados como procesos de reconocimiento dentro de la prospección petrolífera y minera (Rodríguez, 2015).

- c. **Métodos sísmicos.** Aplicados cuando ocurre un terremoto y se calculan los tiempos durante el ingreso de las ondas generadas; con el objetivo de observar en imágenes las ondas discontinuas sísmicas, que en la mayoría de casos son discontinuas estratigráficas, las cuales se clasifican en el método de reflexión y refracción.
- d. **Métodos eléctricos.** De acuerdo con Rodríguez (2015), mide la variación de las características eléctricas, del mineral y de las rocas, específicamente mide la resistividad de la roca, exceptuando la aplicación del método telúrico, auto potencial y AFMAG, en donde se hace uso de los campos eléctricos de manera natural que permiten aplicar en un campo eléctrico ubicado en la superficie; a través del paso de una corriente en el suelo. Para ello, se utilizan tantos los métodos de reconocimiento como los de detalles, los cuales están relacionados con el tipo de estudio.
- e. **Otros métodos.** Son complementarios y están basados en métodos radioactivos, geotérmicos y geoquímicos que tratan mayormente en el análisis de las características de la materia.

2.2.9.1. PROSPECCIÓN ELÉCTRICA O GEOELÉCTRICA

Rodríguez (2015) menciona que las prospecciones eléctricas se sustentan en fuentes naturales que tienen un alto potencial y corriente; no obstante, tiene un enfoque relacionado al estudio de las señales que se inducen mediante cuerpos conductores en los campos eléctricos; asimismo, se considera a los campos magnéticos de las zonas como fuentes artificiales. En este nivel, las investigaciones emplean métodos resistivos y electromagnéticos. Tomando en cuenta ello, se consideran tres métodos: de potencial natural, inducido y electromagnético; por lo que, son relevantes los criterios en la aplicación de cada método. Tal como ocurre en los métodos de campo variable; así como en los de campo de corriente continua, los cuales de forma errónea son denominados como electromagnéticos o

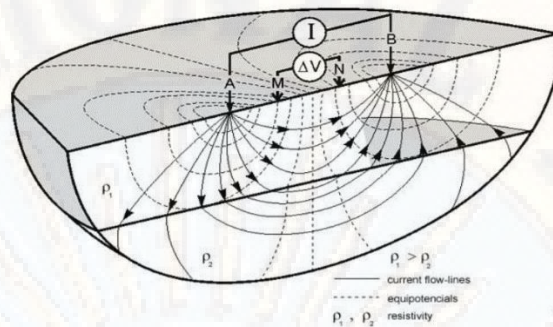
eléctricos respectivamente; dado que, ambos son métodos electromagnéticos.

Las técnicas eléctricas utilizadas necesitan de los valores de la diferencia potencial de electrodo a electrodo, los cuales fueron colocados correctamente en la zona de estudio. Los campos de potencial en la zona bajo un estudio de prospección son variados, donde la presencia de un yacimiento de mineral funcionaría de forma similar a una batería; de esta forma, creando su campo magnético propio. De esta manera, se conforma el método Auto potencial, que pueden ser catalogados como tal cuando se encuentran fuentes potenciales de manera natural.

2.2.9.2. MÉTODOS DE POTENCIAL INDUCIDO O RESISTIVIDADES

Según Rodríguez (2015) menciona que el método de resistividad admite no solo el estudio de alineaciones de forma horizontal, así como las aguas subterráneas, sino que también estudia las alineaciones de forma vertical, dentro de las cuales se encuentran las fallas o denominadas como filones de mineral a una cierta parte de mayor profundidad. Está considerada diferentes modalidades, en donde el método más aplicado de todos los métodos viene a ser el método eléctrico, donde su funcionamiento mayormente trata en emitir corriente al terreno a través de dos electrodos a quienes se les llamara electrodo A y electrodo B, que son introducidos al suelo y una vez introducidos se determinan las condiciones con otro par de electrodos a quienes se les denomina electrodo M y electrodo N que también son introducidos al suelo; donde las distancias entre dichos electrodos varían convenientemente aplicando diferentes técnicas de actuación.

Figura 6: Resistividad eléctrica potencial de un factor geométrico



Fuente:

De esta forma se establece la resistividad aparente del terreno, que es el cociente del diferencial del potencial medido entre los electrodos y la intensidad de corriente que mantiene el campo. Asimismo, la resistividad influye en la función del factor geométrico, éste depende la disposición de los electrodos; a la par, controla la profundidad de operación (Rodríguez, 2015).

2.2.9.3. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL

El sondeo eléctrico vertical según Rodríguez (2015), tiene como finalidad contrastar la variación de la resistividad mediante un conjunto de capas del subsuelo, alcanzando a determinar sus espesores. Llegando a la conclusión al interpretar los resultados, que trata de la identificación de los tipos de roca de acuerdo con el valor de la resistividad.

Los procedimientos son adecuados para la determinación de la resistividad por capas y profundidad, donde evidencie colocaciones rocosas como las aglomeraciones sedimentarias; además, se pueden emplear la especificación de la profundidad del nivel freático, aplicable mayormente cuando aparece una gran similitud de resistividad.

El tipo de prospección SEV se emplea por su simplicidad y por los bajos costos para el equipo necesario. Antes de realizar un sondeo se debe contrastar si el área de estudio cumple con las hipótesis planteadas para calcular con las curvas resistividad, como la hipótesis

que indica la horizontalidad de las discontinuidades del subsuelo. Cuando se evidencie buzamiento en un rango de 10 a 15, se puede corregir al colocar una línea de electrodos paralelamente al arrumbamiento de las funciones (Rodríguez, 2015).

En tanto, la segunda hipótesis sostiene que no se deben presentar variaciones laterales de resistividad; por lo que, realizan dos SEV normales para cada estación o dos análogos sutilmente distanciados. En caso, existan las variaciones antes mencionadas, se reflejarían como saltos en la curva. Además, se debe considerar la calidad en la retroalimentación la puesta a punto en campo, para evitar errores relacionadas a las discontinuidades laterales, fugas de corriente o por un mal contacto entre electrodos, entre otros. Con ello, comprobar que el cumplimiento de los estándares y proceder a realizar el SEV, para el cual, se deben realizar lecturas que dependen del factor geométrico de cada dispositivo.

2.2.9.4. MÉTODO GEOFÍSICO.

Según Rodríguez (2015) menciona que los métodos geoelectricos y geofísicos permiten analizar la distribución de la conductividad eléctrica en el subsuelo mediante las comprobaciones que se aplicaron a la superficie o desde el punto del pozo. Mediante el rose con algún material específico la resistividad eléctrica posee corriente eléctrica y genera la resistencia. Por lo que, la resistividad eléctrica es producto de una resistencia eléctrica junto con una concluyente longitud unitaria; a continuación, se expresa lo mencionado:

$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ Ecuación (1)}$$

Se despeja la resistividad eléctrica al ser la propiedad física relevante para el método de prospección:

$$\rho = R \frac{A}{L} \text{ Ecuación (2)}$$

Donde:

ρ : Resistividad eléctrica del material en el cilindro sólido expresado en ohm-m

R: Resistencia del material medido en ohm

A: Sección transversal de un cilindro sólido expresado en m²

L: Longitud de un cilindro sólido en m

En el Sistema Internacional (SI), la unidad de la resistividad es ohm-m representado por: $\rho = (R)(L) = [L^2MT^{-3}I^{-2}]$

La conductividad (σ) es el inverso de la resistividad; por lo que:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{(R)(A)} \text{ Ecuación (3)}$$

En el SI, la unidad es Siemens/m.

Clasificación de los métodos eléctricos:

De acuerdo con Wilsom (2003), los conjuntos de técnicas pueden clasificar de acuerdo al principio de campos eléctricos aplicados en superficies naturales o artificiales o en relación al tipo de corriente, continua o alterna.

La variedad de técnicas en el estudio eléctrico permite que se utilice el campo natural de la tierra o el campo tomado artificialmente al introducir un campo compuesto artificialmente al introducir un campo compuesto artificialmente inyectado al subsuelo (Milsom, 2003).

Propiedades de electromagnéticas de las rocas

De acuerdo con Wilsom (2003) estas propiedades se basan en tres magnitudes físicas (μ, ϵ, ρ) que describen el comportamiento físico de las rocas en un nivel molecular; además, éstas dependen de la forma, el volumen, el tamaño y del material de relleno en los espacios vacíos. Uno de los factores más relevantes es la porosidad junto con el nivel de saturación del agua; además, de la compactación de la roca; éstas se relacionan con las propiedades electromagnéticas. Existe amplia variedad de minerales y compuestos que se encuentran adheridos a las rocas en cantidades variables. Por tanto, el subsuelo es

considerado como un material que se caracteriza por ser heterogéneo y anisótropo (Milsom, 2003)

Tabla N°01 Resistividad eléctrica de estratigrafía de acuerdo tipo de material empleado (ohm-m)

Tipos de material	Resistencia eléctrica
Agua subterránea (no-contaminada)	10 – 100
Aluvión	10 – 800
Arcilla	1 – 100
Arcilla húmeda no consolidada	20
Arena (húmeda)	100 – 1000
Arena (seca)	100 – 1000
Arena (suelta)	500 – 5000
Capa superficial vegetal (humus)	50 – 100
Flujo de lava (básica)	1000 - 10000
Grava	100 – 600
Roca intemperizada	100 – 1000
Suelo	1 – 10
Tierra arcillosa	10 – 40

Fuente: Rangos de resistividad eléctrica de acuerdo con la estratigrafía del área (Milsom, 2003; Forsythe, 1956).

Keller y Frischknecht (1966) mencionan que las rocas sedimentarias son las más porosas; por lo que, contienen grandes cantidades de agua en sus espacios porosos, minimizando los niveles de resistividad; a diferencia, las rocas ígneas y metamórficas al tener menor porosidad, tienen altos valores de resistividad, considerando el porcentaje de agua en los espacios vacíos y el grado de fracturación.

Keller y Frischknecht (1966) plantean que la clasificación de los espacios porosos tiene en cuenta tres categorías relacionadas con la asociación geométrica de los poros. Mientras que, para la porosidad tres categorías en función de la relación geométrica de los espacios

son vulgar, intergranular y de formas junta. La primera se refiere a las rocas calizas y algunas rocas ígneas que presentan orificios alargados formados por burbujas de gas en las rocas o por la disolución como ocurre en las calizas. En tanto, la segunda forma parte de las rocas más porosas, las sedimentarias y las calizas volcánicas, estas últimas presentan espacios porosos que luego pasan por un proceso de compactación. La tercera, incluye a las rocas ígneas, cuyos espacios vacíos tienen forma de ensamble. Las relaciones que existe entre la porosidad, la resistividad y la textura son relevantes en los estudios geoelectricos; siendo la resistividad afectada por otros factores como la disociación, la movilidad y la concentración de iones presentes en el agua.

Archie empleó la función empírica donde relaciona la porosidad y la resistividad denominada como la Ley de Archie (Keller y Frischknecht, 1966):

$$\rho = a\sigma^{-m} \rho_w \text{ Ecuación (4)}$$

Donde:

ρ = Resistividad neta de las rocas

a, m . Parámetros arbitrarios producto de las mediciones de los experimentos; siendo $1.64 < m < 2.23$ y $0.47 < a < 2.3$

ρ_w = Resistividad del agua en los poros.

ϕ = Porosidad indicada como una fracción por unidad de volumen de roca (Keller y Frischknecht, 1966).

Fundamentos del Método

De acuerdo con Parasnis (1997), los métodos geoelectricos funcionan en campos constantes y se basan en el potencial eléctrico. Los valores que se obtienen responden a las variaciones de la resistividad eléctrica en el subsuelo, al introducir una corriente continua de intensidad conocida entre dos puntos sobre la superficie que permita medir la diferencia del potencial considerando otros dos puntos adicionales.

El potencial eléctrico es el trabajo para atraer o rechazar una carga de un Coulomb [C] a partir de un punto determinado hasta el infinito; de tal forma, entre dos puntos la diferencia de potencial refleja el trabajo necesario para ejecutar el movimiento de una carga desde un punto hasta otro. Cuya unidad de medida es el Volt [V], que es equivalente al Joule [J] como unidad de trabajo. Además, las superficies equipotenciales reflejan valores de potencia iguales en los puntos de los espacios.

Ecuaciones fundamentales

Siguiendo con Parasnis (1997) sostiene que la forma de inducción de la Tierra es producida por ondas electromagnéticas que se propagan entre la superficie y la ionósfera. El subsuelo está formado por un semi espacio de resistividad eléctrica (ρ); además, de otro semi espacio que representa a la atmósfera y se caracteriza por tener una resistividad infinita. Para tratar con el problema se adquiere un espacio que conforma la parte inferior que permita hacer una tierra plana y con una distancia adecuada; de modo que, el frente de ondas sea plano y posea una distribución vertical. El punto inicial se refleja en la asociación entre los dos campos: eléctrico y magnético expresado en las ecuaciones de Maxwell, que dependen de la posición en espacio; además del tiempo. Son detalladas a continuación:

Ley de Faraday

$$\nabla \cdot E(r, t) = - \frac{\partial B(r, t)}{\partial t} \text{ Ecuación (5)}$$

Donde:

E = Intensidad de campo eléctrico expresada en V/m

Ley de Ampere

$$\nabla \cdot H(r, t) = J(r, t) + \frac{\partial D(r, t)}{\partial t} \text{ Ecuación (6)}$$

Donde:

H = Intensidad de campo magnético medida en A/m

j = Densidad de corriente expresada en A/m²

Ley de Gauss eléctrica

$$\nabla \cdot D(r, t) = q(r, t) \text{ Ecuación (7)}$$

Donde:

D = Vector de desplazamiento eléctrico expresado en C/m²

q = Densidad de carga eléctrica mediada en C/m³

Ley de Gauss magnética

$$\nabla \cdot B(r, t) = 0 \text{ Ecuación (8)}$$

Donde:

B = Vector de inducción magnética medida en Tesla que es equivalente a Wb/m²

Las derivadas temporales se anulan cuando en prospección eléctrica se hace referencia a un campo estacionario; de forma que, se obtiene un modelo estático, que refleja que los campos y las fuentes no depende del tiempo, por tanto; no varían en función de este; además, se presenta una distribución donde las cargas están en reposo (Keller, 1966).

$$\nabla \cdot E(r) = 0 \text{ Ecuación (9)}$$

$$\nabla \cdot H(r) = J(r) \text{ Ecuación (10)}$$

$$\nabla \cdot D(r) = q(r) \text{ Ecuación (11)}$$

$$\nabla \cdot B(r) = 0 \text{ Ecuación (1.12)}$$

Las ecuaciones anteriores muestran la no dependencia entre los campos eléctrico y magnético; debido a que, el campo electrostático depende de los magnetos estáticos presentes en la distribución de las corrientes estacionarias y de la distribución de las cargas (Keller, 1966).

Cabe resaltar que la Ley de Ampere evidencia la inexistencia de corrientes de desplazamiento; por lo que, se tiene como supuesto que es un medio conductor (Keller, 1966).

Mientras que, para campos eléctricos la Ley de Gauss sostiene que el flujo eléctrico a través de una superficie cerrada, el cual se relaciona con la carga eléctrica. Por tanto, no se acumula carga libre, el frente de onda tiene un comportamiento como transmisor; mas no, como generador de un nuevo frente (Keller, 1966).

En la ecuación de la continuidad se indica que el principio de conservación de carga eléctrica se cumple cuando:

$$\nabla \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}) = 0 \text{ Ecuación (13)}$$

En tanto, la ecuación (9) evidencia que el campo electrostático $\mathbf{E}$ se caracteriza por ser conservativo y se puede describir mediante el potencial eléctrico U , expresado en:

$$\mathbf{E} = -\nabla U \text{ Ecuación (14)}$$

A través de las relaciones que constituyen se establece la relación entre las propiedades del medio y de los campos; por tanto, en caso el estado del conductor permanezca inalterable, es decir, no cambien sus propiedades intrínsecas; además, presenta una relación única entre el flujo de corriente inyectado y el potencial eléctrico (Keller, 1966).

La relación descrita se conoce como la Ley de **Ohm** e indica que en un punto la densidad de corriente posee el mismo sentido dirección que el campo en el mismo punto; asimismo, tiene una proporcionalidad al campo. La resistividad (ρ) es el factor de proporcionalidad o también su inversa la conductividad (σ)

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} = \mathbf{J} = \frac{1}{\rho} \mathbf{E} \text{ Ecuación (15)}$$

La isotropía es escalar y constante cuando los materiales son homogéneos. En la ecuación (15) se expresa la conductividad eléctrica en forma vectorial al ser un tensor de segundo rango; en un medio heterogéneo y anisótropo. Los parámetros se miden con la intensidad de corriente y la diferencia de potencial $[V]$. En la Ley de Ohm se sustituye J en la ecuación de continuidad (Keller, 1966).

$$\nabla \cdot J = \nabla \cdot (\sigma E) = 0 \text{ Ecuación (16)}$$

Considerando las propiedades de los operadores, se procede a la sustitución del potencial eléctrico que permite obtener la ecuación de Laplace, donde en la conductividad es uniforme en cada zona; de modo que:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (\sigma E) &= \sigma \nabla \cdot E + E \cdot \nabla \sigma = -\sigma \nabla \cdot \nabla U + E \cdot \nabla \sigma = \\ &= -\sigma \nabla^2 U + E \cdot \nabla \sigma = 0, \nabla^2 U = 0 \end{aligned} \text{ Ecuación (17)}$$

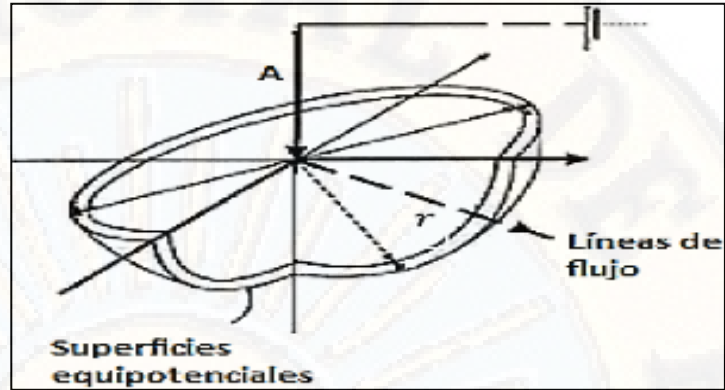
A partir de la ecuación (17), se emplea las coordenadas polares; dado que, la densidad de las líneas de corriente está relacionadas con el potencial dado, variando solo en forma radial (r). Esta ecuación es válida para un semiespacio conductor que se muestra en la Figura 1, donde se tiene una representación del comportamiento vectorial de la corriente; además, las superficies equipotenciales relacionadas al potencial encontrado. La Ecuación de Laplace en coordenadas polares se expresa en:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} \right) = 0$$

Ecuación (18)

Para la ecuación (18), se sustituyó los factores de transformación para coordenadas polares; por ello, las coordenadas parciales que están respecto a θ y ϕ se pueden despreciar; en vista de la simetría de flujo de corriente. Considerar una sola fuente que se muestra en:

Figura 7: Vectores de densidad de corriente en un semiespacio homogéneo, considerando una fuente puntual en el semiespacio inferior



Fuente: (Telford, 1991).

Considerando lo anterior, si en la ecuación (18) fueran otro tipo de coordenadas se procedería a reconstruir e incluiría otros elementos diferentes a la ecuación (19).

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right) = 0 \text{ Ecuación (19)}$$

Se integra de forma directa

$$r^2 \frac{\partial u}{\partial r} = C, \quad u = -\frac{C}{r} + D \text{ Ecuación (20)}$$

Donde: r es la distancia radial y C y D son constantes. C como constante de integración se evalúa en relación a la corriente total I de la fuente. Bajo la superficie, la corriente total puede expresarse como una integral de la densidad de corriente.

$$I = \oint J \cdot ds = \oint \frac{E}{\rho} ds = \oint \frac{C}{\rho r^2} ds = -\frac{2\pi C}{\rho} \text{ Ecuación (21)}$$

La sustitución del valor en la ecuación (20) en cambio de la función potencial permite resolver una ecuación para la constante de integración C :

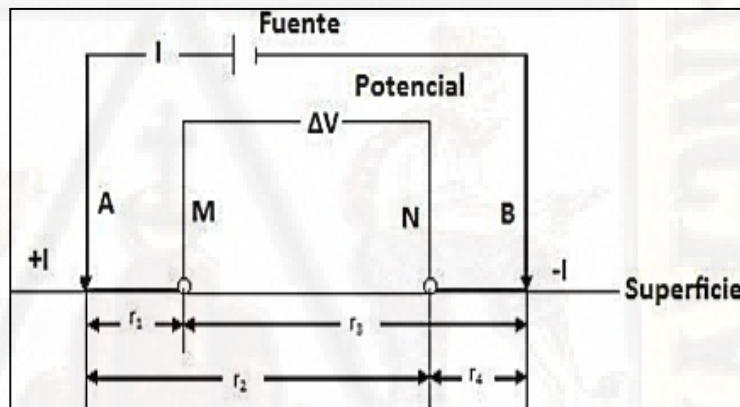
$$U = \frac{\rho I}{2\pi r} \text{ Ecuación (22)}$$

2.2.9.5. FUENTE PUNTUAL EN UN SEMI ESPACIO HOMOGÉNEO E ISOTRÓPICO

De acuerdo con Frischknecht (1966), la exploración eléctrica implica establecer en el subsuelo un campo eléctrico a través de una corriente eléctrica por un generador funcionando como una batería de pilas, la cual se conecta a dos electrodos **A** y **B** parcialmente clavados en la zona. Donde la corriente I_A atravesará **A** por el subsuelo; para luego, salir a través de **B** con una intensidad I_B y retorna a la pila y permite cerrar el circuito.

$$I_A + I_B = 0 \text{ Ecuación (23)}$$

Figura 8: Representación de la configuración de campo en la superficie de un medio homogéneo.



Fuente: (Telford, 1991).

Al considerar solo la fuente de corriente, un electrodo **A** y al rodear la superficie semiesférica ubicada en el semiespacio; además, la densidad de corriente J por simetría tendrá el mismo valor en dirección radial (Figura 2).

Sobre la superficie semiesférica, la integral J es igual y el radio r se expresa de la forma:

$$2 \pi r^2 J = I \text{ Ecuación (24)}$$

$$J = \sigma E = \frac{I}{2 \pi r^2} \text{ Ecuación (25)}$$

$$|E| = \frac{I}{\sigma 2\pi r^2} = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \text{ Ecuación (26)}$$

Existe una relación inversamente proporcional entre el campo E y el cuadrado de la distancia r . Entre M , N , la diferencia de potencial de dos puntos está dada a partir ecuación (14), como en la Figura 2 y se expresa en:

$$U_N^M = U_M^A - U_N^A = - \int_N^M E \cdot dr \text{ Ecuación (27)}$$

Puesto que, el campo es conservativo, r_1 y r_2 son distancias de los puntos P_1 P_2 en relación con el electrodo C_1 , se tiene que:

$$U_N^M = \frac{I\rho}{2\pi} - \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \text{ Ecuación (28)}$$

Por otra parte, si se consideran los potenciales absolutos en cambio de la diferencia de potencial, se atribuye el potencial 0 a un punto.

El origen de los potenciales corresponde a los puntos ubicados a una distancia infinita de la fuente, se posiciona en el punto M el potencial absoluto; además, se calcula el límite de la ecuación (28) para una $r_2 \rightarrow \infty$ es:

$$U_M = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r_1} \text{ Ecuación (29)}$$

La primera fracción es la emisividad (Orellana, 1982). Al ser el potencial una magnitud aditiva, cuando son varias fuentes, se suman los potenciales; por lo que:

$$U = \frac{I\rho}{2\pi} \sum \frac{I_i}{r_i} \text{ Ecuación (30)}$$

Donde:

r_i = Distancia entre la fuente de índice i al punto determinado

I_i = Intensidad de corriente que ingresa y sale del punto

Hasta ahora se ha mantenido como supuesto que el área es homogénea e isotrópica; no obstante, el subsuelo posee un comportamiento considerado como complejo, lo que impide el uso de la ecuación (30); por lo que, la integral ha de cumplir con la Ecuación de Laplace y las condiciones de contorno, que son definidas por las características del medio (Orellana, 1982).

2.2.9.6. RESISTIVIDAD APARENTE

La heterogeneidad en el medio genera que la resistividad varíe en relación a las posiciones relativas de los electrodos, las cuales se asignan a un valor calculado, que está condicionado tanto por las propiedades físicas del medio y por la geometría.

Aplicable a cualquier dispositivo, al conocer las distancias existentes entre los electrodos, con un amperímetro se mide la I , la cual pasa por los electrodos **(A, B)**; asimismo con el uso de un voltímetro la ΔV en los electrodos **(M, N)**; con ello se calcula la resistividad aparente (P_a):

Ecuación de resistividad aparente

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \text{ Ecuación (31)}$$

Donde:

ρ_a = Resistividad aparente del subsuelo expresado en ohm-m

k = Constante del dispositivo geoelectrico medido en m

ΔV = Voltaje expresado en V

I = Intensidad de corriente medida en A

Bajo el supuesto de que el medio es homogéneo e isotrópico, la ecuación (31) indicaría la resistividad verdadera; en un terreno uniforme, la resistividad sería constante e independiente del espacio que existe entre los electrodos (Parasnis, 1997).

La resistividad aparente (P_a) no expresa el promedio de los valores de resistividad del subsuelo; a diferencia, los valores de la resistividad expresan la medición individual relacionada al punto asignado al

centro del dispositivo de electrodos, dependiendo de la geometría del dispositivo. Asimismo, está en función del espacio entre electrodos y de la distribución real de la resistividad (**Parasnis, 1997**).

Factor geométrico (**k**) es una relación que representa los efectos de abertura, la distancia de separación entre los electrodos de corriente y el potencial respecto a la distribución espacial en cada punto de asignación. Por lo que, el factor refleja la proporción entre la relación potencial eléctrico/intensidad de corriente y la propiedad física que es medida

(**Milsom, 2003**).

En el caso, donde los cuatro electrodos estén ubicados en una línea recta sobre una superficie plana, se tiene:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \text{ Ecuación (32)}$$

Por lo que, existe un cambio de ρ_a a ρ por la definición de la resistividad aparente; se procede a la sustitución de las distancias (Figura 1) resultando:

$$\rho_a = 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \frac{\Delta V}{I} \text{ Ecuación (33)}$$

El factor geométrico (**k**) depende de cada dispositivo, obteniendo resultados diferentes producto de la modificación de la geometría de los electrodos reflejados en la ecuación (30), tal como en la Tabla 2 para cada arreglo.

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_4} \right)^{-1} \text{ Ecuación (1.34)}$$

Tabla N°02 Dispositivos electródicos por factores geométricos

Dispositivo	Factor geométrico (k)
Dipolo – Dipolo	$\pi(n)(n + 1)(n + 2) a$
Polo – Dipolo	$2\pi n(n + 1) a$
Polo – Polo	$2\pi a$
Schlumberger	$\pi(n)(n + 1) a$

Wenner alfa (wenner)	$2\pi a$
Wenner beta	$6\pi a$
Wenner gamma (enfocado)	$2\pi a$

Fuente: Factores geométricos de los diferentes tipos de dispositivos electródicos (Parasnis, 1997 y Milsom, 2003).

Tabla N°03 Dispositivo electrónico de investigación (Z_e/a , Z_e/L)

Dispositivo electródico	Nivel de investigación	Z_e/a	Z_e/L
Dipolo - Dipolo	n = 1	0.416	0.139
	n = 2	0.697	0.174
	n = 3	0.962	0.192
	n = 4	1.22	0.203
	n = 5	1.476	0.211
	n = 6	1.73	0.216
	n = 7	1.983	0.22
	n = 8	2.236	0.224
	n = 20	5.25	0.239
	∞ arreglo ideal	-	0.25
Dipolo ecuatorial	n = 1 arreglo cuadrado	0.451	0.319
	n = 2	0.809	0.362
	n = 3	1.18	0.373
	n = 4	1.556	0.377
	n = 10	3.84	0.383
	∞	-	0.384
	Ideal $a \rightarrow 0$	-	0.912
Schlumberger	L = 40	7.66	0.912
	L = 20	3.84	0.191
	L = 10	1.9	0.19
Polo - Dipolo	n = 1	0.519	-
	n = 2	0.925	-
	n = 3	1.318	-
	n = 4	1.706	-
	n = 5	2.093	-

	n = 6	2.478	-
Wenner		0.519	0.173
Wenner - Schlumberger	n = 1	0.52	0.173
	n = 2	0.93	0.186
	n = 3	1.32	0.189
	n = 4	1.71	0.19
	n = 5	2.09	0.19
	n = 6	2.48	0.19
Gradiente	L = 40 , X = 20	7.66	0.192
	L = 40 , X = 15	6.52	0.163
	L = 40 , X = 10	4.14	0.103
Donde Ze: Profundidad efectiva a: Separación entre electrodos L: Longitud total del arreglo n: Factor de separación X: Distancia entre $L/3 < x < L/2$			

Fuente: Profundidad de investigación para dispositivos electródicos (Edwards, 1977).

2.2.10. DISPOSITIVO ELECTRÓDICO

Definición

Según Orellana (1982) es un conjunto de fuentes y de puntos de medición, los cuales están ubicados ordenadamente en la superficie del terreno, donde se realizará la prospección, denominado como configuración o arreglo. Por lo general, se cuenta con cuatro electrodos, dos de los cuales son de corriente (**A**, **B**); en tanto, los otros dos (**M**, **N**) son de potencial (ver Figura 2). Los de corriente se unen por cables de aislados, mediante un generador eléctrico con un amperímetro denominado como circuito de emisión, de corriente o de alimentación. Mientras que, **M** y **N** se conectan a un instrumento para medir la diferencia de potencial; de esta forma, se tienen dos circuitos independientes denominado como circuito de recepción, de potencial o de medición.

Tipos de dispositivos electrónicos

Los electrodos ubicados en una misma recta **A,M** y **N,B**, a la par, se encuentran dispositivos dipolares caracterizados por la formación de un dipolo de electrodos de corriente y de potencial. Los tipos de dispositivos polares se

clasifican en perpendicular, paralelo, radial y azimutal, tomando en cuenta la nomenclatura soviética (Orellana, 1982).

Las ventajas y desventajas de los dispositivos electródicos dependerán de la profundidad de la investigación; así como de la cobertura de la misma, la intensidad de la señal y la sensibilidad del dispositivo.

Tabla N°04 Ventajas y desventajas del uso de los dispositivos eléctricos

Dispositivo Electrónicos	Ventajas	Desventajas	Relación señal / ruido
Dipolo - Dipolo	La profundidad de penetración depende del constate de resistividades y no de la penetración. Posee un arreglo simétrico minimizando el acoplamiento inductivo que existe entre los electrodos de potencial y de corriente.	Pobre resolución vertical en estructuras horizontales. Presenta sensibilidad al ruido geológico. Presenta una resistencia de contacto de los electrodos móviles más crítica comparada con la de polo-polo.	Pobre reflejado en la baja intensidad de señal
Gradiente	Buena penetración y un menor enmascaramiento pro la capa superficial conductora. Efecto topográfico bajo rapidez al emplear dos o más receptores.	Baja resolución en relación con la profundidad Factor geométrico en función del acomodo.	regular
Polo-Polo	Posee una mejor inyección de corriente al tener una menor cantidad de electrodos activos con un bajo costo. Es despreciable la resistencia de	Mayor nivel de ruido telúrico; por lo cual, no recomendable para espaciamientos demasiado grandes.	Muy grande Presenta sensibilidad al ruido telúrico.

	contacto de electrodos al infinito. Permite una mayor profundidad de investigación.		
Polo-Dipolo	Buena obertura horizontal.	Arreglo asimétrico.	Buena
Wenner	Sensible a las mediciones en relación con los espacios entre electrodos. Sensitiva a los cambios verticales en las estructuras horizontales.	La cobertura horizontal se reduce cuando se incrementa "a" profundidad media aproximada de 0.5 veces el espacio "a". Implica mayor personal y cable.	Buena Fuerte intensidad de la señal
Schlumberger	Presenta un arreglo simétrico. Adecuado para medios estratificados La profundidad promedio es 10% mayor aprox. comparada con la Wenner para una misma distancia entre los electrodos.	Su cobertura horizontal es menor a la Dipolo-Dipolo; sin embargo, es superior a la Wenner. El espacio de electrodos de potencial es menor comparado con el de corriente, indicando que tiene una alta sensibilidad a las mediciones	Regular posee una intensidad de señal media

Fuente. Ventajas y desventajas en dispositivos electródicos (Summer, 1976; Koefoed, 1979; Ward, 1990; Parasnis, 1997).

La profundidad media de la investigación es empleada en los estudios de polarización y de resistividad eléctrica, la cual de acuerdo con Edwards (1977) permite obtener una mayor cantidad de datos sensibles que aporten en la medición.

2.2.10.1. MÉTODOS DE MEDICIÓN

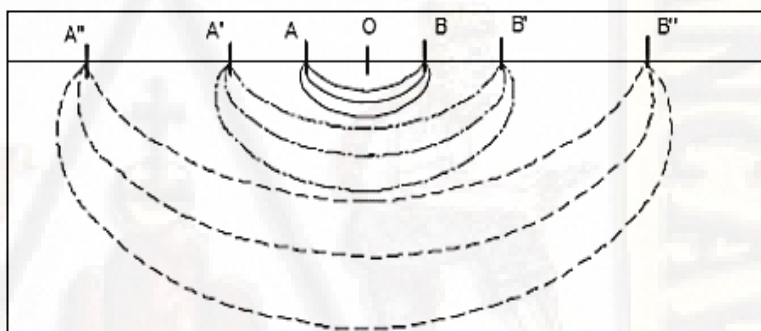
Sondeo eléctrico vertical (SEV)

Consiste en determinar un corte vertical geoelectrico, entendido como un corte vertical del terreno con puntos de diferentes resistividades, que están relacionados con las propiedades físicas del medio.

Se define como una serie de determinaciones de la resistividad aparente, con un mismo dispositivo se miden y con una separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. Se identifica la distribución de resistividades en el punto de asignación o atribución.

La mayor parte de las configuraciones de electrodos se pueden emplear para un **SEV**; la configuración tipo Schlumberger presenta mejoras en la logística; dado que, solo se mueven dos electrodos.

Figura 9: Representación de la configuración de campo del SEV.



Fuente: (Orellana, 1982).

De acuerdo con Orellana (1982) se centra en un solo punto sobre donde se realiza el **SEV**; dado el dispositivo electródico empleado no influye. Obteniéndose un modelo unidimensional con una sola dirección en relación con la profundidad y no de forma lateral. Además, los valores de resistividad aparente como promedio de las resistividades reales.

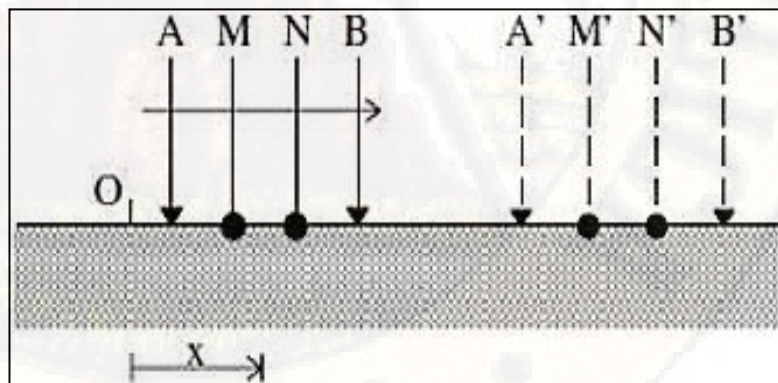
La interpretación de los datos de los **SEV** a partir del supuesto de que la zona donde se realiza la investigación posee una cantidad finita de capas ubicadas horizontalmente. Los análisis primarios implican la comparación de las formas de las curvas, que expresan el logaritmo de la resistividad aparente y del espacio medio de los electrodos de corriente a través de modelos de curvas de estructuras de resistividad.

Calicata eléctrica (CE)

Permiten un estudio de las variaciones laterales de la resistividad aplicadas a una profundidad del subsuelo. De esta forma, es útil y adecuado para la detección de cuerpos; además, de contactos verticales y para las estructuras, las cuales se presentan como heterogeneidades laterales de resistividad. El ámbito de la calicata eléctrica tiene una extensión que va desde la superficie hasta donde se encuentre una profundidad constante, esta última está en función de la separación de los electrodos y de la distribución de las resistividades (Orellana, 1982).

Tanto los electrodos de potencial como los de corriente mantienen una distancia fija, trasladándose de forma progresiva por el perfil, como se observa en la Figura 4. Este método es utilizado en la prospección de minerales, para localizar zonas de fracturamiento o de fallas, para detectar cuerpos anómalos de conductividad y para estudios geotécnicos que tengan como objetivo determinar las variaciones presentes en la capa de roca y la presencia de discontinuidades inclinadas (Parasnis, 1997).

Figura 10: Representación de la forma de operación de Perfilaje o calicata eléctrica.



Fuente: (Parasnis, 1997).

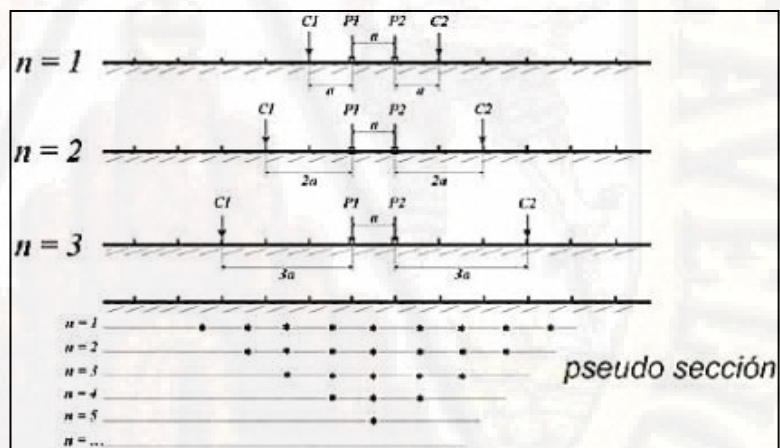
Tomografía eléctrica (TRE)

Método de medición multi-electródico que permite una modelación en **2D** y **3D**, obteniendo resultados en áreas que presentan una geología

moderadamente compleja. En función del contexto, la resistividad cambia en distancias cortas. El método del **SEV** no es lo suficiente preciso ni la calicata eléctrica; la cual pierde resolución y es afectada por la presencia de estructuras discordantes del medio. Al emplear una tomografía permite obtener mejores resultados comparados con el uso combinado de los dos métodos mencionados; al mejorar la resolución vertical y lateral (Griffiths, 1993).

Con este método, para medir la resistividad aparente se consideran una mayor cantidad de medidas realizadas en la superficie en contraste con los otros métodos. Tanto los electrodos de corriente como de potencial son conectados y desconectados para cambiar de nivel sin mover los electrodos de forma física como se muestra a continuación:

Figura 11: Representación de la *pseudosección del Dispositivo Wenner-Schlumberger*.



Fuente: (Griffiths y Barker, 1993).

Donde:

N: Número de nivel

a: Separación entre electrodos

P1 P2: Electrodos de potencial

C1 C2: Electrodos de corriente (Loke et al., 2002).

Griffiths et al. (1990) sostiene que el proceso sistemático funciona mediante la repetición y variación del espacio entre los electrodos. Cuando el espaciamiento se incrementa, se reducen el número de mediciones. La cantidad de datos que se obtienen para cada espaciamiento entre electrodos está en función del dispositivo electrónico, relacionado con el factor geométrico, a la par; está afectado por la distancia entre electrodos y por el factor de separación determinado en el nivel de investigación.

La tomografía eléctrica utiliza valores de resistividad aparente que fueron medidos; de esta forma, se generan imágenes del subsuelo que muestran en las zonas del subsuelo los distintos valores de la resistividad verdadera. Para obtener la resistividad verdadera del subsuelo empleando la resistividad aparente se procede a aplicar la técnica de inversión (Loke, 2004).

La finalidad de la inversión es un modelo de distribución de resistividades verdaderas que en ocasiones, la respuesta es similar a los valores de resistividad aparente que se midieron. A partir de métodos de diferencias finitas o de elementos finitos se obtienen las relaciones entre la resistividad verdadera del suelo y los valores de resistividad aparente.

El avance de la tecnología electrónica en los instrumentos y la tomografía eléctrica han generado un salto cuantitativo y cualitativo en relación a los métodos y técnicas tradicionales. El avance se debe a:

- Incremento en la cantidad de medidas laterales y de profundidad en menores tiempos.
- Automatización de la ubicación o disposición de los electrodos, donde el instrumento ubica los electrodos en el zona y se facilita la adquisición de campo.
- Emplear técnicas numéricas que reducen el tiempo de procesamiento de la información.
- El conocimiento de un modelo 2D y 3D.

- El método posee más ventajas comparadas con los otros métodos.
- La tomografía eléctrica implica altos costos debido a sus equipos; asimismo, emplear un software especializado y sus limitaciones.

El funcionamiento del método se ve limitado ante la presencia de material resistivo ubicado en la superficie; para lo cual, se aplican otras técnicas. La profundidad de penetración es limitada por la alta resistividad del medio, en ciertas ocasiones.

2.2.11. TEORÍA DE LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

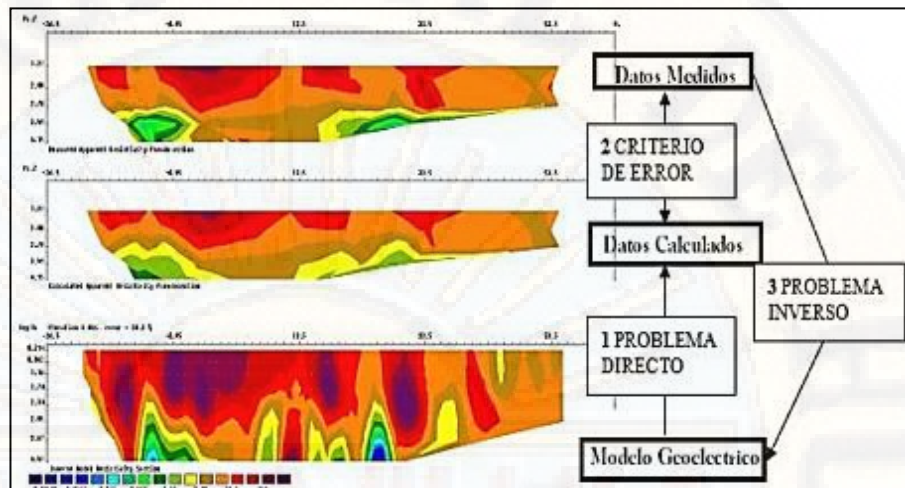
Fundamentos de la tomografía eléctrica

La tomografía eléctrica superficial surge en la década de 1990 para obtener una distribución de las resistividades exacta y relacionarse con la geología, para la caracterización de fracturas y fallas.

Modelo geoelectrico: Procedimiento

Para genera una tomografía eléctrica a través de la inversión, se inicia con los datos que corresponden a la resistividad aparente. Luego, se elabora un modelo hipotético de resistividades verdaderas del subsuelo; para luego mediante el cálculo del problema directo se tiene un modelo de resistividades aparentes, que se comparan con las medidas para el cálculo del error. Mediante el error se modifica el modelo hipotético real, repitiendo el proceso. Luego de las iteraciones, se genera un modelo de resistividades tal como se evidencia en:

Figura 12: Resultados del perfil 3 junto a los pasos para obtener un modelo geoelectrico.



Fuente: (Tejero et al., 2002)

Entre la imagen procesada y la medida existen diferencias las cuales son empleadas para realizar las correcciones del modelo.

Recolección de datos y metodología para la pseudosección

Se tienen dos etapas en la tomografía eléctrica: la primera implica la toma de datos; en tanto, la segunda, la inversión (Tejero et al., 2002), obteniéndose una imagen eléctrica.

La toma de datos y la metodología están en función del objeto de estudio, siguiendo un protocolo de adquisición diferente cuando es en para **2D** o **3D**, considerando la trayectoria de los perfiles y la posición espacial de la distribución del tendido.

Los datos de resistividad aparente (**pa**) se emplean para construir la pseudosección de (**pa**) (Hallof, 1957), estos datos muestran una representación de manera aproximada de la variación de la resistividad del subsuelo; asimismo, se incluyen los datos de **p** transversales como una sección a profundidad. Los valores de **pa** se grafican como si **p** verdadera de un punto inmediatamente bajo el centro del arreglo de electrodos en una propiedad proporcional al espaciamiento de los electrodos (Edwards, 1977). La distribución confiable implica aplicar una inversión a la pseudosección de resistividades aparentes.

Inversión de los datos necesaria para la pseudosección

La clasificación de las técnicas de inversión **2D** indican dos clases que dependen del tiempo de cálculo para la inversión y de la distribución espacial de las resistividades verdaderas.

La primera clase permite el modelamiento de estructuras simples como los cuerpos elípticos o las rectangulares (**Mundry y Homilus, 1972**), se realiza un ajuste entre los estratos homogéneos (**Lee, 1972**) bajo un tiempo de cálculo moderado, para luego generar la estimación en función del objetivo; de forma que, se reconstruya una pseudosección utilizando la sumatoria de potenciales medidos y con una delimitación de zonas de baja y alta resistividad (**Noel y Xu, 1991**). Su principal desventaja es la sensibilidad al ruido junto con la discrepancia a las resistividades verdaderas.

En tanto, la segunda clase permite elaborar modelos para mayores variedades de estructuras geológicas; mediante una sección al subsuelo en bloques rectangulares a través de la técnica de optimización de mínimos cuadrados que permite la mejora del modelo inicial (**Tripp et al., 1984; Smith y Vozoff, 1984**).

A la técnica de mínimos cuadrados se puede añadir un filtro de suavizamiento y un factor de amortiguamiento (**DeGroot-Hedlin & Constable, 1990; Sasaki, 1992**). La adición permite formar una técnica más estable y presenta una convergencia más rápida; asimismo, requiere de menos tiempo para la iteración en contraste con mínimos cuadrados.

Teoría básica de inversión

El objetivo de la inversión es obtener un modelo del subsuelo que exprese una solución compatible y válida en relación con los datos experimentales de las resistividades aparentes; de esta forma la respuesta teórica que se obtenga sea similar a las observaciones. Si la diferencia entre el error de las resistividades calculadas y las medidas es superior al valor de convergencia, se procede a rediseñar otro modelo; así de forma iterativa hasta obtener un valor dentro del rango aceptable.

En base a mínimos cuadrados, en la inversión de datos la resistividad aparente se puede expresar en función a la expansión de primer orden de la serie de Taylor.

$$f\rho_{app} = F(\vec{p}) + \sum_{k=1}^M \frac{\partial F(\vec{p})}{\partial p_k} \delta p_k$$

Donde:

$\vec{p}$ = Vector de los parámetros de la dimensión **M**.

F y **F**($\vec{p}$) = Función de la resistividad aparente

La resistividad observada, la calculada y la diferencia entre ambas se expresa en la ecuación (35), los términos utilizados se explican a continuación:

Se obtiene un modelo matemático que es una representación ideal del suelo; además, incluye un conjunto de parámetros que representan las cantidades físicas estimadas en función de los datos observados.

La definición del modelo parte de los datos sintéticos calculados por relaciones matemáticas que representan el modelo de respuesta.

La relación entre la respuesta del modelo en **2D** y **3D** y la matemática de los parámetros del modelo se resuelve a través del método de elementos finitos (**Silvester y Ferrari, 1990**) o del método de diferencias finitas (**Dey y Morrison, 1979**). En relación a los métodos de optimización, un modelo inicial se modifica con iteraciones; reduciendo la diferencia de lo observado y el modelo respuesta.

Los datos observados se pueden representar en un vector columna:

$$y = col(y_1, y_2, \dots, y_m)$$

Donde: m expresa el número de mediciones.

El modelo respuesta **f** se expresa:

$$f = col(f_1, f_2, \dots, f_m)$$

El vector de los parámetros del modelo:

$$q = col(q_1, q_2, \dots, q_n)$$

Donde **n** representa la cantidad de parámetros incluidos en el modelo y **g** la diferencia entre el modelo respuesta y los datos observados se muestra en:

$$g = y - f, \delta\rho_{app} = \rho_{app}^{obs} - \rho_{app}^{est} \text{ Ecuación (35)}$$

La optimización de mínimos cuadrados implica la modificación del modelo inicial; donde la suma de cuadrados del error (E) permita obtener la minimización de la diferencia entre los datos observados y el modelo respuesta.

$$E = \mathbf{g}^T \mathbf{g} = \sum_{i=1}^n \mathbf{g}_i^2 \text{ Ecuación (36)}$$

Luego de la reducción de este valor, se emplea la ecuación de Gauss-Newton para la determinación del cambio en los parámetros del modelo a reducir (Lines y Treitel 1984).

$$\mathbf{J}^T \mathbf{J} \Delta \mathbf{q}_i = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \text{ Ecuación (37)}$$

Donde

$\Delta \mathbf{q}$ = Vector de parámetros del modelo de cambio

$\mathbf{J}$ = Matriz de tamaño $m \times n$ de derivadas parciales.

Los elementos de la matriz Jacobiana se expresan:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \text{ Ecuación (38)}$$

Muestra el cambio de respuesta del modelo (i -th), generado por un cambio en j -th de los parámetros del modelo. Después, se procede al cálculo del vector de cambio de parámetros generándose un nuevo modelo.

$$\mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{q}_k + \Delta \mathbf{q}_k \text{ Ecuación (39)}$$

La ecuación (25) no se emplea comúnmente; además, la matriz producto $\mathbf{J}^T \mathbf{J}$ puede ser singular; de modo que, la ecuación de mínimos cuadrados no posee una solución para $\Delta \mathbf{q}$. Además, para calcular el vector de cambio de parámetros se emplea la ecuación (37); en caso los componentes sean grandes, el modelo calculado no será realista. Mediante la modificación de Marquardt-Levenberg (Lines y Treitel, 1984) se evita el problema; en tanto, la ecuación Gauss-Newton se expresa:

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \lambda \mathbf{I}) \Delta \mathbf{q}_k = \mathbf{J}^T \mathbf{g} \text{ Ecuación (40)}$$

Donde λ Matriz identidad, factor de amortiguamiento o factor Marquardt.

El factor actúa como limitante del rango de valores de los componentes que pertenecen al vector de cambio de parámetro. Bajo el método de Gauss-Newton se minimiza la suma de cuadrados del vector de discrepancia; en tanto, con la

modificación de método de Marquardt-Levenberg se puede minimizar la combinación entre el parámetro de vector de cambio junto con la magnitud del vector de discrepancia. Para la inversión de datos de resistividad, el método se ha empleado para una cantidad pequeña de capas. No obstante, si el número de parámetros del modelo es amplio como sucede en **2D** y **3D** genera que el modelo de inversión posea una gran cantidad de celdas pequeñas, de forma que, este modelo presenta una distribución irregular respecto a las resistividades zonas falsas (**Constable et al., 1987**). Se modifica menos la ecuación de Gauss-Newton para minimizar las variaciones espaciales de los parámetros del modelo con el objetivo de evitar el problema. El suavizamiento restringido del método de mínimos cuadrados (Ellis y Oldenburg, 1994a) se presenta:

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q_k = J^T g - \lambda F q_k \text{ Ecuación (41)}$$

$$F = a_x C_x^T C_x + a_y C_y^T C_y + a_z C_z^T C_z$$

Donde:

J = Matriz jacobiana en derivadas parciales

F = Matriz de suavizamiento.

Δq_k = Vector del modelo de perturbación.

q_k = Vector que incluye el logaritmo de los valores del modelo de resistividad.

λ = Factor de amortiguamiento.

g = Vector de diferencia

C_x, C_y, C_z = Matrices de suavizamiento de las direcciones x, y, z.

a_x, a_y, a_z = Filtro de suavizamiento considerando el peso relativo en x, y, z como direcciones

2.2.12. FUNDAMENTOS DE LA RESISTIVIDAD CAPACITIVA

De acuerdo con Groom (2006), los fundamentos implican la técnica geofísica emergente enfocada con el objetivo de incrementar el alcance los métodos convenciones de resistividad corriente continua (**CC**) en espacios donde se conoce el acoplamiento galvánico; dada la dificultad para obtenerlo, como en

el caso, del cruce de pavimentos o caminos, roca dura, suelo húmedo o en un terreno con un arreglo de cuatro puntos de acoplamiento capacitivo (**RC**) sobre la superficie de adquisición

Los resultados de las mediciones de resistividad capacitiva son similares a las que se obtienen con el método **CC** en ciertas ocasiones. A continuación, se valida la teoría mediante un diseño del arreglo con un instrumento que mide la diferencia de potencial, bajo una frecuencia de **16.5 kHz**, inyectada a una corriente alterna.

Entre los parámetros considerados se encuentra la impedancia transferida que es el resultado de una aproximación cuasi-estática, la misma que implica la existencia de un rango restrictivo de parámetros prácticos, el rango permite operar en los instrumentos **RC** en pocos números de inducción. Además, de modificar un factor geométrico el dispositivo electrónico Dipolo-Dipolo (Groom, 2006).

Capacitor equivalente

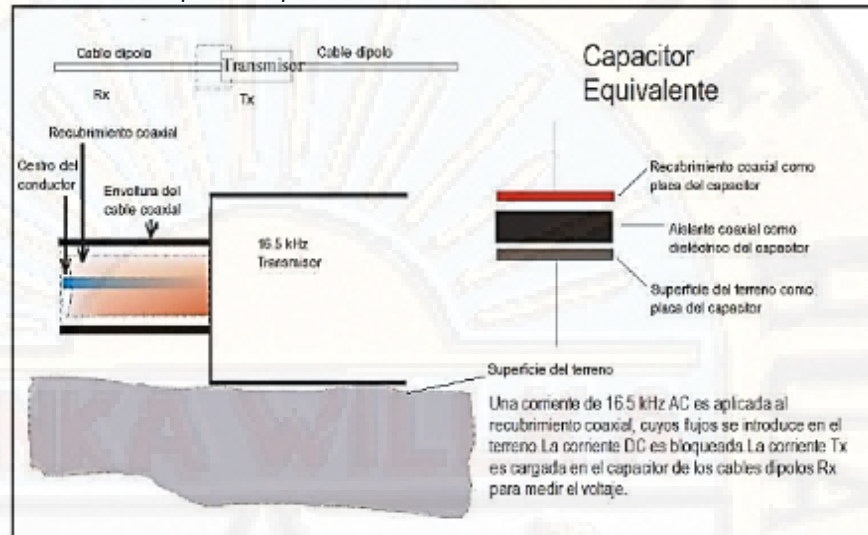
Funciona bajo el principio del acoplamiento capacitivo presente entre el medio y los cables del instrumento, es utilizado para la introducción de corriente al centro y para la respuesta. La estrategia consiste en un condensador y capacitor que tenga un recubrimiento coaxial del cable, que cubre el centro conductor y en el capacitor, actúa como una placa. En tanto, la superficie del medio es una capa adicional, posicionada entre estas se ubica la cubierta de plástico del cable que funciona en el capacitor como un centro aislante; ello permite comprender el acoplamiento capacitivo, utilizado por el OhmMapper (Groom, 2006).

Un condensador es un dispositivo eléctrico que almacena cargas eléctricas y se constituye de un material aislante entre dos placas conductoras.

La reactancia capacitiva es la oposición a mantener el paso de la corriente alterna que posee el condensador (ecuación 43). En tanto, la oposición es electrostática, generando que la carga almacenada se oponga a que se continúe cargando; por lo que, en caso el condensador se descargue totalmente se corta el circuito, cargándose. Se comporta como una resistencia

al valor infinito, los valores intermedios de carga ofrecen una resistencia de valor intermedio que se encuentra limitada por una corriente determinada.

Figura 13: Acoplamiento capacitivo de los electrodos y la superficie del medio en contraste con un capacitor equivalente en circuitos eléctricos



Fuente: (Groom, 2006).

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \text{ Ecuación (43)}$$

Donde:

X_C = Reactancia capacitiva expresada en ohm

f : Frecuencia en corriente alterna medida en Hz

C = Capacidad del condensador en farad=F, que cumple con la Ley de Ohm para circuitos eléctricos, así como la resistencia.

La placa permite inducir la corriente eléctrica en la otra placa; mediante, la cercanía necesaria para mantener conectada o desconectada la corriente. Un contacto realizado capacitivamente, donde el transmisor emite corriente alterna con una frecuencia de **16.5kHz** ; que genera que el condensador equivalente este en carga y descarga. Mediante una señal de **2kHz**, la cual es de baja frecuencia, se envía al receptor información sobre la corriente transmitida.

Sensores Capacitivos

Se ha considerado que la corriente es un parámetro independiente de magnitud constante. No obstante, la corriente de salida se ve afectada por

factores externos como el diseño del sensor como se evidencia en la Figura 8. La modelación del circuito transmisor se puede realizar como una resistencia del terreno en serie con la capacitancia de los sensores bajo el impulso de la fuerza electromotriz del generador (Shima et al., 1995). La impedancia compleja se representa y está relacionada con la (Ecuación 43).

$$Z(\omega) = X_C + R = \frac{1}{i\omega C} + R \text{ Ecuación (44)}$$

Donde:

R: Resistencia del terreno expresa en ohmios o resistencia óhmica

En contraste a la resistencia transferida la cual se mide por métodos convencionales **CC** , calculado a partir del voltaje medido y de la inyección de corriente. Se incluye el voltaje generado por el transmisor **U_{TX}** obteniéndose para el flujo de corriente:

$$I = \frac{U_{Tx}}{Z(\omega)}$$

En los métodos de **CC**, las corrientes tienen un orden de 10mA, las cuales son superiores a las requeridas. Son importantes los valores realistas del sensor (Capacitancia) que permiten la estimación de la impedancia. Se generan implicaciones en la geometría del sensor; a partir de la Figura 7 se puede considerar una Capacitancia (**C**) de placas paralelas y planas expresada en la fórmula:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Donde:

ϵ_r y ϵ_0 : Permitividades eléctricas

A: Área de las placas

d: Separación entre las placas

$\frac{A}{d}$ es un factor que puede ser de orden de 102 m; de forma que, la capacitancia se espera como **C ≈ 1nF**.

Se asume que la resistencia óhmica del terreno es despreciable en relación con la reactancia del sensor. La impedancia se expresa de la forma:

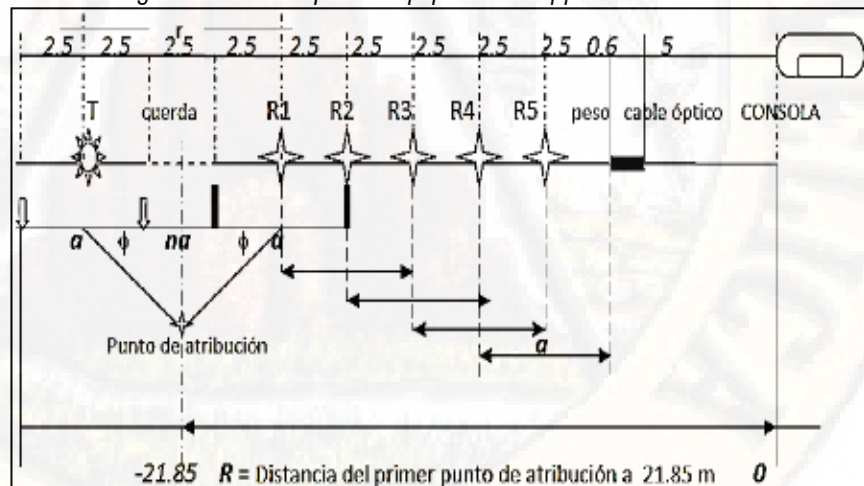
$$Z(\omega) \approx \frac{1}{i\omega C}$$

Modificación del factor geométrico

La aplicación práctica de la RC y la interpretación cualitativa de los resultados aparecieron luego del desarrollo de un marco teórico. **Timofeev (1994)** plantea la teoría de la corriente continua donde se modifica el factor geométrico para un arreglo dipolo-dipolo considerando el método de acoplamiento capacitivo. Se puede realizar esta modificación por el cable conductor, que es una superficie equipotencial para campos estáticos o presenta variaciones muy bajas.

Se muestra en la Figura 8, un segmento de la línea de adquisición y el comportamiento de la corriente; evidenciándose que la magnitud de corriente disminuye linealmente respecto a la distancia. En base la distribución de la corriente **Timofeev (1994)**, permite demostrar que para CC, el factor geométrico se puede calcular con la discretización del cable en una serie de cuatro puntos, los cuales se encuentran asociados a una porción que es parte del total de la corriente.

Figura 14: Configuración de campo del equipo OhmMapper TR5



Fuente: (Timofeev 1994),
a-longitud de los dipolos; *n*-nivel de investigación (no entero) y Φ - ángulo de 45° por geometría del dispositivo.

En una línea recta para un dispositivo dipolo-dipolo, la representación del factor geométrico en la integral (**Lee et al., 2002**).

$$\frac{1}{K} = \frac{\Delta V}{\rho I} = \frac{1}{\pi} \int_0^{I_T} \int_0^{I_R} \frac{I(x_1)(x_2)}{I I} \cdot \frac{1}{(r-x_1+x_2)^3} dx_1 dx_2 \text{ Ecuación (.46)}$$

Donde:

$\int_T$ y $\int_R$ = Longitud del transmisor y del receptor cuando el dipolo-dipolo son iguales

r = Separación entre ellos

X_1 = Parámetro de las coordenadas de la distancia a lo largo del transmisor.

X_2 = Parámetro de las coordenadas de la distancia a lo largo del receptor.

Dada la simetría de la línea, la integral de la ecuación puede expresarse de la forma:

$$K = \frac{\pi l}{\ln \left[\left(\frac{b^2}{b^2-1} \right)^{2b} \left(\frac{b^2+2b}{(b+1)^2} \right)^{b+2} \left(\frac{b^2-2b}{b-1^2} \right)^{b-2} \right]} \text{ Ecuación (.47)}$$

$$b = \frac{2r}{l}$$

Teoría de la Resistividad Capacitiva

Expresa una aproximación cuasi-estático cuadripolar. Se tiene como supuesto que para el formalismo electrostático, el punto cargado electrostático que se halla en una interface plana entre dos semi-espacios isótropos y homogéneos representa la diferencia de medios eléctricamente (**Grard, 1990**). Asimismo, una carga localizada en la vecindad de la interface provoca un potencial electrostático en los alrededores y se relacionan con las propiedades eléctricas de los medios. De forma que, la diferencia de potencial:

$$V(P) = \frac{Q}{4\pi\epsilon l} \left[\frac{1}{r} - \alpha \frac{1}{r'} \right] \text{ Ecuación (48)}$$

Donde:

$V(P)$: Diferencia de potencial en relación a un punto P

Q : Carga en P

ϵ^I : Permitividad eléctrica en el medio I

r y r' : Distancias de CP y $C'P$ respectivamente

El factor real α incluye las permisividades eléctricas de los dos medios, considerando que $\varepsilon^I = \varepsilon_0$, $\varepsilon^{II} = \varepsilon_r$ para el medio I y II.

$$\alpha = \frac{\varepsilon^I - \varepsilon^{II}}{\varepsilon^I + \varepsilon^{II}}$$

En el caso de la interface tierra-aire

$$\alpha = \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \text{ Ecuación (49)}$$

Para generalizar de un arreglo de dos polos a uno cuadripolar (cuatro polos), la medición práctica del potencial eléctrico se puede cargar en relación a una referencia. Los polos P_1, P_2 son los electrodos de potencial; mientras que, C_1, C_2 son de corriente; en tanto la diferencia de potencial se expresa como $\Delta V = V_1 - V_2$ y coincide con la ec. 1.32, representada de la forma:

$$\Delta V = \frac{Q}{C_0} (1 - K^{ES})$$

Donde:

C_0 : Capacitancia de la configuración del espacio libre.

K^{ES} : Factor geométrico electrostático

$$K^{ES} = \frac{\frac{1}{r'_{11}} + \frac{1}{r'_{22}} - \frac{1}{r'_{12}} - \frac{1}{r'_{21}}}{\frac{1}{r_{11}} + \frac{1}{r_{22}} - \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{21}}}$$

$$C_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0}{\frac{1}{r_{11}} + \frac{1}{r_{22}} - \frac{1}{r_{12}} - \frac{1}{r_{21}}}$$

La impedancia medida se caracteriza por ser compleja; a pesar de que contiene cargas con variaciones lentas en relación con el tiempo al ser corriente alterna; de modo que, ecuación (45) se representa:

$$\Delta V(t) = \frac{I(t)}{i\omega C_0} (1 - K^{ES}) \text{ Ecuación (50)}$$

Además, la forma de permitividad eléctrica es compleja y se expresa:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r - \frac{i}{pw}, \quad \text{y el factor, } \alpha = \frac{pw(\varepsilon_r - 1) - i}{pw(\varepsilon_r + 1) - i} \text{ Ecuación (51)}$$

Al resolver las ecuaciones anteriores se tiene:

$$\rho^2 = \frac{1 - \text{Re } \alpha}{\omega^2 \varepsilon_0 ((\varepsilon_r + 1)^2 \text{Re } \alpha - \varepsilon_r^2 + 1)}$$

$$\varepsilon_r = \sqrt{\frac{-2\rho\omega\varepsilon_0 + \text{Im } \alpha}{\rho^2\omega^2\varepsilon_0^2 \text{Im } \alpha}} - 1$$

La eliminación de la interdependencia y de la relación de resistividad permite obtener una función, la cual, sólo depende de α representada en la ecuación (51).

$$\rho_\alpha = -\frac{1}{2\omega\varepsilon_0} \left(\frac{(1 - \text{Re } \alpha)^2}{\text{Im } \alpha} + \text{Im } \alpha \right) \text{ Ecuación (52)}$$

El problema inverso se reduce a la determinación de α en una práctica medición de impedancia (Z) y se puede expresar al considerar la corriente $I(t)$ y la diferencia de potencial $U(t)$; siendo φ una fase de variación entre las dos señales.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{\hat{U} e^{i\varphi}}{\hat{I}} = \frac{\hat{U}(\cos\varphi + i \sin\varphi)}{\hat{I}} = Z (\cos\varphi + i \sin\varphi) \text{ Ecuación (53)}$$

Si se considera la ecuación (45), el valor de la impedancia para un espacio libre en un cuadripolo ($\alpha = 0$).

$$Z_0 = \frac{1}{i\omega C_0}; Z = Z_0(1 - K^{ES} \alpha)$$

Se despeja el factor α y se procede a sustituir la ecuación (53) obtenido:

$$\alpha = \frac{1}{K^{ES}} \left(1 - \frac{Z}{Z_0} \right); \alpha = \frac{1}{K^{ES}} (1 - i\omega C_0 Z (\cos\varphi + i \sin\varphi))$$

Ecuación (54)

La estimación de la resistividad aparente en una medición capacitiva con condiciones cuasi-estáticas permite obtener una solución única al problema inverso; para luego separar α en un componente cuadratura y en fase:

$$\rho_\alpha = -\frac{1}{2\omega\varepsilon_0} \left(\frac{(1 - \text{Re } \alpha)^2}{\text{Im } \alpha} + \text{Im } \alpha \right)$$

Donde:

$$\text{Re } \alpha = \frac{1}{K^{ES}} (1 + \omega C_0 \text{Im}(Z)) \text{ Ecuación (55)}$$

$$\text{Im } \alpha = \frac{1}{K^{ES}} \cdot \omega C_0 \text{Re}(Z) \text{ Ecuación (56)}$$

Las expresiones para estimar la resistividad capacitiva de la ecuación (52) y la formulada para métodos convencionales como en la ecuación (31); que al ser comparadas se generan relaciones entre ambos métodos. Asimismo, el factor α de la (Ecuación 55) refleja que $Re \alpha \approx 0$, si se considera un número de inducción pequeño.

Cuando el cuadripolo se acerca a ($K^{ES} \approx 1$) genera que el componente de cuadratura de Z se desvanezca (ecuación 55). Producto de las condiciones de respuesta de RC se tiene un solo componente de fase de Z (ecuación 1.56); así que, la ecuación 1.48 se representa por:

$$\rho_a \approx - \frac{Im \alpha}{2\omega\epsilon_0} \approx \frac{C_0}{2\epsilon_0} Re Z \text{ Ecuación (57)}$$

Al compararla con la resistividad aparente para los métodos de corriente continua de la ecuación 1.31 o mediante la sustitución en la fórmula de C_0 se expresa:

$$\rho_a \approx \frac{Re U}{I} K^{DC} \text{ Resistividad Aparente para RC Ecuación (58)}$$

Por lo que, la resistividad aparente es sensible a la fase representado en la (ecuación 1.52), la cual se reduce con el método de corriente continua, que solo incluye el componente en fase de la impedancia compleja. En relación con el instrumento de acoplamiento capacitivo (OhmMapper), el cual funciona sobre los supuestos donde el potencial observado es totalmente en fase; siendo suficiente la medición de la magnitud. No obstante, se justifica omitir la sensibilidad de la fase del potencial cuando:

- a) Se mantienen las condiciones cuasi-estáticas en todos los puntos y en el estudio.
- b) El arreglo geométrico de los sensores implica que el dipolo potencial no se encuentre cerrado o distante del dipolo de corriente.

La condición detallada en el ítem a) se puede considerar como más marginal si se aumentan las condiciones conductivas. De modo que, el reconocimiento de la dependencia de la fase de una medición de RC se debe tanto a la geometría del arreglo del sensor como al mecanismo de acoplamiento capacitivo.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La exploración que presenta el subsuelo nos ayudara a coadyuvar a una mejor determinación y evaluación del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica que presenta el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Correlacionar las formaciones litológicas del subsuelo presentes en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.
- Existe presencia de nivel freático en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.
- Existe la presencia de sumideros y suelos inestables que tiende a formar fenómenos naturales que presenta el subsuelo que afectan el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH
- Existe la presencia de roca firme en el ámbito de estudio del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- a) **Geofísica:** Ciencia encargada del estudio de la Tierra desde la perspectiva de la física. Su objeto de estudio son los fenómenos que se encuentran relacionados con la estructura, condiciones experimentales y la historia de la evolución de la Tierra. Emplea métodos cuantitativos físicos tales como la física de la reflexión y refracción de ondas mecánicas y otros métodos que se basan en la medición de los campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos, la gravedad y en los fenómenos radiactivos (Barker, 1993).
- b) **Prospección geofísica:** Conjunto de técnicas matemáticas y físicas que se aplican en la exploración del subsuelo como ocurre en la búsqueda y estudio de lo yacimientos de sustancias como los minerales, el petróleo, aguas subterráneas, entre otros; mediante observaciones que se realizan a la superficie de la Tierra. Al aplicar métodos geofísicos se puede determinar tanto la estratificación de los suelos como de las rocas; al medir los cambios de

características físicas de los materiales como en la velocidad de propagación de ondas, la conductividad o la resistividad del suelo o del subsuelo, así como la susceptibilidad magnética (Barker, 1993).

- c) **Geoeléctrica:** La investigación de la distribución de conductividades y resistividades eléctricas en el subsuelo a partir de unos pocos metros hasta kilómetros. En los métodos inductivos se emplean las corrientes inducidas en el subsuelo a través de frecuencias relativamente altas que se encuentran en el rango de entre 100 Hz y 1 MHz por sondeos eléctricos. Una variante de esta se presenta en la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) que incluye un arreglo de electrodos favorable para la representación de una imagen en 2D del subsuelo; además, a través de la relación resistividad/conductividad para interpretar la composición del subsuelo.
- d) **Resistividad del suelo:** Conocida como resistencia específica del terreno. Propiedad para conducir la electricidad. Para la medición se procede a promediar los efectos de las capas que componen el terreno; dado que al no ser uniformes en composición se obtiene la “Resistividad Aparente” o “Resistividad del terreno”
- e) **Suelos colapsables:** Suelos que han sufrido alteraciones físicas y mecánicas en el entorno natural. En la geología, los problemas se presentan a lo largo del tiempo, tanto los factores como los antecedentes se presentan en áreas susceptibles a ser afectadas por cambios bruscos (Griffiths, 1993).
- f) **Tomografía eléctrica:** Método de resistividad multi-electrónico que se basa en la modelización en 2D de la resistividad de un terreno; a través del uso de técnicas numéricas como de las diferencias finitas o de elementos finitos.
- g) **Electrodo de Acoplamiento Capacitivo:** Conducto eléctrico empleado para hacer contacto con una parte metálica de un circuito. Se emplea para la interconexión entre las etapas de resistividad del suelo, donde se desea amplificar las señales como ocurre con un semiconductor o un electrolito.
- h) **Colapso de suelo:** Fenómeno que genera la reducción del volumen de un terreno; a causa de los cambios en la humedad o por aplicar cargas sin adición de agua. Entre los suelos con más susceptibilidad al colapso se encuentran:

- Suelos que poseen una granulometría tipo limo, que contiene arcillas con estructuras flojas.
 - Suelos granulares que tienen un bajo peso específico.
- i) **Electromagnetismo:** También denominado como teorías de campos; donde las predicciones y explicaciones que se generan están en base a magnitudes físicas tensoriales o vectoriales, las cuales dependen de la posición en el espacio; a la par, del tiempo. Mediante el electromagnetismo se describen los fenómenos físicos macroscópicos donde intervienen cargas eléctricas que pueden estar en reposo o en movimiento. Para ello emplean campos magnéticos y eléctricos; así como, los efectos en las sustancias en estado sólido, líquido y gaseoso. Se considera como una teoría macroscópica aplicada a un determinado número grande de partículas y a distancias grandes en relación con cada una de sus dimensiones; no obstante, no describe fenómenos moleculares y atómicos; dado que, para estos es necesario emplear la mecánica cuántica (Griffiths, 1993).
- j) **Agua subterránea:** Es una fracción relevante de la masa de agua que se encuentra en los continentes y bajo la superficie de la Tierra, ubicada en el subsuelo y en el suelo; dado que, la superficie terrestre se refiere un término que incluye el espesor y se le considera como tridimensional. Es mayor el volumen de agua subterránea en comparación a la masa de agua que se encuentra en lagos o circulante; sin embargo, es menor que el volumen de glaciares. Además, las masas con mayor extensión pueden alcanzar superficies superiores al millón de kilómetros cuadrados (Griffiths, 1993).
- k) **Nivel freático:** Conocido como manto freático o capa freática. Indica el nivel superior de una capa freática o de un acuífero. Durante la perforación de un pozo de captación de agua subterránea ubicada en un acuífero libre, el nivel freático está expresado como la distancia donde se halla el agua a partir de la superficie de la zona. Además, la presión de agua es igual a la presión atmosférica. Para un acuífero confinado, en el pozo el nivel del agua se refleja en el nivel piezométrico (Barker, 1993).
- l) **Geomorfología:** Rama de la geología y de la geografía física que tiene por finalidad el estudio de las formas de la superficie de la Tierra a través de la descripción, entendimiento del origen y de su comportamiento actual. La

geomorfología está vinculada con otras ciencias. Entre los modelos geomorfológicos se tiene uno que plantea que las formas de la superficie terrestre como producto de un balance dinámico, el cual cambia en el tiempo; entre procesos de construcción y destrucción que se conoce como ciclo geográfico. Asimismo, la geomorfología está centrada en el estudio de las formas del relieve incluyendo a otras ciencias de la Tierra como la climatología, glaciología, hidrografía, entre otras; dado que, el relieve es resultado de la dinámica que se genera en la litósfera. La interacción con otras ciencias le permite incluir la incidencia de fenómenos tales como los antrópicos, biológicos y geológicos que se dan en el relieve. Como ciencia está vinculada con la geografía física y humana por los riesgos naturales y la relación que existe entre el hombre y su medio; también con la geografía matemática por la topografía (Barker, 1993).

- m) **Litología:** Esta parte de la geología se encarga del estudio de las características de las rocas en una formación geológica; en otras palabras, una unidad litostratigráfica ubicada en la superficie del terreno o caracterizar las rocas de una muestra en específico. A diferencia de la petrología, la cual estudia y describe las características de los tipos de rocas existentes. Sin embargo, en la antigüedad en el francés y el castellano se empleo la petrología como sinónimo de litología. Tal es el caso, del estudio de las características del granito o en específico de un tipo de granitos que se hallan en un lugar se refiere a la petrología. Mientras que, al estudiar una variedad de rocas y se puede incluir granitos que atraviesa una carretera forma parte de lo geotécnico; por lo que, es litología, mediante la clasificación de acuerdo con la resistividad máxima que se encuentra en profundidades promedio y con ello, clasificar las rocas (Griffiths y Barker, 1993).

Material		Resistividad
Andosoles	No saturados	300-1000
	Saturados	30-50
	Secos	1000-2500
Arcillas	No saturadas	20-40
	Saturadas	5-20

	Saturadas con agua salada	1-10
Arenas	No saturadas	400-700
	Saturadas	100-200
Basamento	Roca fracturada	1500-5000
	Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
	Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
	Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Gravas	No saturadas	500-2000
	Saturadas	300-500
Grus	No saturado	500-1000
	Saturado	40-60
Limos	Saturados	20-100
	No saturados	100-200
Saprolito	No saturado	200-500
	Saturado	40-100

Tabla N°05 Descripción del material según su resistividad.

Fuente. Resistividad de agua y algunas rocas (Astier, 1975)

- n) **Resistencia:** También denominado como resistividad o resistencia específica el terreno. Es una propiedad que tiene el suelo para la conducción de electricidad. Para su medición, al promediar los efectos en las capas se que se encuentran en terreno; dado que, no son uniformes en su composición y se obtiene la “Resistividad Aparente”, la cual se denominará en la presente investigación como “Resistividad del Terreno”.
- o) **Capas:** También denominadas como estratos. Durante las etapas que forman parte de los procesos, al inicio se genera la alteración de ciertos factores químicos y físicos de las rocas por acción geológica del agua o de otros agentes; luego, influyen los seres vivos generándose el perfil de los suelos.
- Horizonte O: Capa vegetal de tierra que en la mayoría de casos contiene materia orgánica, la cual procede de los restos de los insectos y de la vegetación, la misma que cubre esta capa.
 - Horizonte A: Capa vegetal que se compone de material mineral, con menor proporción de materia orgánica descompuesta que visualmente es de color oscuro.
 - Horizonte B: Denominado como capa de acumulación, es una capa de subsuelo donde se depositan materiales procedentes de los horizontes superiores (A y B). Su coloración es rojiza, amarillenta, café o tostado.

- Horizonte C: Semejante al material matriz original presente en los suelos. Contiene rocas de gran tamaño y no se evidencian filtraciones, remociones o la deposición de materiales.
- Roca Madre: Considerada como roca principal y última capa, la cual es el inicio para los otros horizontes.
- Saprolito: Roca meteorizada con apariencia de una masa de grava o arcilla, donde se pueden encontrar estructuras pertenecientes a la roca original. Además, un saprolito puede ser parte de un regolito.
- Grus: También denominado como regolito granítico, arena granítica o lehm granítico. Consiste en una acumulación de fragmentos angulosos, caracterizados por un grano grueso como las partículas de grava y arena que son resultado de la desintegración granular generada a través de la meteorización mecánica de las rocas o por procesos químicos como ocurre en las zonas semiáridas y áridas. La cementación de la arena de grus forma una arenisca, de forma específica una arcosa.
- Andosoles: Suelos volcánicos, formados por encima de vidrios volcánicos y cenizas; se generan por materiales piroclásticos. Presentan colores oscuros cuando son suelos jóvenes, con alta porosidad, ligereza, permeabilidad, con una buena estructura y con facilidad de trabar. La fertilidad es considerable; sin embargo, tiene ciertas limitaciones detalladas luego.

2.5. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES

2.5.1.VARIABLE GENERAL

Exploración del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoeléctrica

2.5.2.VARIABLE ESPECÍFICAS

- V.E.1 Características litológicas del subsuelo
- V.E.2 Profundidad del nivel freático
- V.E.3 Sumideros existentes
- V.E.4 Roca firme o suelos rígidos

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

- ❖ El ámbito del estudio experimental se realizó en el cerco perimétrico presente en la Facultad de Ingeniería de Minas Civil – Ambiental (FIMCA) de la Universidad Nacional de Huancavelica, ubicada en el distrito de Lircay, provincia de Angaraes y región de Huancavelica con el fin de analizar las prospecciones geofísica – geoelectrica

- ❖ **Ubicación Política:**

Región	: Huancavelica.
Provincia	: Angaraes
Distrito	: Lircay
Lugar	: Ciudad Universitaria

- ❖ **Ubicación Geográfica:**

Altitud	: 3909 m.s.n.m.
Latitud sur	: 13° 50' 26"

Longitud oeste : 74° 38' 09"

3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Según Gonzales (2011), las investigaciones de tipo aplicada hacen uso de las investigaciones básicas con la finalidad de contrastar una hipótesis y resolver un problema por lo que el tipo de investigación que se ha establecido. Para el presente trabajo es de tipo aplicada quien depende de los descubrimientos y avances de la investigación pura o básicas y se enriquece de ellos. A diferencia de la pura, ésta persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar.

3.2.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

Las investigaciones de nivel explicativo cuentan con una variable dependiente y variable independiente en donde está orientado a argumentar las razones de los fenómenos y eventos físicos. Así, su propósito se basa en ilustrar porque se presenta un fenómeno y bajo qué escenarios se manifiesta o en su defecto porque existe una ligación entre las variables (Hernández Sampieri, 2014)

Bajo ésta consideración la investigación pertenece al **nivel explicativo**. Debido a que buscamos explicar la exploración del nivel freático, la estratificación mitológica del subsuelo y la determinación de sumideros presentes en el cerco perimétrico

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método científico es un método general en donde inicia con el planteamiento del problema, se traza un objetivo, una hipótesis para luego obtener resultados y mediante ello discutir y concluir, asimismo este método viene a ser un mecanismo que permite estudiar las circunstancias en que se presentan los fenómenos específicos, en base a las características son: ser verificable, empírica, de juicio riguroso y ser tentativo. Adicionalmente, este método permite plantear el problema,

someter a prueba la hipótesis y por último fijan los instrumentos para el trabajo de investigación (Tamayo, 2003)

Según estos fundamentos se aplicará el **método científico** por que se observa las inducciones y deducciones teniendo en consideración el esquema de la Universidad Nacional de Huancavelica.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1.DISEÑO GENERAL

Para Valderrama (2013), los diseños experimentales tratan en manipular la variable independiente con la finalidad de obtener diferentes resultados de la variable dependiente, por lo que el diseño adecuado del experimento es una etapa fundamental de la experimentación, que permite el suministro correcto de datos a posteriori, los que a su vez conducirán a un análisis objetivo y con deducciones válidas del problema. Se utilizará en la investigación el Diseño General transversal Descriptivo debido a que las recolecciones de datos se realizaron en un tiempo definido.

Esquema

M → A → E → R

- **Muestra.** De acuerdo a la investigación y verificación del terreno para determinar las clasificaciones del suelo, presencia de sumideros y roca firme se utilizó el sondaje eléctrico vertical con 4 puntos específicos en el subsuelo del Cerco perimétrico de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica
- **Análisis:** respecto a la investigación se analizó las características geológicas, luego la presencia de sumideros existentes, nivel freático y la roca firme en el subsuelo del cerco perimétrico de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica
- **Evaluar.** El efecto de ambigüedades en la interpretación de las curvas para la determinación el nivel freático, se evaluó la presencia de arcilla orgánica e inorgánica luego la estratificación litológica del subsuelo, se

evaluó la anomalía presente en la lectura del sondaje eléctrico, se evaluó el comportamiento de los sumideros y las fracturaciones de la roca firme.

- **Resultado:** los resultados obtenidos en la investigación son favorables y en encontrado la mayor parte de aceptación en cuanto a los objetivos planteados con exención de la existencia de sumideros que solo se encontró en C1 Y C4, en el C1 se encontró roca de baja fracturación a 15 metros y en C2 no se encontró roca de baja fracturación pero si se encontró suelos compactos a 7 metros, en el C3 no se encontró roca de baja fracturación ni suelos compactos se verificó que se encontró mezcla de arena y gravas saturadas a 10 metros en el C4 no se encontró roca de baja fracturación pero si se encontró la presencia de suelos compactos a 10 metros .

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. POBLACIÓN

Es un conglomerado restringido o ilimitado de seres, elementos u objetos, que poseen atribuciones o características habituales, susceptibles a ser percibidos (Valderrama Mendoza, 2013).

La población estará constituida en el subsuelo del cerco perimétrico del campus universitario, categoría esencial, ubicadas en la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica.

3.5.2. MUESTRA

Hernández Sampieri, (2014) menciona, que la muestra es representativa y pertenece a la población de estudio de donde se recopilará información precisa y pormenorizada, previamente se deberá delimitarse con suma precisión.

En este sentido la muestra en el trabajo de investigación estuvo conformada por cuatro sondajes eléctricos verticales de la cual se introducirá los electrodos en el subsuelo del Cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas, Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica,

Tabla 6: Coordenadas de los Sondajes Eléctricos Vertical (SEV)

Sondeo	Sentido	Coordenadas en UTM	Distancia (m)
SEV-01	INICIO	530214.00 m E	100.00m
		8563265.00 m S	
	CENTRO	530173.00 m E	
		8563289.00 m S	
	FINAL	530126.00 m E	
		8563315.00 m S	
SEV-02	INICIO	530115.00 m E	37.12m
		8563305.00 m S	
	CENTRO	530102.00 m E	
		8563294.00 m S	
	FINAL	530101.00 m E	
		8563275.00 m S	
SEV-03	INICIO	530101.00 m E	87.31m
		8563248.00 m S	
	CENTRO	530118.00 m E	
		8563212.00 m S	
	FINAL	530137.00 m E	
		8563169.00 m S	
SEV-04	INICIO	530145.00 m E	76.17m
		8563166.00 m S	
	CENTRO	530178.00 m E	
		8563186.00 m S	
	FINAL	530205.00 m E	
		8563209.00 m S	

Fuente: (Elaboración propia 2019)

Figura 15: puntos seleccionados para la toma de muestra



Fuente: (Elaboración propia 2019)

3.5.3.MUESTREO

Mendoza (2013) menciona que el Muestreo no Probabilístico “es el que deliberadamente obtiene muestras que representen el universo”. Bajo este análisis se empleó el Muestreo no Probabilístico por que el investigador propone el punto específico a estudiar y por conveniencia del investigador se eligió la muestra deseada.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1.TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas de la observación directa “es un proceso intencional que nos permite recoger información precisa y objetiva sobre los rasgos y características de las unidades de análisis”

Se elaboró cuatro sondajes eléctrico en el subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica con fin de caracterizar e identificar las anomalías presentes en el subsuelos de cual. Se plantaron cuatro electrodos dos electrodos son los que expulsan el voltaje eléctrico y dos sobrantes electrodos recepciona ese voltaje luego vota valores en ohm/metro para llevar los datos en conjunto a un programa de software para ser evaluado y obtener resultado del subsuelo

3.6.2.INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para poder determinar las características litológico del subsuelo, la profundidad del nivel freático, existencia de sumideros y roca firme se usó el Equipo de resistímetro (AEMC 6471 y Resistance Tester Kit with Clamps - 300ft) con electrodos de cobre capacitivos para resistividad y prospección del subsuelo.

El procesamiento de datos se realizó en el área de gabinete de la empresa privada Laboratorio en Control de Calidad de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto E.I.R.L suscrita en la ENDECOPI resolución N°16130-2013/OSD con su Software instalado y compatible con el equipo de resistividad e prospección del

suelo (Res2Dinv y Ipi2Win).de la cual nos vota el resultado de la tomografía eléctrica del cerco perimétrico,

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La Técnica para procesar los datos primero se seleccionaron 4 puntos estratégicos que abarque del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica. El Primer punto de selección SEV N°01 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Guzmán el Segundo punto de selección SEV N°02 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Guzmán el Tercer punto de selección SEV N°03 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Sumayta. Y el Cuarto punto de selección SEV N°04 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Buendía. Luego se determinó la tomografía el con el sondaje eléctrico,

El análisis o evaluación de tomografía mediante parámetros se interpretó con el cuadro de parámetros geológica de subsuelo, puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, pero para que la curva de resistividad aparente sea interpretable, el subsuelo debe estar representado por capas horizontales y homogéneas.

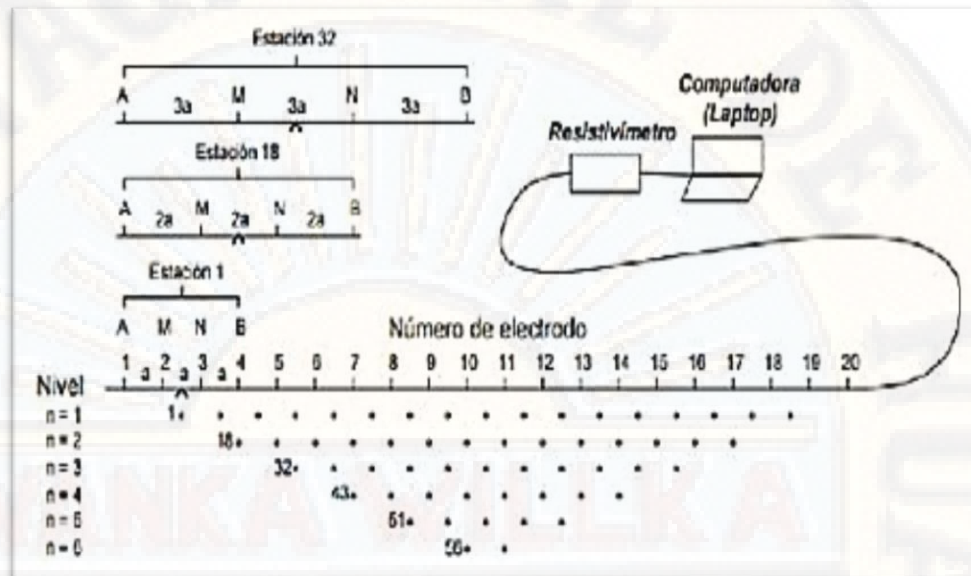
Esquema del dispositivo Wenner - Schlumberger.

Con todos los electrodos conectados al resistivímetro, y mediante un programa secuencial específico que se crea para cada objetivo, el aparato toma lecturas a distancias proporcionadas y equitativas para obtener resultados favorables.

De esta manera se obtienen gran número de puntos de resistividades aparentes.

Cada electrodo incrustado deberá estar plantada no mayor a los $\frac{3}{4}$ parte de su dimensión, para obtener lecturas en instancias secas de tendrá que usar agua con mezcla de sal yodada esta es aplicable para obtener una buena señal entre electrodos y una buena alternativa en caso donde la humedad es casi nuca como las costas o los desiertos.

Figura 16: Configuración de electrodos para un estudio 2D y secuencia de mediciones para la obtención de una pseudosección mediante dispositivo Wenner.



Fuente: (Loke, 2004)

Parámetros para la interpretación

Un SEV puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, pero para que la curva de resistividad aparente sea interpretable, el subsuelo debe estar representado por capas horizontales y homogéneas. En muchos casos la realidad se acerca lo suficiente a esta restricción teórica como para que los resultados sean aprovechables; en otros casos el procedimiento no es aplicable como zonas rocosas compactas, zonas minadas, zonas eléctricas, zonas de alta tensión de magnetismo.

Parámetros para la interpretación geológica del subsuelo

Tabla N°07 - 01: *Parámetros geológicos referenciados de la página científica dedicada a estudios geofísicos*

	TERCEARIO – material soluble en agua (margas y margocalizas)
	TERCEARIO – arcillas inorganicas (conglomerados, areniscas y arcillolitas)
	TERCEARIO – mezcla de limos y arcillas (conglomerados, areniscas y arcillolitas)
	CRETÁCICO – arenas arcillosas (calizas, calizas arenosas, calizas de arroyo de rios y margas)
	CRETÁCICO – mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas (calizas, calizas arenosas, calizas de arroyo de rios y margas)
	JURÁSICO – mezcla de gravas y arenas (areniscas, conglomerados y lutitas)
	JURÁSICO – suelos compactos de conformacion de gravas arenosas y gravas compactas – conformacion de rocas de baja alteracion o de baja meteorizacion.

Fuente: <https://buscaraguasubterranea.com/> y <http://www.tecnicasgeofisicas.com/>

Tabla N°07 - 02 *Resistividad eléctrica de la estratigrafía del tipo de material*

	Material	Resistividad
Andosoles	No saturados	300-1000
	Saturados	30-50
	Secos	1000-2500
Arcillas	No saturadas	20-40
	Saturadas	5-20
	Saturadas con agua salada	1-10
Arenas	No saturadas	400-700
	Saturadas	100-200
Basamento	Roca fracturada	1500-5000
	Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
	Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
	Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Gravas	No saturadas	500-2000
	Saturadas	300-500
Grus	No saturado	500-1000
	Saturado	40-60
Limos	Saturados	20-100

	No saturados	100-200
Saprolito	No saturado	200-500
	Saturado	40-100

Fuente. Resistividad de agua y algunas rocas (Astier, 1975)



CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

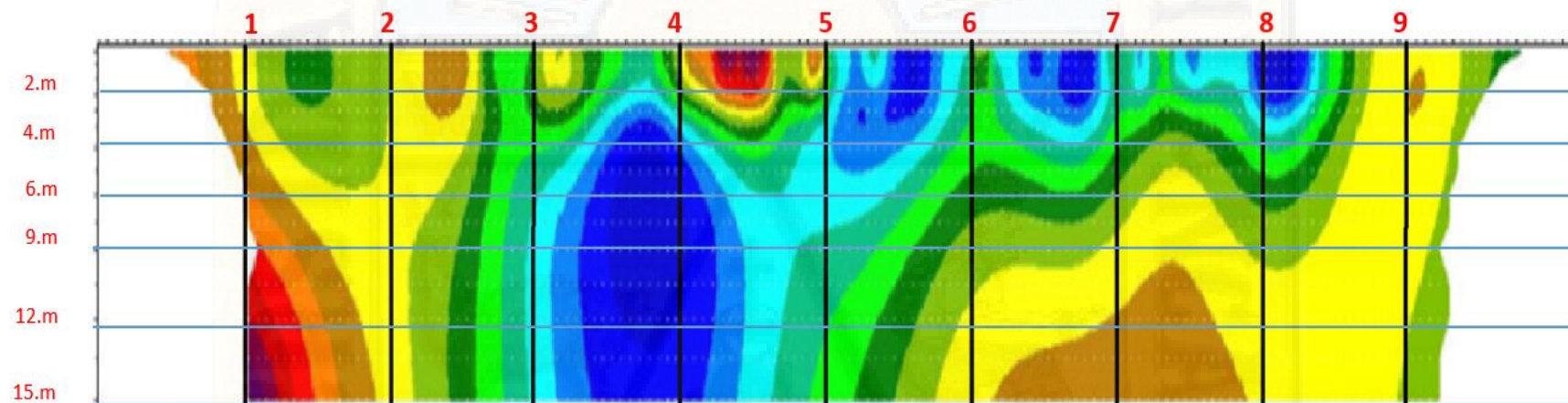
4.1. PRESENTACIÓN DE DATOS

De acuerdo a los análisis se obtuvieron los siguientes resultados respecto a la exploración del sub suelo en el cerco perimétrico de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica.

4.1.1. ANÁLISIS DE DATOS

4.1.1.1. RESULTADO DE LA PROSPECCIÓN DEL SUBSUELO – SEV N°01

DE ACUERDO A LOS ANÁLISIS SE OBTUVIERON LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL SUBSUELO DEL ENSAYO SEV N°01



ANÁLISIS

Se analizaron 9 puntos para la características litológicas del sub suelo

De acuerdo a los resultados obtenidas en las características litológicas se verifica que el ensayo SEV N°01 el suelo predominante son las arcillas y limos inorgánicos

El software usado para la caracterización litológica del sub suelos **Res2Dinv**



PUNTO N°01			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	405.00	arenas arcillosas	SC
4.00m	452.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas	SM-SC
6.00m	455.00	mezcla de gravas y arenas saturadas	GP
9.00m	375.00		
12.00m	495.00		
15.00m	860.00	rocas de baja fracturacion - saturadas	

PUNTO N°02			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	35.00	arcillas inorganicas	CL
4.00m	30.00		
6.00m	400.00	arenas arcillosas	SC
9.00m	125.00	arenas arcillosas - saturadas	
12.00m	175.00		
15.00m	180.00		

PUNTO N°03			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	130.00	arenas arcillosas	SC
4.00m	185.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
6.00m	170.00		
9.00m	17.00	arcillas inorganicas - saturadas	CL
12.00m	15.00		
15.00m	20.00		

PUNTO N°04			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	25.00	arcillas inorganicas	CL
4.00m	20.00		
6.00m	42.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
9.00m	55.00		
12.00m	41.00		
15.00m	12.00	arcillas inorganicas	CL

PUNTO N°05			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	134.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
4.00m	32.00	arcillas inorganicas	CL
6.00m	27.00		
9.00m	10.00	arcillas inorganicas saturadas	
12.00m	14.00		
15.00m	108.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturadas	ML-CL

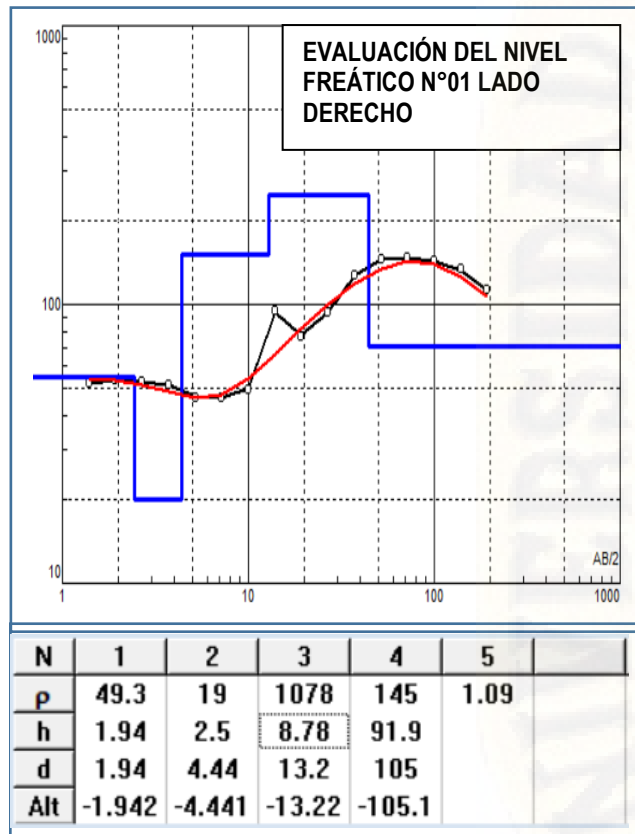
PUNTO N°06			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	165.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
4.00m	25.00	arcillas inorganicas	CL
6.00m	38.00		
9.00m	181.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturadas	ML-CL
12.00m	124.00	arenas arcillosas saturadas	SC
15.00m	168.00		

PUNTO N°07			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	26.00	arcillas inorganicas	CL
4.00m	34.00		
6.00m	85.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
9.00m	165.00	arenas arcillosas saturadas	SC
12.00m	142.00		
15.00m	180.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC

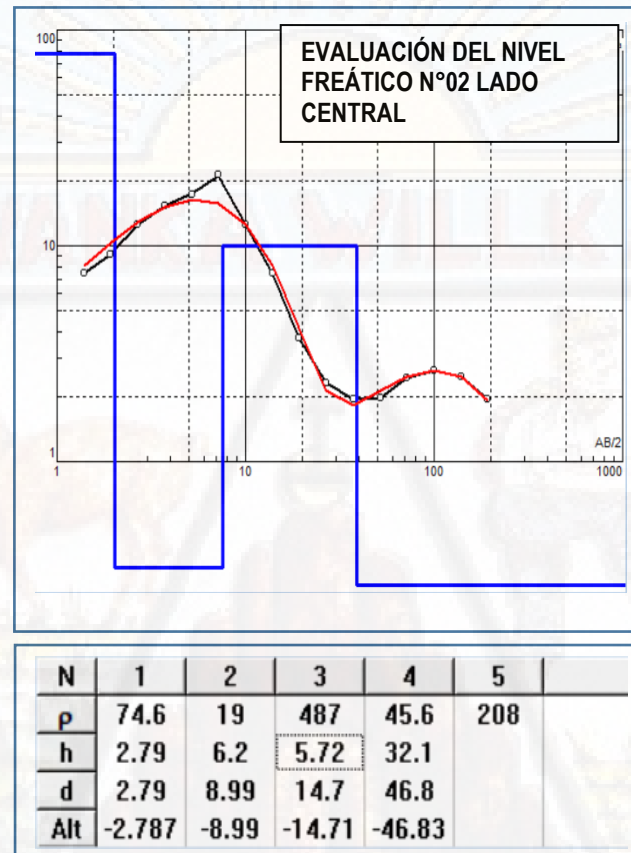
PUNTO N°08			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	42.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
4.00m	55.00		
6.00m	25.00	arcillas inorganicas	CL
9.00m	92.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
12.00m	168.00	arenas arcillosas	SC
15.00m	174.00		

PUNTO N°09			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
2.00m	435.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas	SM-SC
4.00m	400.00	arenas arcillosas	SC
6.00m	435.00		
9.00m	132.00	arenas arcillosas saturadas	
12.00m	140.00	arcillas inorganicas saturadas	CL
15.00m	19.00		

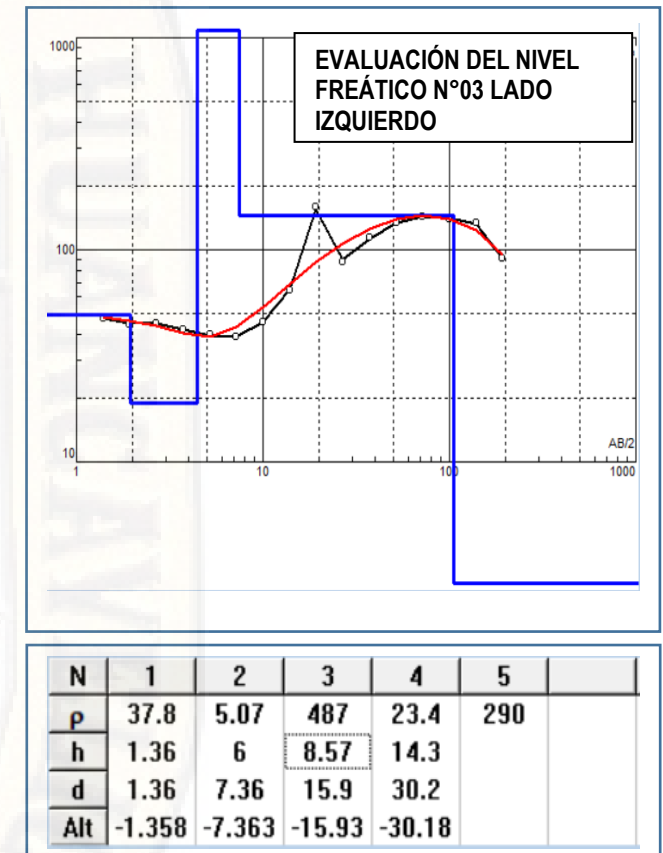
RESULTADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL ENSAYO SEV N°01



EN EL ANÁLISIS LADO DERECHO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 8.79M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO



EN EL ANÁLISIS LADO CENTRAL PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 5.72M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO



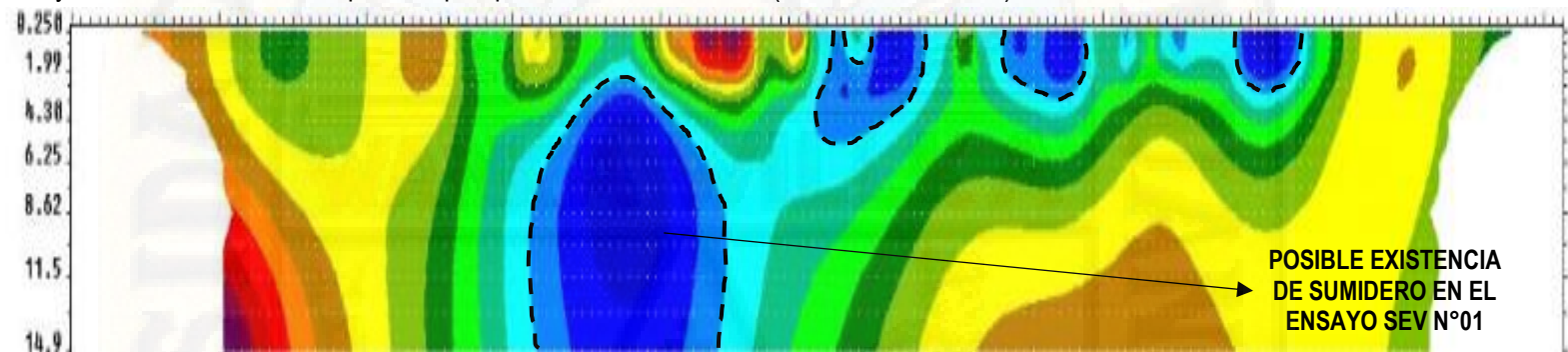
EL SOFTWARE USADO PARA LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO PRESENTE EN EL SUB SUELO EN EL SEV N°01

EN EL ANÁLISIS LADO IZQUIERDO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 8.57M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

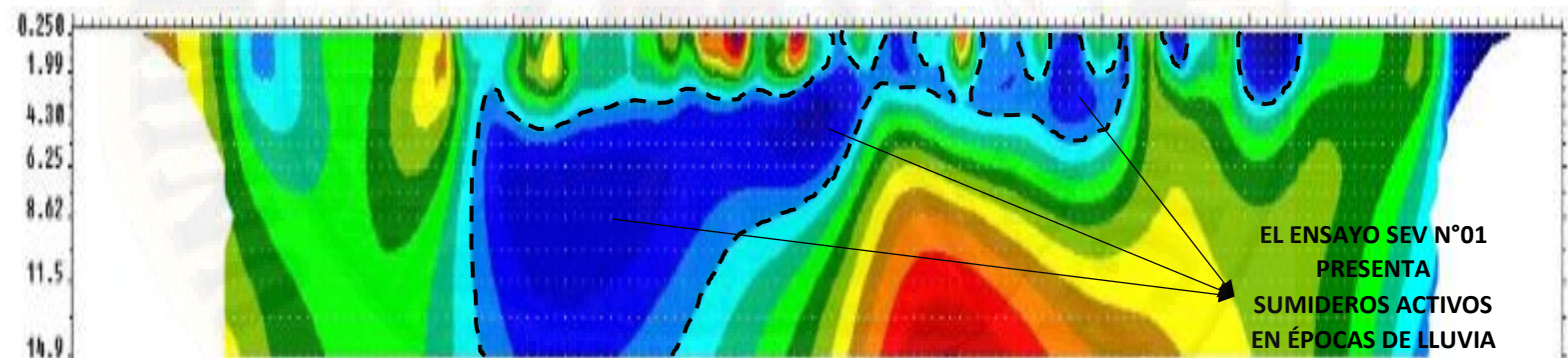
SE CONCLUYE DE ACUERDO A LOS EFECTOS LATERALES Y CENTRAL DE AMBIGÜEDADES EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS SE CONCLUYE QUE LA PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO EN EL SEV N°01 ESTÁ A UNA PROFUNDIDAD PROMEDIA DE 5.00M COMO PROFUNDIDAD MÍNIMA Y COMO PROFUNDIDAD MÁXIMA A 8.00M

RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SUMIDEROS EXISTENTES EN EL ENSAYO DE SEV N°01

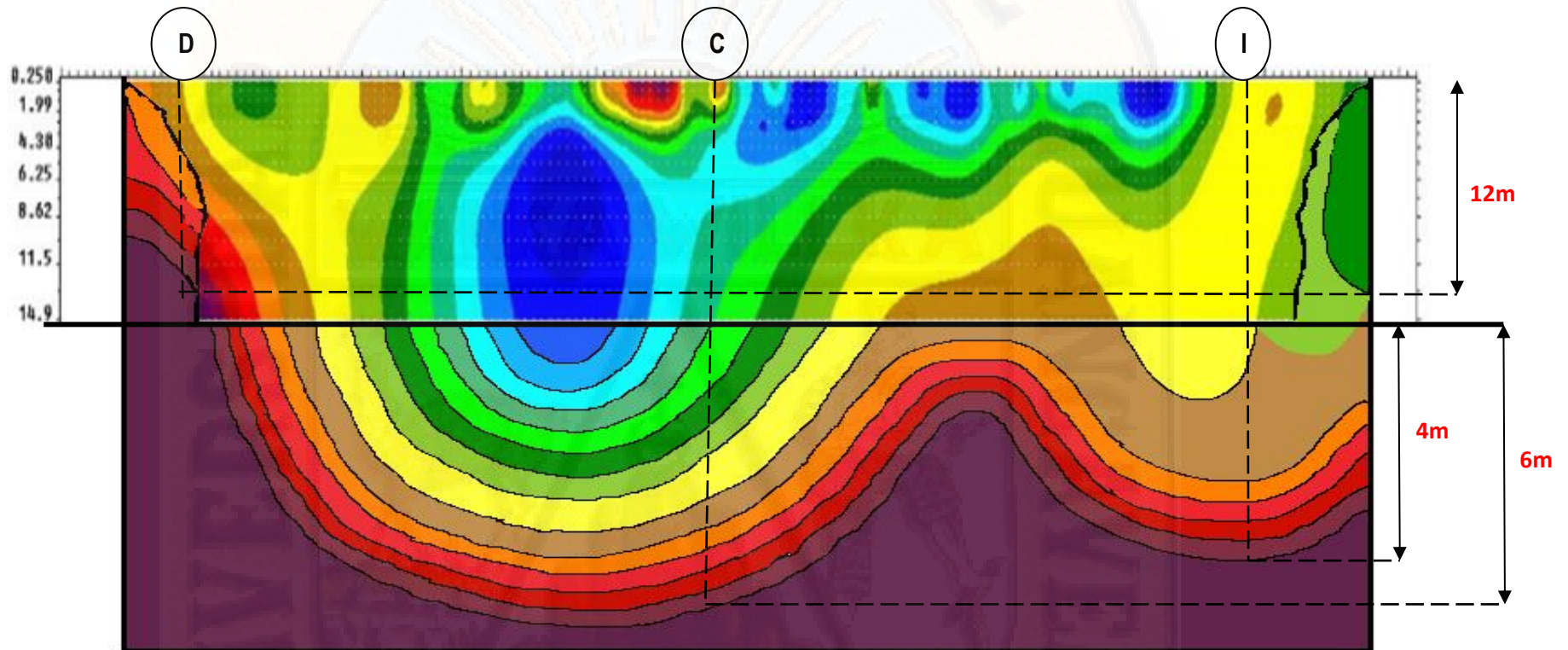
Resultados de La primera evaluación del ensayo SEV N°01 en el mes de julio del 2019 lo cual fue una fecha soleada y en épocas de sequía en la ciudad de Lircay con el fin de obtener la primera prospección del SEV N°01. (Software Res2Dinv)



Resultado de la segunda evaluación del ensayo SEV N°01 en el mes de diciembre del 2019 lo cual fue una fecha lluviosa en la ciudad de Lircay se identificó la existencia de sumidero por presentar cambios de volúmenes y expansión del material presentes en el sumidero lo cual se concluye que son suelos solubles en agua (MARGAS Y MARGOCALIZAS.) que se activan en épocas lluviosas. (software Res2Dinv)



RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LA ROCA FIRME O SUELO RIGIDOS EN EL ENSAYO DE SEV N°01



ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN DERECHO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 12M

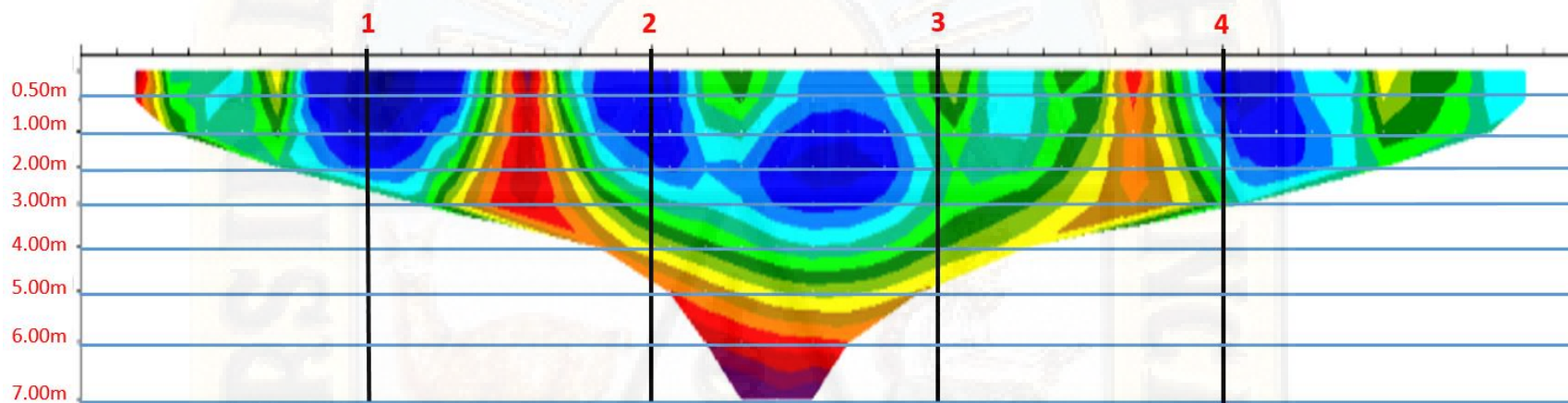
ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN CENTRAL PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 18M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN IZQUIERDO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 20M

PARA EVALUAR LA ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS DEBEN PRESENTA UNA RESISTIVIDAD MAYOR A LOS 1000.00 Ωm PARA SER SEÑALADO COMO ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS CON LA AYUDA DEL SOFTWARE Res2Dinv LO CUAL SE CONCLUYE QUE EL ENSAYO SEV N°01 PRESENTA ROCAS FIRMES O SUELOS RIGIDOS

4.1.1.2. RESULTADO DE LA PROSPECCIÓN DEL SUBSUELO – SEV N°02

DE ACUERDO A LOS ANÁLISIS SE OBTUVIERON LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL SUBSUELO DEL ENSAYO SEV N°02



ANÁLISIS	
Se analizaron 4 puntos para las características litológicas del sub suelo	
De acuerdo a los resultados obtenidas en las características litológicas se verifica que el ensayo SEV N°02 el suelo predominante son arenas arenas arcillosas con mezcla de gravas	
El software usado para la caracterización litológica del sub suelos	Res2Dinv



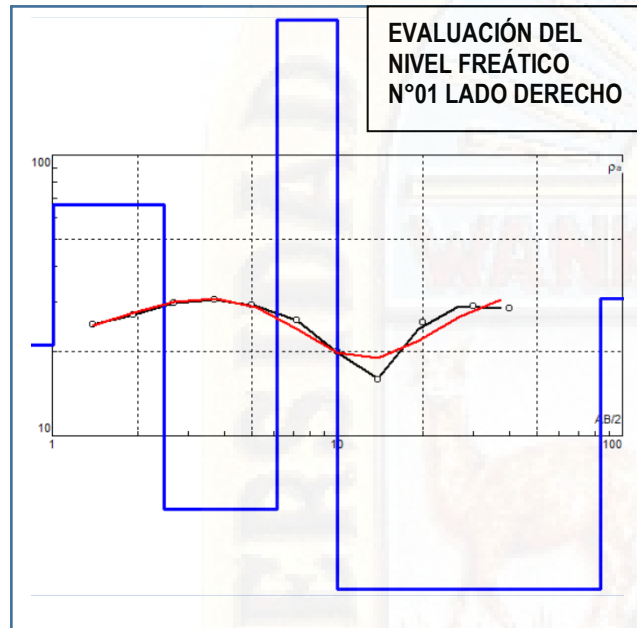
PUNTO N°01			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
0.50m	45.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
1.00m	42.00		
2.00m	40.00		
3.00m	38.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
4.00m	185.00	arenas arcillosas saturadas	SC
5.00m	85.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
6.00m	425.00	gravas y arenas saturadas	GP
7.00m	912.00	suelos compactos saturadas	

PUNTO N°02			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
0.50m	40.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
1.00m	48.00		
2.00m	42.00		
3.00m	35.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
4.00m	190.00	arenas arcillosas saturadas	SC
5.00m	400.00	gravas y arenas saturadas	GP
6.00m	472.00		
7.00m	865.00	suelos compactos saturadas	

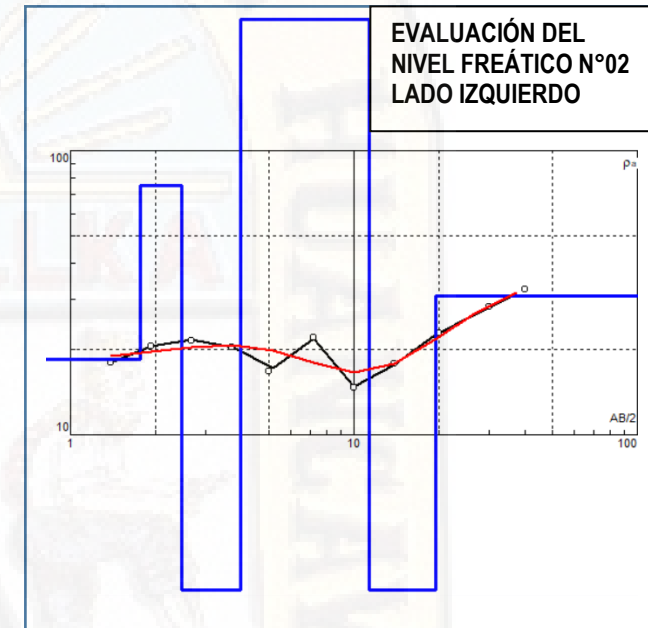
PUNTO N°03			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
0.50m	105.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
1.00m	135.00		
2.00m	100.00		
3.00m	100.00		
4.00m	57.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturadas	
5.00m	165.00	arenas arcillosas saturadas	SC
6.00m	95.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
7.00m	485.00	gravas y arenas saturadas	GP

PUNTO N°04			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
0.50m	33.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
1.00m	40.00		
2.00m	25.00		
3.00m	30.00	arcillas inorganicas	CL
4.00m	168.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturada	ML-CL
5.00m	177.00	mezcla de arenas limos y arenas arcillas saturada	SM-SC
6.00m	465.00	gravas y arenas saturada	GP
7.00m	911.00	suelos compactos saturada	

RESULTADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL ENSAYO SEV N°02



N	1	2	3	4	5	6
p	21.2	71.8	5.06	566	1.4	30.7
h	1.04	1.34	4.22	2.34	74.8	
d	1.04	2.38	6.6	8.94	83.8	
Alt	-1.042	-2.38	-6.595	-8.939	-83.77	



N	1	2	3	4	5	6
p	18.4	75.1	2.34	289	1.07	30.7
h	1.76	0.698	4.14	4.53	8.25	
d	1.76	2.46	6.6	11.1	19.4	
Alt	-1.761	-2.459	-6.595	-11.12	-19.37	

EN EL ANÁLISIS LADO DERECHO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 4.22M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

EN EL ANÁLISIS LADO IZQUIERDO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 4.14M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

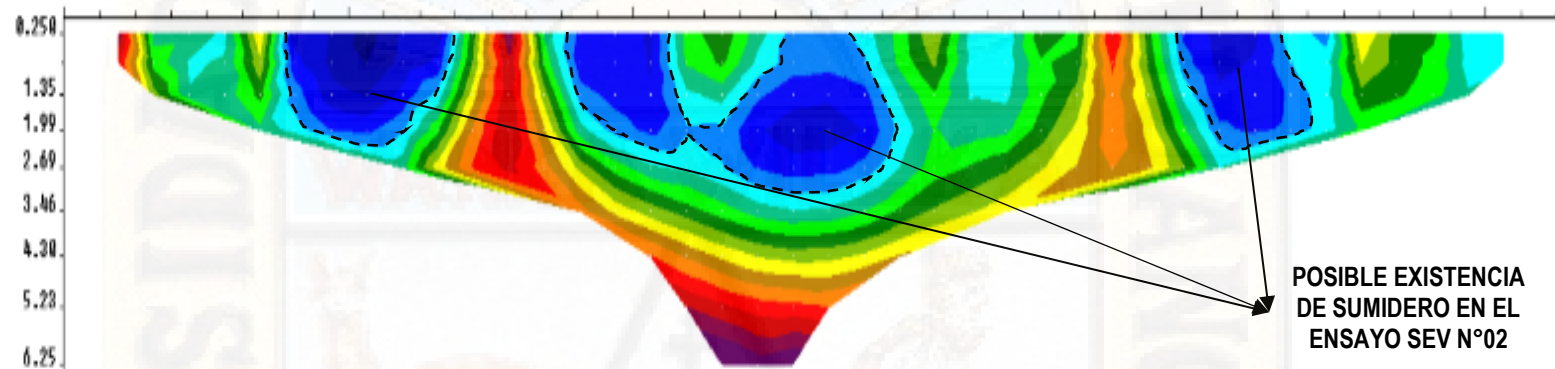
SE CONCLUYE DE ACUERDO A LOS EFECTOS LATERALES DE AMBIGÜEDADES EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS SE CONCLUYE QUE LA PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO EN EL SEV N°02 ESTÁ A UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE 4.M

EL SOFTWARE USADO PARA LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO PRESENTE EN EL SUB SUELO EN EL SEV N°02

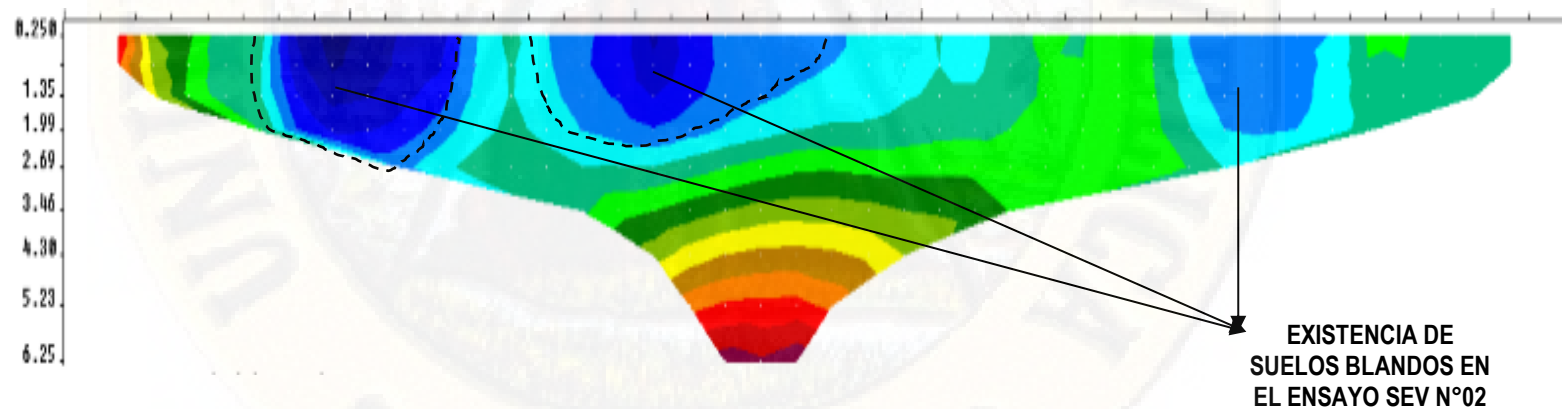
Ipi2Win

RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SUMIDEROS EXISTENTES EN EL ENSAYO DE SEV N°02

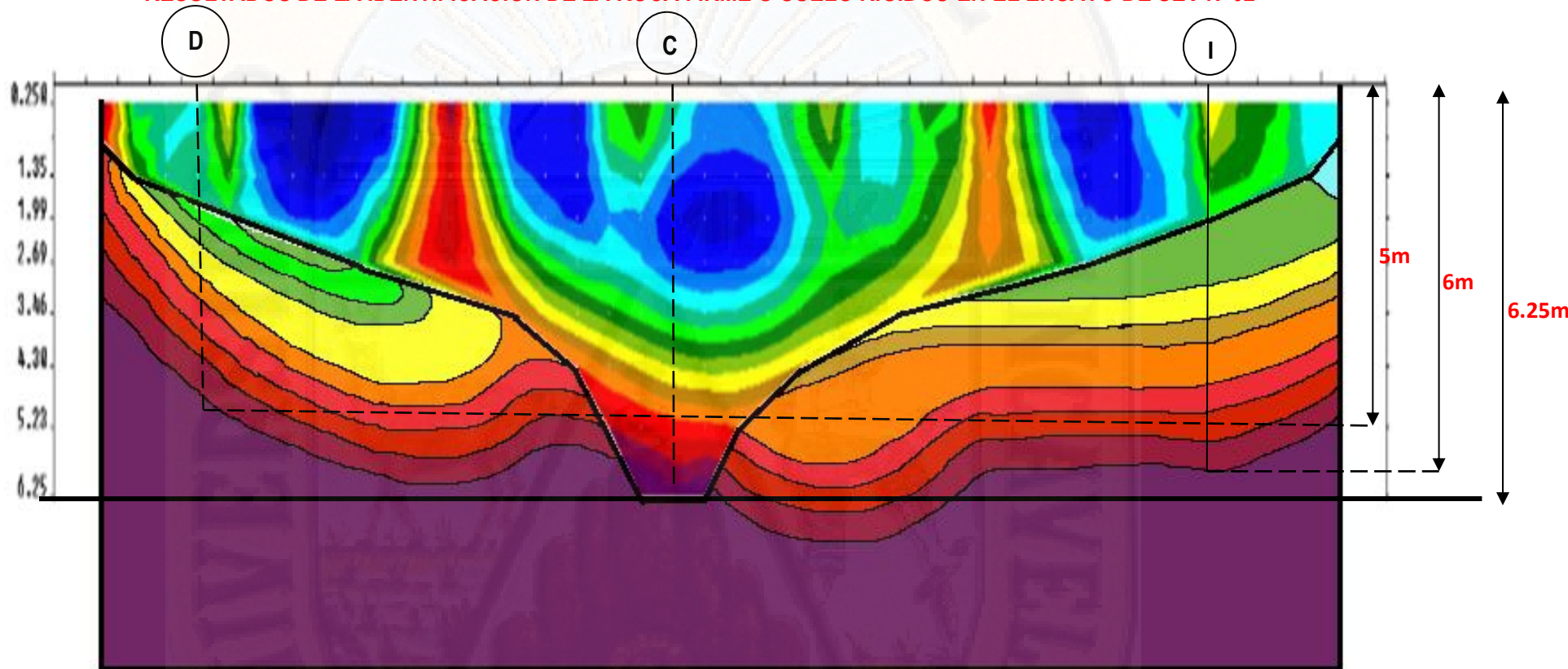
Resultados de La primera evaluación del ensayo SEV N°02 en el mes de julio del 2019 lo cual fue una fecha soleada y en épocas de sequía en la ciudad de Lircay con el fin de obtener la primera prospección del SEV N°02. (software Res2Dinv)



Resultado de la segunda evaluación del ensayo SEV N°02 en el mes de diciembre del 2019 lo cual fue una fecha lluviosa en la ciudad de Lircay se identificó que los posibles sumideros no presentan cambios de volumen ni expansión del material lo cual se concluye que son suelos blandos (MEZCLA DE LIMOS Y ARCILLAS INORGANICAS.) que no presentan malformaciones en temporadas lluviosas. (software Res2Dinv)



RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LA ROCA FIRME O SUELO RIGIDOS EN EL ENSAYO DE SEV N°02



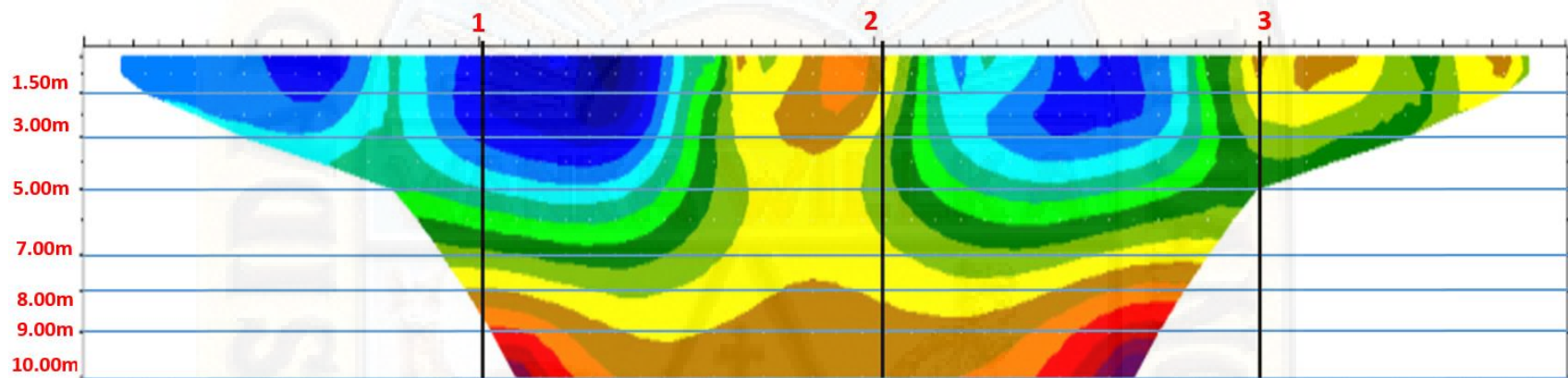
ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN DERECHO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 5M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN CENTRAL PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 6M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN IZQUIERDO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 6.25M

**PARA EVALUAR LA ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS DEBEN PRESENTA UNA RESISTIVIDAD MAYOR A LOS 1000.00 Ω m
PARA SER SEÑALADO COMO ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS CON LA AYUDA DEL SOFTWARE Res2Dinv LO CUAL SE CONCLUYE QUE EL ENSAYO SEV N°02 PRESENTA ROCAS FIRMES O SUELOS RIGIDOS**

4.1.1.3. RESULTADO DE LA PROSPECCIÓN DEL SUBSUELO – SEV N°03
DE ACUERDO A LOS ANÁLISIS SE OBTUVIERON LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL SUBSUELO DEL ENSAYO SEV N°03



ANÁLISIS	
Se analizaron 3 puntos para las características litológicas del sub suelo	
De acuerdo a los resultados obtenidas en las características litológicas se verifica que el ensayo SEV N°03 el suelo predominante son arenas arcillosas con mezcla de gravas	
El software usado para la caracterización litológica del sub suelos	Res2Dinv

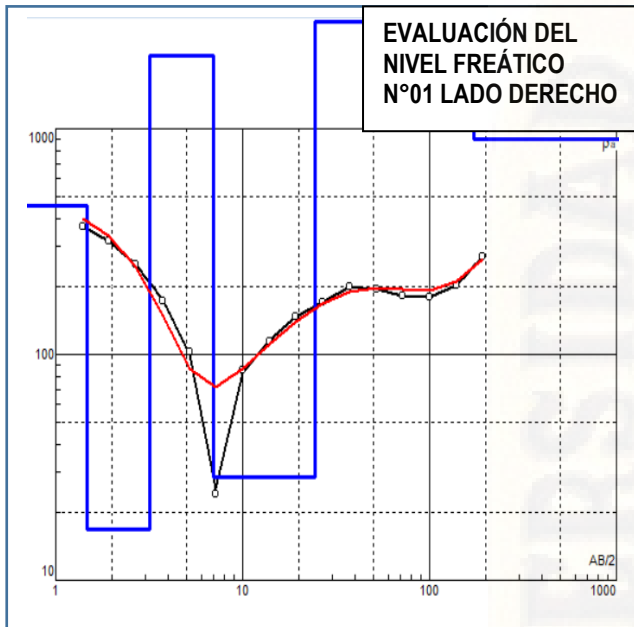


PUNTO N°01			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	584.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
3.00m	55.00		
5.00m	15.00	arcillas inorganicas saturada	CL
7.00m	95.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturada	ML-CL
8.00m	158.00	arenas arcillosas saturadas	SC
9.00m	185.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
10.00m	475.00	mezcla de arenas y gravas saturada	GP

PUNTO N°02			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	425.00	arenas arcillosas	SC
3.00m	133.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturadas	ML-CL
5.00m	85.00		
7.00m	144.00	arenas arcillosas saturadas	SC
8.00m	152.00		
9.00m	185.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
10.00m	192.00		

PUNTO N°03			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	422.00	arenas arcillosas	SC
3.00m	132.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturadas	ML-CL
5.00m	75.00		
7.00m	145.00	arenas arcillosas	SC
8.00m	177.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
9.00m	478.00	mezcla de arenas y gravas	GP
10.00m	466.00		

RESULTADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL ENSAYO SEV N°03

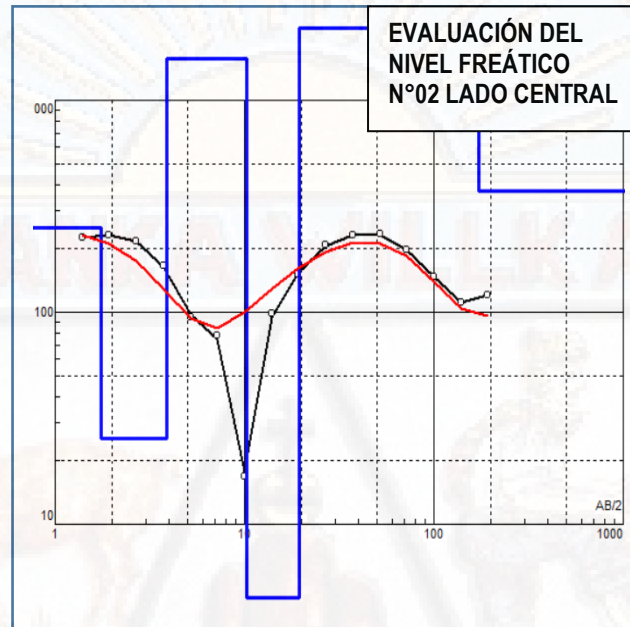


N	1	2	3	4	5	6
p	456	16.9	2100	28.6	11953	895
h	1.46	1.73	3.79	17.4	148	
d	1.46	3.19	6.98	24.4	173	
Alt	-1.464	-3.19	-6.981	-24.39	-172.6	

EN EL ANÁLISIS LADO DERECHO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 3.79M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

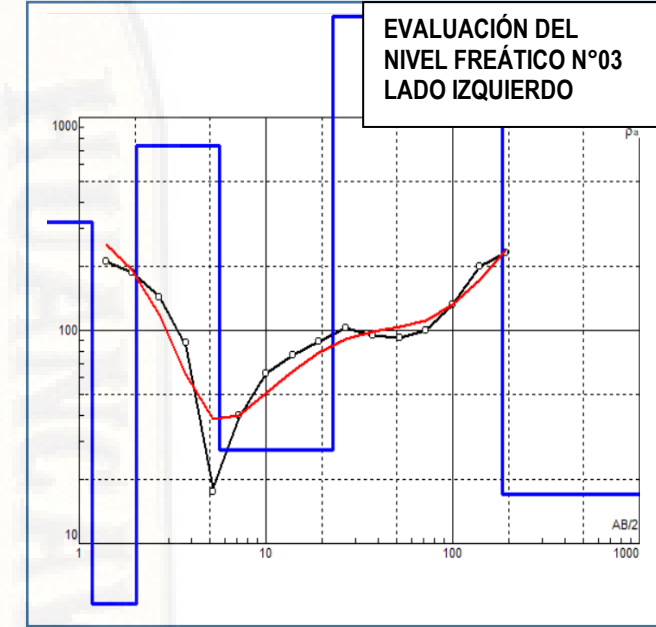
EN EL ANÁLISIS LADO CENTRAL PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 4.19M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

EN EL ANÁLISIS LADO IZQUIERDO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 4.26M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO



N	1	2	3	4	5	6
p	250	25.4	1582	4.52	2199	373
h	1.74	2.15	4.19	11.4	153	
d	1.74	3.89	8.08	19.5	173	
Alt	-1.738	-3.889	-8.082	-19.52	-172.6	

SE CONCLUYE DE ACUERDO A LOS EFECTOS LATERALES Y CENTRAL DE AMBIGÜEDADES EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS SE CONCLUYE QUE LA PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO EN EL SEV N°03 ESTÁ A UNA PROFUNDIDAD PROMEDIA DE 3.79M COMO PROFUNDIDAD MÍNIMA Y COMO PROFUNDIDAD MÁXIMA A 4.26M



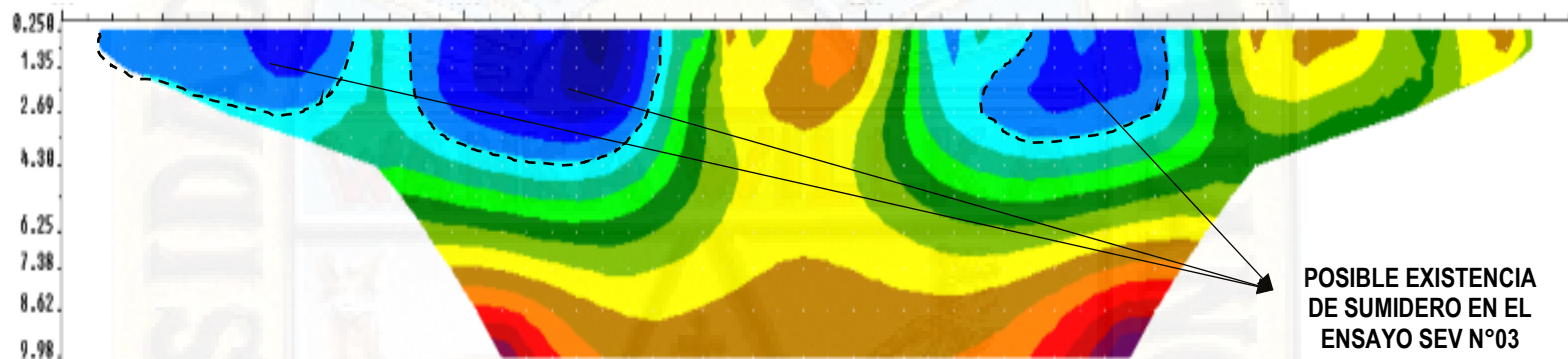
N	1	2	3	4	5	6
p	324	5.18	737	27.5	15291	17
h	1.17	0.847	4.26	16.5	162	
d	1.17	2.02	6.28	22.8	185	
Alt	-1.169	-2.017	-6.276	-22.82	-184.8	

EL SOFTWARE USADO PARA LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO PRESENTE EN EL SUB SUELO EN EL SEV N°03

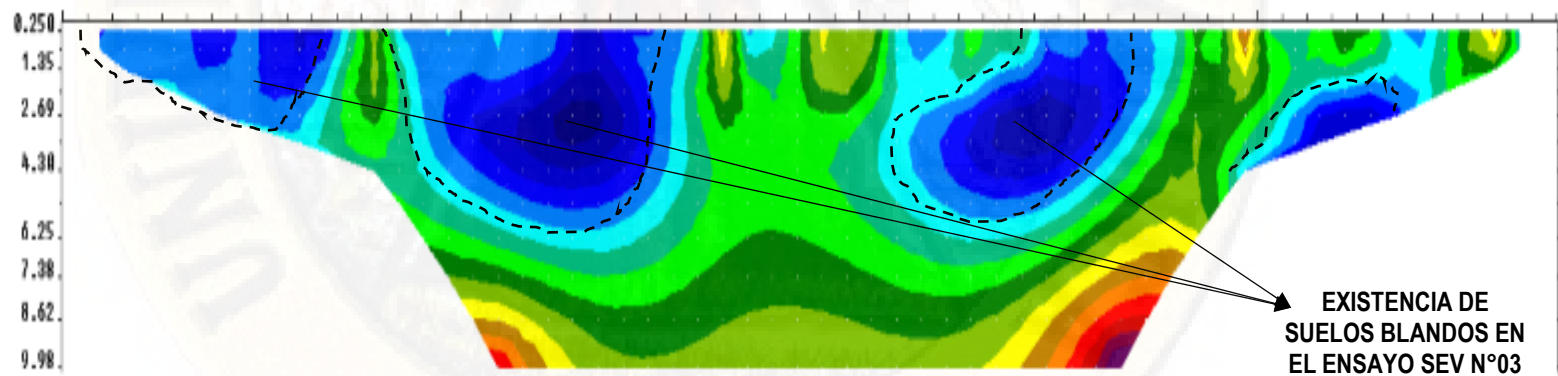
Ipi2Win

RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SUMIDEROS EXISTENTES EN EL ENSAYO DE SEV N°03

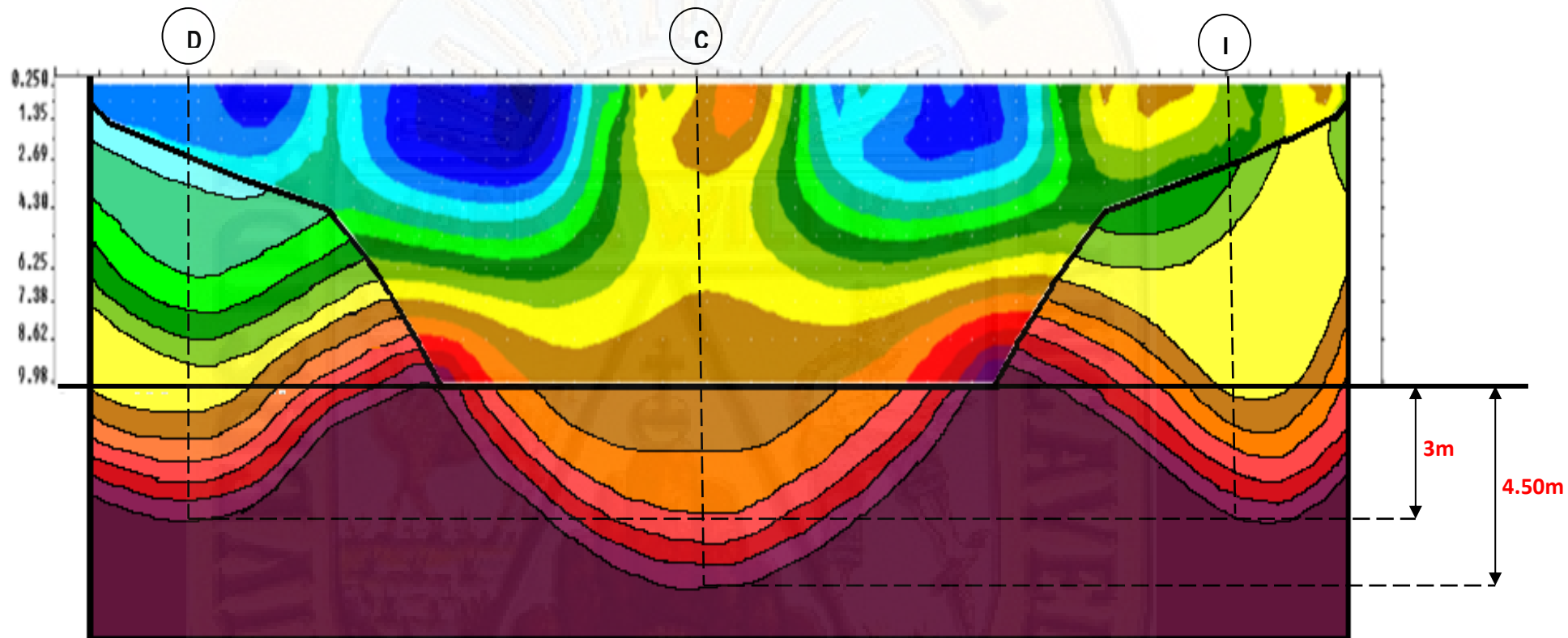
Resultados de La primera evaluación del ensayo SEV N°03 en el mes de julio del 2019 lo cual fue una fecha soleada y en épocas de sequía en la ciudad de Lircay con el fin de obtener la primera prospección del SEV N°03. (software Res2Dinv)



Resultado de la segunda evaluación del ensayo SEV N°03 en el mes de diciembre del 2019 lo cual fue una fecha lluviosa en la ciudad de Lircay se identificó que los posibles sumideros no presentan cambios de volumen ni expansión del material lo cual se concluye que son suelos blandos (MEZCLA DE LIMOS Y ARCILLAS INORGANICAS.) que no presentan malformaciones en temporadas lluviosas. (Software Res2Dinv)



RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LA ROCA FIRME O SUELO RÍGIDOS EN EL ENSAYO DE SEV N°03



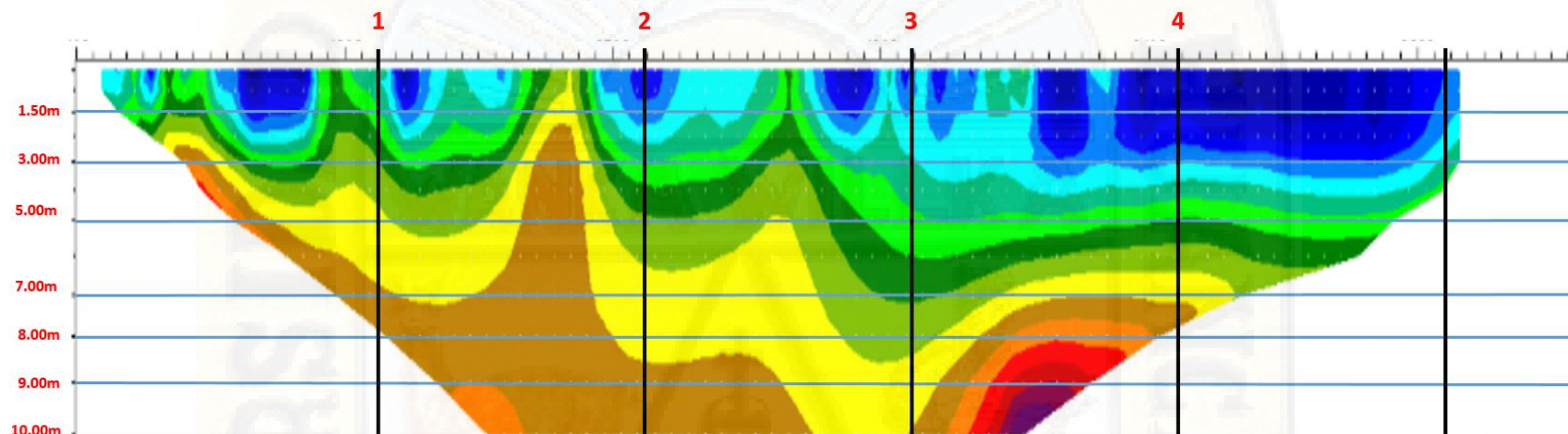
ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN DERECHO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 13M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN CENTRAL PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 14.50M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN IZQUIERDO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 13M

PARA EVALUAR LA ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS DEBEN PRESENTA UNA RESISTIVIDAD MAYOR A LOS 1000.00 Ω m PARA SER SEÑALADO COMO ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS CON LA AYUDA DEL SOFTWARE Res2Dinv LO CUAL SE CONCLUYE QUE EL ENSAYO SEV N°03 PRESENTA ROCAS FIRMES O SUELOS RIGIDOS

4.1.1.4. PERFIL GEOELÉCTRICO DE PROSPECCIÓN DEL SUBSUELO N°04
DE ACUERDO A LOS ANÁLISIS SE OBTUVIERON LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL SUBSUELO DEL ENSAYO SEV N°04



ANÁLISIS	
Se analizaron 4 puntos para las características litológicas del sub suelo	
De acuerdo a los resultados obtenidas en las características litológicas se verifica que el ensayo SEV N°04 el suelo predominante son arenas arcillosas con mezcla de gravas	
El software usado para la caracterización litológica del sub suelos	Res2Dinv



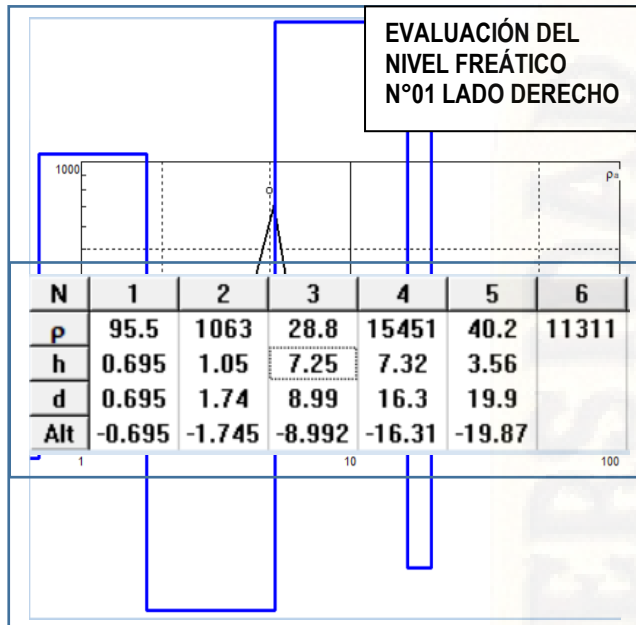
PUNTO N°01			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	135.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas saturada	ML-CL
3.00m	122.00		
5.00m	522.00	arenas arcillosas	SC
7.00m	102.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
8.00m	135.00		
9.00m	125.00		
10.00m	475.00	mezcla de arenas y gravas saturada	GP

PUNTO N°02			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	35.00	arcillas inorganicas	CL
3.00m	142.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
5.00m	108.00		
7.00m	185.00	arenas arcillosas saturadas	SC
8.00m	175.00		
9.00m	162.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
10.00m	192.00		

PUNTO N°03			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	32.00	arcillas inorganicas	CL
3.00m	36.00		
5.00m	175.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
7.00m	56.00		
8.00m	124.00	arenas arcillosas saturadas	SC
9.00m	132.00		
10.00m	185.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	GP

PUNTO N°04			
PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ohm-m)	TIPO DE MATERIAL	CLASIFICACION
1.50m	38.00	material soluble en agua (margas y margocalizas)	
3.00m	55.00		
5.00m	125.00	mezcla de limos y arcillas inorganicas	ML-CL
7.00m	142.00	arenas arcillosas saturadas	SC
8.00m	135.00		
9.00m	176.00	mezcla de arenas limosas y arenas arcillosas saturadas	SM-SC
10.00m	180.00		

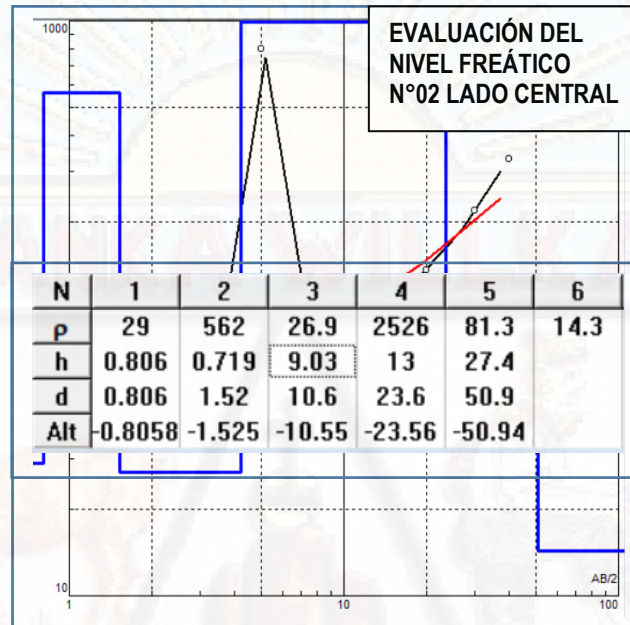
RESULTADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO EN EL ENSAYO SEV N°04



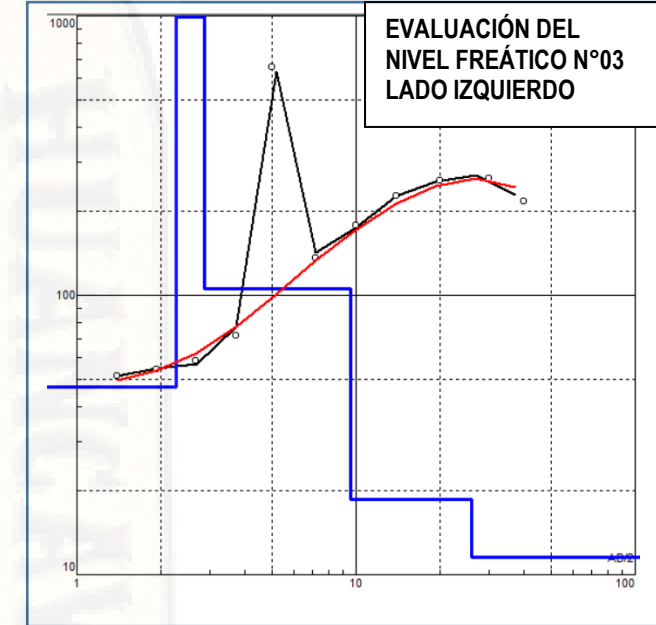
EN EL ANÁLISIS LADO DERECHO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 7.25M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

EN EL ANÁLISIS LADO CENTRAL PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 9.03M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO

EN EL ANÁLISIS LADO IZQUIERDO PRESENTA LA AMBIGÜEDAD A 8.87M LO CUAL HACE REFERENCIA DEL NIVEL FREÁTICO



SE CONCLUYE DE ACUERDO A LOS EFECTOS LATERALES Y CENTRAL DE AMBIGÜEDADES EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS SE CONCLUYE QUE LA PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO EN EL SEV N°04 ESTÁ A UNA PROFUNDIDAD PROMEDIA DE 7.25M COMO PROFUNDIDAD MÍNIMA Y COMO PROFUNDIDAD MÁXIMA A 9.03M

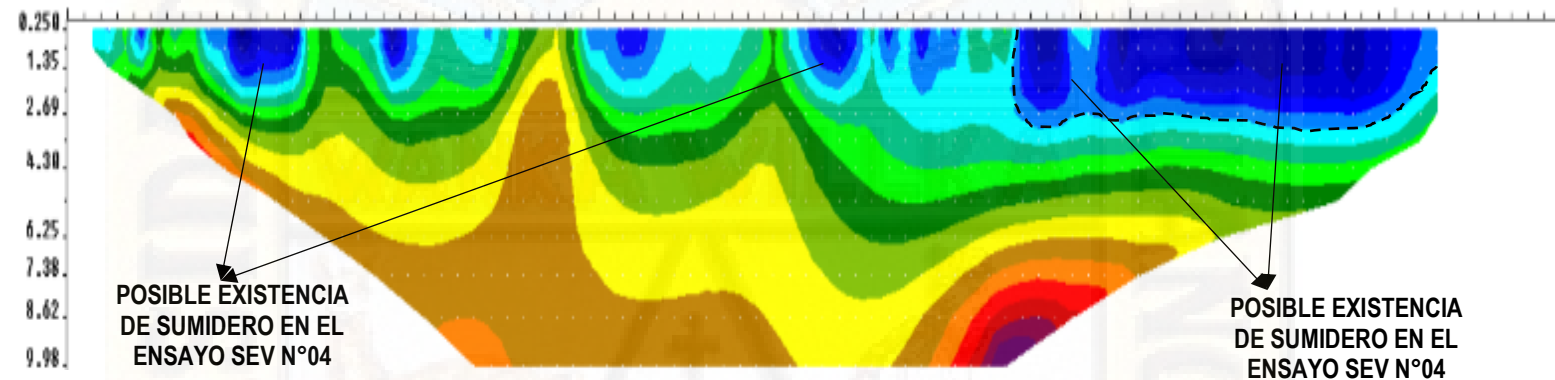


EL SOFTWARE USADO PARA LA INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO PRESENTE EN EL SUB SUELO EN EL SEV N°04

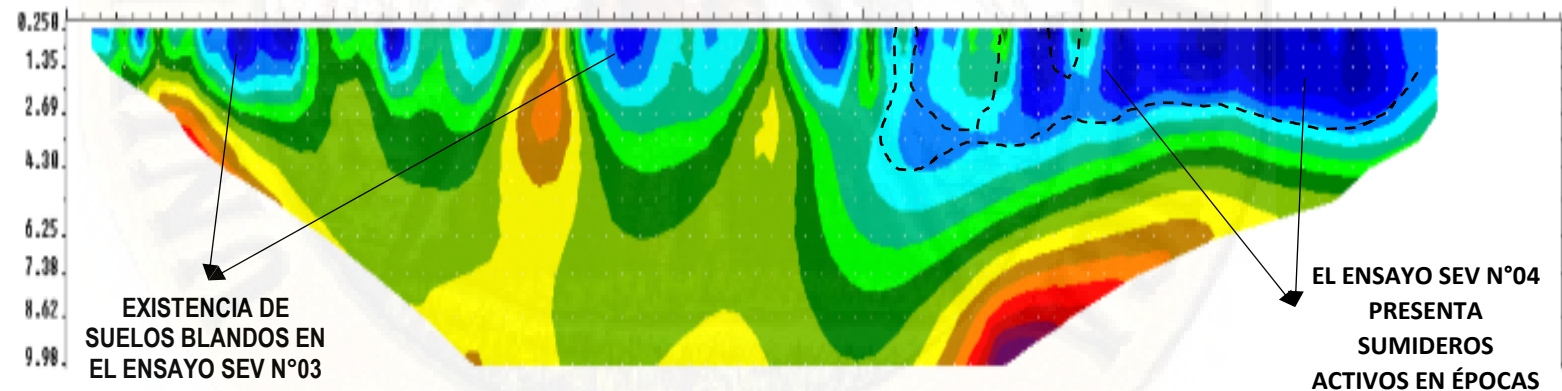
lpi2Win

RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SUMIDEROS EXISTENTES EN EL ENSAYO DE SEV N°04

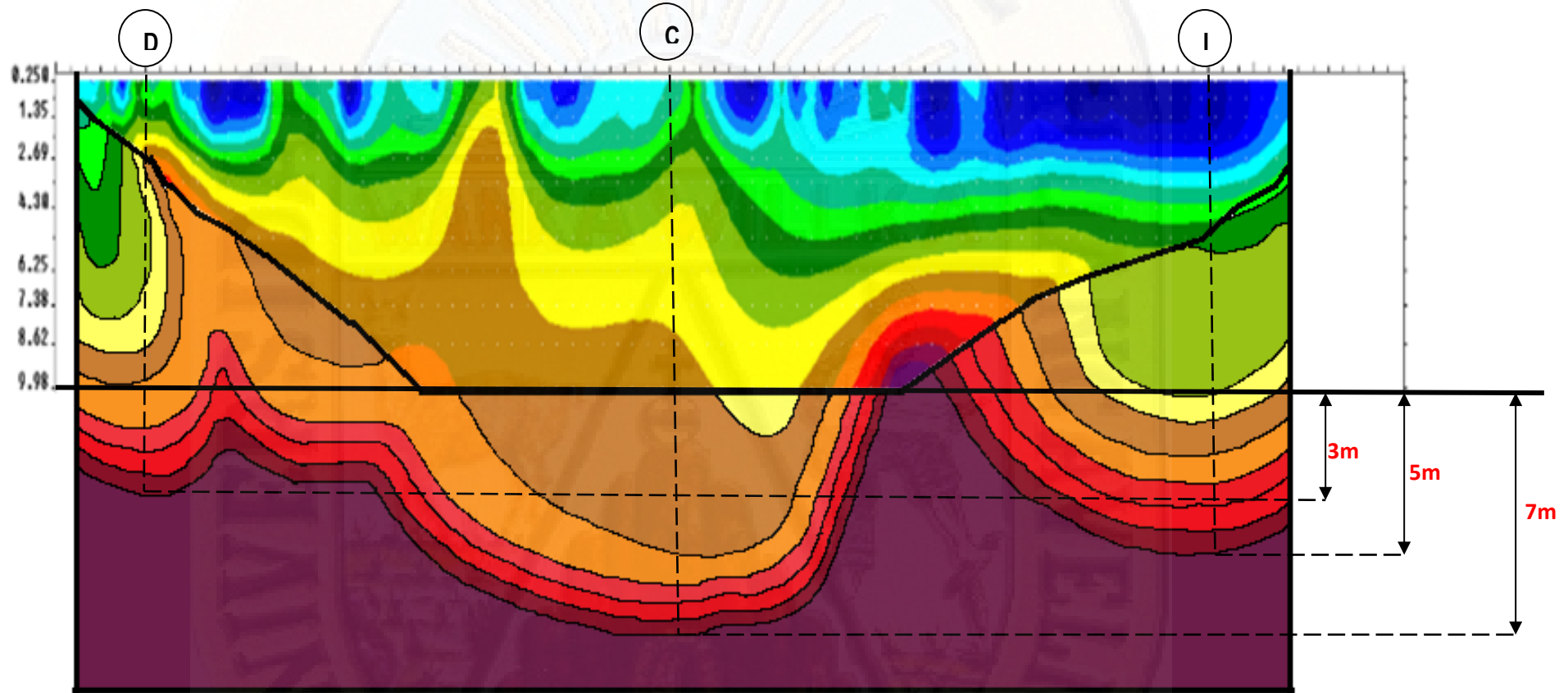
Resultados de La primera evaluación del ensayo SEV N°04 en el mes de julio del 2019 lo cual fue una fecha soleada y en épocas de sequía en la ciudad de Lircay con el fin de obtener la primera prospección del SEV N°04. (software Res2Dinv)



Resultado de la segunda evaluación del ensayo SEV N°04 en el mes de diciembre del 2019 lo cual fue una fecha lluviosa en la ciudad de Lircay se identificó la existencia de sumidero por presentar cambios de volúmenes y expansión del material presentes en el sumidero lo cual se concluye que son suelos solubles en agua (MARGAS Y MARGOCALIZAS.) que se activan en épocas lluviosas. (software Res2Dinv)



RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LA ROCA FIRME O SUELO RÍGIDOS EN EL ENSAYO DE SEV N°04



ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN DERECHO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 13M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN CENTRAL PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 15M

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA ROCA FIRME O SUELOS COMPACTOS EN EL MARGEN IZQUIERDO PRESENTA A UNA PROFUNDIDAD DE 17M

PARA EVALUAR LA ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS DEBEN PRESENTA UNA RESISTIVIDAD MAYOR A LOS 1000.00 Ωm
PARA SER SEÑALADO COMO ROCA FIRME O SUELOS RÍGIDOS CON LA AYUDA DEL SOFTWARE Res2Dinv LO CUAL SE CONCLUYE QUE EL ENSAYO SEV N°03 PRESENTA ROCAS FIRMES O SUELOS RIGIDOS

CONCLUSIONES

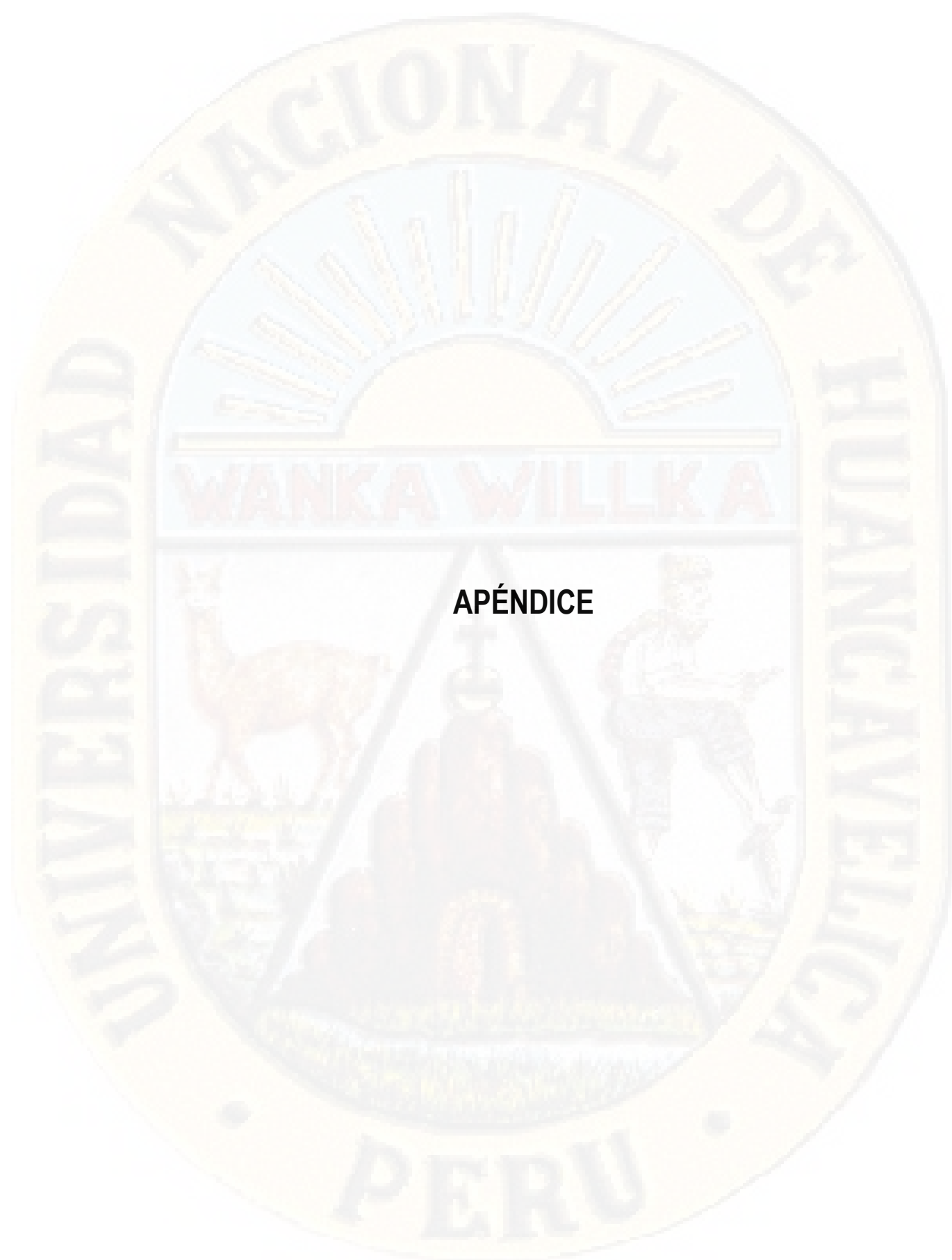
- Se llegó a determinar el comportamiento del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH, se obtuvo los siguientes resultados: en el SEV-1 Presencia de materiales solubles en agua de conformación de MARGAS Y MARGOCALIZAS tiende a identificarse como suelos colapsables, SEV-2 Y SEV-3 se verificó que no existe la presencia de sumideros, esta presenta conformación de suelos blandos que se activan producto a las humedades producidos por la lluvia, y en el SEV-4 se encontró presencia de materiales solubles en agua de conformación de MARGAS Y MARGOCALIZAS tiende a identificarse como suelos colapsables
- De acuerdo a las prospecciones geofísica se llegó a determinar los ensayos respectivos sobre el nivel freático y aguas subterráneas en el estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH, se obtuvo los siguientes resultados: en el SEV-01 presenta nivel freático a profundidades promedias de 8.00m a 9.00m, SEV-02 y SEV-03 presenta nivel freático a profundidades promedias de 3.00m a 4.00m y en el SEV-04 presenta nivel freático a profundidades promedias de 8.00m.
- Mediante la prospección geofísica del estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH, se obtuvo el análisis de las siguientes estratificaciones: la verificación de la roca firme en el SEV-01 la Profundidad máxima es de 19.00m y Profundidad mínima es de 8.00m en el SEV-02 la Profundidad máxima es 6.00m y Profundidad mínima de 3.00m, en el SEV-03 la la Profundidad máxima es 15.00m y Profundidad mínima de 10.00m y en SEV-04 la Profundidad máxima es 08.00m y Profundidad mínima de 16.00m
- Se pudo evaluar las ubicaciones de los sumideros presente en el subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH: En el SEV N°01 la Ubicación UTM del sumidero presente se encuentra en la coordenadas E = 530180.41m Y N= 8563287.27m, la Ubicación de los sumideros SEV N°04 se encuentra en la coordenadas E = 530169.16m Y N= 8563182.32m

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de sondaje eléctrico en toda campus Universitario de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil – Ambiental de la UNH. Para determinar el grado de filtración de agua ya que se encuentra cerca del río y para ver soluciones alternas y formas de mejorar con respecto a la infraestructura y creación de nuevas careras.
- Se recomienda realizar un seguimiento de la estabilidad del cerco perimétrico a través de estudios geotécnicos para evaluar posibles filtraciones de agua y hundimiento de pabellones de la Facultad de Ingeniería de Minas - Civil y la construcción del pabellón de ingeniería ambiental.
- Esta tesis debe complementarse con otras investigaciones geotécnicas para tener más información de campo en cada uno de los materiales que conforman el subsuelo del cerco perimétrico
- Para construcciones nuevas en los campus universitarios se debe tener en cuenta este tipo de estudio. por encontrar fallas geológicas presentes en el subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil – Ambiental de la UNH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Mireles, M. E. (2001). Un método para la medición del carbono en compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales,, 15.
- Gonzales A, O. D. (2011). ¿como aprender y enseñar investigacion cientifica? huancavelica : peru .
- Hernández R, F. C. (2003). Metodologia de la investigacion. (3, Ed.) MEXICO: Mexico D.F.; McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. Distrito Federal - Mexico:, mexico: Mc Graw Hill Education
- Milenio, E. d. (2006). Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. . Informe de Síntesis, Washington DC World ResourcesInstitute, Island Press.
- Quezada, N. (. (2015). Metodologia de la investigación. Lima, Lima, Peru: Macro.
- Tamayo Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación Científica. Distrito Federal: LIMUSA. NORIEGA EDITORES.
- Valderrama Mendoza, S. (2013). Pasos para la elaborar proyectos de investigación científica. lima: San Marcos.
- Ramírez, M. (2010). "Caracterización de fallas y fracturas mediante tomografía eléctrica utilizando electrodos de acoplamiento capacitivo". Tesis para optar el título profesional en ingeniería civil. Ciudad de México – México: UNAM.
- García, G. (2011). "Aplicación de la prospección geofísica utilizando el método schlumberger para la exploración del agua subterránea en cantón los magueyes, colonia santa lucia, municipio de ahuachapan". Tesis para optar el título profesional en ingeniería civil. El Salvador – República de el Salvador: US.
- Díaz A. (2012). "Implementación del Código Zondres2D para la Modelación Directa e Inversa de Datos de Tomografía de Resistividad Eléctrica 2D". Tesis para optar el título profesional en ingeniería civil. Ciudad de Mexico – Mexico: UNAM.
- dobrin A. (1969). "Introducción a la prospección geofísica". España: Ediciones Omega.
- Figuerola F. (1980). "Tratado de geofísica aplicada". Alemania: Edición MxxT.
- Figuerola F. (1987). "Tratado de geofísica aplicada. 3ªEd". Alemania: Edición Madrid.
- Sánchez S. (2010). "Geología - Geofísica". España: Edición Global G.
- Estrada L. (2013). "Prospección Geoeléctrica". Argentina: Edición H&T



APÉNDICE

“EVALUACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA – GEOELÉCTRICA EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL–UNH “

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
General ¿Qué exploración presenta el subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?	General Determinar la exploración del subsuelo mediante de la prospección geofísica – geoelectrica en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.	Antecedentes internacional Raposo, M. (2007). “Utilización de la tomografía eléctrica resistiva para estimar el contenido de agua en el suelo en viña bajo diferentes sistemas de riego”. Investigación realizada para optar por el título profesional de Ingeniero Civil. Brasilia – Brasil: UnB Ramírez, M. (2010). “Caracterización de fallas y fracturas mediante tomografía eléctrica utilizando electrodos de acoplamiento	General La exploración que presenta el subsuelo nos ayudara a coadyuvar a una mejor determinación y evaluación del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica que presenta el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.	Dependiente Y: Exploración del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica VARIABLE INDEPENDIENTE V.E.1 Características litológicas del subsuelo V.E.2 Profundidad del nivel freático	• Tipo de investigación La investigación aplicada depende de los descubrimientos y avances de la investigación pura y se enriquece de ellos. A diferencia de la pura, ésta persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar (Gonzales A, 2011) • Nivel de investigación Las investigaciones de nivel explicativo cuentan con una variable dependiente y variable independiente en donde está orientado a argumentar las razones de los fenómenos y eventos físicos. Así, su propósito se basa en ilustrar porque se presenta un fenómeno y bajo qué escenarios se manifiesta o en su defecto porque existe una ligación entre las variables (Hernández Sampieri, 2014) Bajo ésta consideración la investigación pertenece al nivel explicativo. Debido a que buscamos explicar la exploración del nivel freático, la estratificación mitológica del subsuelo y la determinación de sumideros presentes en el cerco perimétrico

Específicos ➤ ¿Cuáles son las características litológicas del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH? ➤ ¿Cuál es la profundidad del nivel freático mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de	Específicos ➤ Determinar las características litológicas del subsuelo mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH. ➤ Identificar la profundidad del nivel freático mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas	capacitivo”. Estudio para obtener el título profesional en ingeniería civil. Ciudad de México – México: UNAM Fazzito, S. (2011). “Estudios geofísicos aplicados a la neotectónica de la falla El Tigre, precordillera de San Juan”. Investigación efectuada para obtener el título profesional de ingeniero civil. Buenos Aires - Argentina: UBA. Nacional López, Y. (2016). “Ensayos geofísicos para la exploración de suelos en estructuras patrimoniales”. Estudio realizado para obtener el título profesional en	Específicos ➤ Correlacionar las formaciones litológicas del subsuelo presentes en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH. ➤ Existe presencia de nivel freático en el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil	V.E.3 Sumideros existentes V.E.4 Roca firme o suelos rígidos	• Método de investigación El método científico es un método general en donde inicia con el planteamiento del problema, se traza un objetivo, una hipótesis para luego obtener resultados y mediante ello discutir y concluir, asimismo este método viene a ser un mecanismo que permite estudiar las circunstancias en que se presentan los fenómenos específicos, en base a las características son: ser verificable, empírica, de juicio riguroso y ser tentativo. Adicionalmente, este método permite plantear el problema, someter a prueba la hipótesis y por último fijan los instrumentos para el trabajo de investigación (Tamayo, 2003) Según estos fundamentos se aplicará el método científico porque se observa las inducciones y deducciones teniendo en consideración el esquema de la Universidad Nacional de Huancavelica • Diseño de la investigación Esquema M → A → E → R Muestra. De acuerdo a la investigación y verificación del terreno para determinar las clasificaciones del suelo, presencia de sumideros y roca firme se utilizó el sondaje eléctrico vertical con 4 puntos específicos en el subsuelo del Cerco
--	--	--	--	--	---

Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH? ➤ ¿Cuáles son los sumideros existentes identificados mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH? ➤ ¿Cuál es la roca firme o suelos compactos identificados mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del	Civil Ambiental – UNH. ➤ Identificar los sumideros existentes mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH. ➤ Identificar la roca firme o suelos compactos mediante la prospección geofísica – geoelectrica en el ámbito de estudio del subsuelo del cerco perimétrico de la	ingeniería civil. Lima – Perú: PUCP. Zenteno, E. (2017). “Evaluación geofísica mediante sondeos electromagnéticos transitorios de la formación Zapallal en la cuenca del Río Piura”. Investigación realizada para obtener el título profesional de ingeniero civil. Piura – Perú: UNP. Castillo, F. (2017). “Estudio geofísico para la exploración de agua subterránea en el Fundo Buselcat Asia – Cañete, Lima”. Estudio realizado para obtener el título profesional en ingeniería civil. Arequipa – Perú: UNSA. (Referenciales para el estudio) utilizar	Ambiental – UNH. ➤ Existe la presencia de sumideros y suelos inestables que tiende a formar fenómenos naturales que presenta el subsuelo que afectan el cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH ➤ Existe la presencia de roca firme en el ámbito de estudio del	perimétrico de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica Análisis: respecto a la investigación se analizó las características geológicas, luego la presencia de sumideros existentes, nivel freático y la roca firme en el subsuelo del cerco perimétrico de la FIMCA de la Universidad Nacional de Huancavelica Evaluar: El efecto de ambigüedades en la interpretación de las curvas para la determinación el nivel freático, se evaluó la presencia de arcilla orgánica e inorgánica luego la estratificación litológica del subsuelo, se evaluó la anomalía presente en la lectura del sondaje eléctrico, se evaluó el comportamiento de los sumideros y las fracturaciones de la roca firme. Resultado: los resultados obtenidos en la investigación son favorables y en encontrado la mayor parte de aceptación en cuanto a los objetivos planteados con exención de la existencia de sumideros que solo se encontró en C1 Y C4, en el C1 se encontró roca de baja fracturación a 15 metros y en C2 no se encontró roca de baja fracturación pero si se encontró suelos compactos a 7 metros, en el C3 no se encontró roca de baja fracturación ni suelos compactos se verificó que se encontró mezcla de arena y gravas saturadas a 10 metros en el C4 no se encontró roca de baja fracturación pero si se encontró la presencia de suelos compactos a 10 metros .
---	--	--	--	--

cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH?	Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.	información científica actualizada SUBSUELO LITOLOGÍA DEL SUBSUELO SUMIDEROS HUNDIMIENTOS DE TIERRA O DOLINAS ROCAS CONCEPTO LITOLÓGICOS NIVEL FREÁTICO GEOFÍSICA PROSPECCIÓN ELÉCTRICA O GEOELÉCTRICA MÉTODOS DE POTENCIAL INDUCIDO O RESISTIVIDADES SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL	cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental – UNH.	• Población y unidad experimental (Experimental) Población.- el lactosuero se obtendrá en la `plata procesadora de productos lácteos que ese encuentra en la ciudad de Huancavelica y el aguaymanto se obtendrá en el distrito de Ircay provincia de Huancavelica Unidad experimental. Se determinara las cantidades de electrolitos y vida útil del mejor tratamiento y análisis organoléptico y físico químico • Técnicas e instrumentos de Recolección de datos: Técnicas Para el presente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas de la observación directa “es un proceso intencional que nos permite recoger información precisa y objetiva sobre los rasgos y características de las unidades de análisis” Se elaboró cuatro sondajes eléctrico en el subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica con fin de caracterizar e identificar las anomalías presentes en el subsuelos de cual. Se plantaron cuatros electrodos dos electrodos son los que expulsan el voltaje eléctrico y dos sobrantes electrodos recepciona ese voltaje luego vota valores en ohm/metro para llevar los datos en conjunto a un
--	--	--	--	--

		MÉTODO GEOFÍSICO.		programa de software para ser evaluado y obtener resultado del subsuelo Instrumentos: Para poder determinar las características litológico del subsuelo, la profundidad del nivel freático, existencia de sumideros y roca firme se usó el Equipo de resistímetro (AEMC 6471 y Resistance Tester Kit with Clamps - 300ft) con electrodos de cobre capacitativos para resistividad y prospección del subsuelo. El procesamiento de datos se realizó en el área de gabinete de la empresa privada Laboratorio en Control de Calidad de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto E.I.R.L suscrita en la ENDECOPI resolución N°16130-2013/OSD con su Software instalado y compatible con el equipo de resistividad e prospección del suelo (Res2Dinv y Ipi2Win).de la cual nos vota el resultado de la tomografía eléctrica del cerco perimétrico, • Técnicas de Procesamiento y análisis de datos La Técnica para procesar los datos primero se seleccionaron 4 puntos estratégicos que abarque del subsuelo del cerco perimétrico de la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica. El Primer punto de selección SEV N°01 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Guzmán el Segundo
--	--	----------------------	--	--

				punto de selección SEV N°02 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Guzmán el Tercer punto de selección SEV N°03 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Sumayta. Y el Cuarto punto de selección SEV N°04 estará ubicado entre los colindantes la Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental y la familia Buendía. Luego se determinó la tomografía el con el sondaje eléctrico, El análisis o evaluación de tomografía mediante parámetros se interpretó con el cuadro de parámetros geológica de subsuelo, puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, pero para que la curva de resistividad aparente sea interpretable, el subsuelo debe estar representado por capas horizontales y homogéneas. Esquema del dispositivo Wenner - Schlumberger. Con todos los electrodos conectados al resistivímetro, y mediante un programa secuencial específico que se crea para cada objetivo, el aparato toma lecturas a distancias proporcionadas y equitativas para obtener resultados favorables. De esta manera se obtienen gran número de puntos de resistividades aparentes. Cada electrodo incrustado deberá estar plantada no mayor a los $\frac{3}{4}$ parte de su dimensión, para obtener lecturas en instancias secas de tendrá que usar agua con mezcla de sal yodada esta es aplicable para obtener una buena señal entre electrodos y una buena alternativa en caso donde la humedad es casi nunca como las costas o los desiertos.
--	--	--	--	--

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

N°	ACTIVIDAD	INICIO	FINAL	may o	junio	julio	agos to	setie mbre	octu bre
1	Realizar un sondeo de localización y ubicación del ámbito de estudio.	01/05/2019	05/05/2019	X					
2	Solicitar los permisos respectivos al decano de la facultad y a los colindantes aledaños al ámbito de estudio.	10/05/2019	25/05/2019	X					
3	Determinar de los puntos de inicio y final para el Sondaje Eléctrico Vertical (SEV).	10/05/2019	25/05/2019	X					
4	Alquiler del equipo resistivímetro de electrodos de acoplamiento capacitivo (AEMC 6471 - Resistance Tester Kit with Clamps - 300ft)	05/06/2019	20/06/2019		X				
5	Traslado del equipo asía el área de influencia conjuntamente con el asesor de la tesis y el técnico en manipuleo del equipo	20/06/2019	10/07/2019		X	X			
6	Hacer el conocimiento al decano de la facultad, población estudiantil y colindantes aledaños para el inicio del estudio de prospección geofísica	11/07/2019	12/07/2019			X			
7	Realización del estudio de protección geofísica en el ámbito de estudio	12/07/2019	15/08/2019			X	X		
8	Llevar los datos obtenidos de la prospección geofísica a gabinete para ser procesada en el software proporcionado por la empresa de alquiler del equipo	15/08/2019	27/08/2019				X		
9	Discusión de los resultados con la ayuda de los especialistas de la empresa conjuntamente con el asesor a cargo del proyecto de investigación	27/08/2019	05/09/2019				X	X	

10	Realizar la tesis conjuntamente con el asesor para la revisión de los jurados	05/09/2019	09/09/2019					X	
11	Presentación de las observaciones de los jurados conjuntamente con el estampado de la tesis para ser aprobado en consejo universitario	09/09/2019	15/09/2019					X	
12	Tramites respectivos para la sustentación de la tesis y el proceso de informar a la población estudiantil acerca de la sustentación de la tesis	15/09/2019	20/09/2019					X	
13	Tramites de sustentación del proyecto de investigación - tesis	20/09/2019	22/09/2019					X	
14	Sustentación del trabajo de investigación - tesis	22/09/2019	08/10/2019					X	X
15	Levantamiento de observaciones sien caso existiera en cuanto a la sustentación y la realización de trámites para la otorgación del título profesional	08/10/2019	30/10/2019						X

PRESUPUESTO

Para el presente trabajo de investigación se estima lo siguiente gastos.

Tabla N°05

Materiales de alquiler para la ejecución del proyecto de investigación.

MATERIALES DE ALQUILER	PRECIO
Alquiler de equipo de resistimetro - AEMC 6471	3100.00/s.
Materiales de uso de escritorio	250.00/s
Materiales de uso durante el ensayo	500.00/s.
Alquiles de equipos de cómputos	700.00/s.
Apoyo de personal en manipulación de equipo	1000.00/s.
Apoyo de personal (obreros)	500.00/s.
TOTAL	6050.00/s.

Fuente: Materiales de alquiler según cronograma planteado y precios estimados para la ejecución del proyecto de investi

PANEL FOTOGRÁFICO – SEV N°01



Ubicación del punto de inicio del sondaje electrico vertical – SEV N°01



Plantado de los electrodos a distancias equidistantes



Lectura se uso el software respectivo del equipo



Distancia de separación máxima del metodo **SCHLUMBERGER-WENNER** $0.20m < x < 20m$ de profundidad subterranea del suelo del SEV N°01

PANEL FOTOGRÁFICO – SEV N°02



Ubicación del punto de inicio del sondaje electrico vertical – SEV N°02



Plantado de los electrodos a distancias equidistantes



Lectura se uso el software respectivo del equipo



Distancia de separación máxima del metodo [SCHLUMBERGER-WENNER](#)
 $0.20m < x < 20m$ de profundidad subterranea del suelo del SEV N°02

PANEL FOTOGRÁFICO – SEV N°03



Ubicación del punto de inicio del sondaje electrico vertical – SEV N°03



Plantado de los electrodos a distancias equidistantes



Lectura se uso el software respectivo del equipo



Distancia de separación máxima del metodo [SCHLUMBERGER-WENNER](#)
 $0.20m < x < 20m$ de profundidad subterranea del suelo del SEV N°03

PANEL FOTOGRÁFICO – SEV N°04



Ubicación del punto de inicio del sondaje electrico vertical – SEV N°04



Plantado de los electrodos a distancias equidistantes



Lectura se uso el software respectivo del equipo



Distancia de separacion maxima del metodo [SCHLUMBERGER-WENNER](#) $0.20m < x < 20m$ de profundidad subterranea del suelo del SEV N°04