



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“PROPUESTA DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EN INSTITUCIÓN EDUCATIVA LIBERTADOR SAN MARTIN – RECUAY 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Robinson Quispilaya Marmolejo

Bach. William Jason Cruz Chumpitaz

Asesor:

Mg. Ing. Paolo Macetas Porras

Lima – Perú

2018

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de tesis desarrollado por los Bachilleres **Robinson Quispilaya Marmolejo y William Jason Cruz Chumpitaz**, denominada:

“PROPUESTA DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EN INSTITUCIÓN EDUCATIVA LIBERTADOR SAN MARTIN – RECUAY 2018”

Ing. Paolo Macetas Porras

ASESOR

Ing. Máximo Huambachano Martel

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Luis Colonio García

JURADO

Ing. Ronald Villanueva Maguiña

JURADO

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres Julia y Alejandro, a mis hermanos y novia Ruth quienes siempre me brindaron su apoyo, dedicación y paciencia durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Bach. Robinson Quispilaya Marmolejo.

En memoria de mi padre quien impulso mi imaginación por la ingeniería civil y a quien se le extraña desde su partida, a mi madre por ser una madre luchadora, a mi esposa y a mi querida hija por ser ellas mi motivación y haberme dado las fuerzas para seguir adelante y también por su empatía y comprensión en los momentos familiares que no pude estar presente debido al tiempo que demandan los estudios.

Bach. William Jason Cruz Chumpitaz.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte por habernos brindado la oportunidad de formarnos académicamente con docentes de calidad y también por contribuir con la profesionalización del país siendo esta la base para mejorar nuestro Perú.

Al Asesor Ing. Paolo Macetas por el constante apoyo durante el desarrollo de esta investigación, por brindarnos en todo momento la motivación necesaria para poder alcanzar la meta, por su empatía en algunos momentos, por compartir y transmitirnos sus experiencias académicas y profesionales.

A los docentes que nos enseñaron en cada ciclo académico los cuales se encargaron de ampliar y pulir nuestros conocimientos con la finalidad de ayudarnos a alcanzar nuestros objetivos.

A todas aquellas personas, amigos y colegas que de una u otra parte han brindado su apoyo para el desarrollo de esta tesis, así como también a todos los que han formado parte de nuestro aprendizaje durante toda la trayectoria de la carrera.

A Dios por permitirnos vivir esta ardua, sacrificada pero finalmente bonita e inolvidable experiencia.

Bach. William Jason Cruz Chumpitaz.
Bach. Robinson Quispilaya Marmolejo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Antecedentes	13
1.2. Realidad Problemática	15
1.3. Formulación del Problema	18
1.3.1. Problema General	18
1.3.2. Problema Específico	18
1.3.2.1. Problema específico 01	18
1.3.2.2. Problema específico 02	18
1.3.2.3. Problema específico 03	18
1.4. Justificación	18
1.4.1. Justificación Teórica	18
1.4.2. Justificación Práctica	19
1.4.3. Justificación Cuantitativa	19
1.4.4. Justificación Académica	19
1.5. Objetivo	19
1.5.1. Objetivo General	19
1.5.2. Objetivo Específico	19
1.5.2.1. Objetivo específico 1	19
1.5.2.2. Objetivo específico 2	20
1.5.2.3. Objetivo específico 3	20
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Bases Teóricas	21



2.1.1.	Suelo	21
2.1.2.	Tipos de suelo	22
2.1.3.	Tamaño de las partículas de suelo	24
2.1.4.	Caracterización geotécnica del suelo	24
2.1.5.	Estados de consistencia del suelo	28
2.1.6.	Exploración Geotécnica	30
2.1.7.	Criterios para calificar suelos con fines urbanos	31
2.1.7.1.	Distribución Granulométrica	31
2.1.7.2.	Textura y color del suelo	31
2.1.7.3.	Consolidación de suelos	32
2.1.7.4.	Grado de saturación de suelo y nivel freático	32
2.1.8.	Cimentaciones	33
2.1.9.	Profundidad de cimentación	33
2.1.10.	Métodos de exploración de suelos	35
2.1.11.	Resistividad eléctrica del suelo	36
2.1.12.	Resistividad de los materiales Naturales.....	38
2.1.13.	Resistividad Aparente	40
2.1.14.	Influencia de la humedad en los suelos	41
2.1.15.	Métodos de medición de resistividad	42
2.1.15.1.	Potencial eléctrico en un espacio homogéneo producido por una corriente	43
2.1.15.2.	Configuración de electrodos para medición de resistividad	45
2.1.15.3.	Criterios de selección del método de medida	49
2.1.15.4.	Método Wenner	50
2.1.15.5.	Sondeo eléctrico vertical	52
	Efectos de la Variación Geológica en las mediciones de resistividad	53
2.1.15.6.	Profundidad de investigación	56
2.1.15.7.	Curvas de resistividad aparente	56
2.1.15.8.	Cortes Geoeléctricos	58
2.1.15.9.	Software para análisis de datos	67
2.1.15.10.	Interpretación de las curvas de resistividad aparente	67
2.2.	Definición de términos básicos	68
2.2.1.	Carga eléctrica	68
2.2.2.	Corriente eléctrica	68
2.2.3.	Isotropía	68

2.2.4.	<i>Electrodo</i>	68
2.2.5.	<i>Dieléctrico</i>	68
CAPÍTULO 3. DESARROLLO		69
3.1.	Desarrollo el Objetivo 1	71
3.2.	Desarrollo el Objetivo 2	78
3.3.	Desarrollo el Objetivo 3	79
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES		81
4.1.	RESULTADOS	81
4.2.	CONCLUSIONES	89
4.3.	RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS		91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Depósito de Talud	22
Figura 2. Sistema Unificado de Clasificación SUCS	27
Figura 3. Simbología de Suelos	28
Figura 4. Límites de Atterberg.....	29
Figura 5. Nivel freático y zonas saturadas – no saturadas	32
Figura 6. Profundidad de desplante	34
Figura 7. (A) Definición de resistividad a través de un bloque homogéneo de terreno (B) Circuito eléctrico equivalente donde R es la resistencia.	36
Figura 8. Márgenes de variación de resistividades más comunes en algunas rocas y minerales	39
Figura 9. Representación de un suelo estratificado	41
Figura 10. Líneas de campo eléctrico y superficies equipotenciales alrededor de un electrodo en un semiespacio uniforme. a) Superficie equipotencial semiesférica, b) líneas de campo radialmente hacia fuera alrededor de una fuente (entrada), c) líneas	44
Figura 11. Ley de Ohm aplicado a la superficie del suelo.....	44
Figura 12. Arreglo de electrodos generalizado	46
Figura 13. Principio caída de potencial para hallar la resistividad del suelo	47
Figura 14. Arreglo de electrodos - Método Wenner	51
Figura 15. Sondeo eléctrico vertical: a medida que se aumenta la distancia AB de los electrodos aumenta, la corriente va penetrando en capas más profundas	53
Figura 16. Densidad de corriente atravesando solo la capa de suelo superior de menor resistividad debido al espaciamiento pequeño entre electrodos.....	53
Figura 17. Resistividad en un medio homogéneo	54
Figura 18. Comportamiento de la corriente eléctrica. a) Densidad de corriente concentrada en la capa de suelo de menor resistividad. b) Pequeña parte de corriente atraviesa capa más resistiva y c) mayor parte de corriente atraviesa capa resistiva.....	55
Figura 19. Comportamiento de la corriente eléctrica. a) Densidad de corriente es atraída hacia capa de suelo de menor resistividad. b) Pequeña parte de corriente atraviesa capa menos resistiva y c) Mayor parte de corriente atraviesa capa menos resistiva.	55
Figura 20. Sondeo eléctrico vertical – Método Wenner	57
Figura 21. Curva de resistividad aparente.	58
Figura 22. Capas de un corte geoeléctrico	59
Figura 23. Corte geoeléctrico o modelo de suelo estratificado	59

Figura 24. Flujo de corriente en primera capa de terreno al inicio de un SEV.....	60
Figura 25. Corte geoelectrico de dos capas $\rho_1 > \rho_2$	61
Figura 26. Variación de la curva con espesor de primera capa de suelo	62
Figura 27. Corte geoelectrico de dos capas $\rho_1 < \rho_2$	63
Figura 28. Corte geoelectrico de tres capas	64
Figura 29. Corte geoelectrico de tres capas Tipo H.....	64
Figura 30. Corte geoelectrico de tres capas Tipo K.....	65
Figura 31. Corte geoelectrico de tres capas Tipo A.....	65
Figura 32. Corte geoelectrico de tres capas Tipo Q.....	66
Figura 33. Corte geoelectrico de cuatro capas	66
Figura 34. Proceso de interpretación de resultados: a) curva de resistividad aparente. b) Corte geoelectrico c) corte geológico.....	67
Figura 35. Localización del área de estudio.....	69
Figura 36. Mapa geológico de Recuay.....	70
Figura 37. Plano de ubicación de sondajes y Calicatas.....	71
Figura 38. Instrumento de medición Marca Megabras MTD-20KWe.....	73
Figura 39. Obtención de datos en fase de campo por el Método Wenner.....	74
Figura 40. Elección del Método en el software IPI2WIN.....	75
Figura 41. Ingreso de datos al Software IPI2WIN.....	75
Figura 42. Curva de resistividad aparente y teórica.....	76
Figura 43. Ajuste de curvas de resistividad.....	76
Figura 44. Corte geoelectrico.....	77
Figura 45. Curva de resistividades aparentes y lecturas obtenidas de campo para SEV1	81
Figura 46. Resistividades de cada estrato, espesor, profundidad y corte geoelectrico del SEV1 con error de ajuste al 14,7%	82
Figura 47. Resistividad verdadera VS profundidad de estratos.....	83
Figura 48. Correlación estratigráfica entre SEV1 y C-1	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Designación de partículas de suelo.	24
Tabla 2. Símbolos de grupo de clasificación SUCS.....	25
Tabla 3. Tamaños de malla estándar.....	26
Tabla 4. Tipo de edificación para investigación de suelos.....	30
Tabla 5. Número de puntos de investigación de suelo	31
Tabla 6. Criterios para identificar suelos aptos para construcción.....	33
Tabla 7. Valores de Resistividades en terrenos.....	38
Tabla 8. Resistividades medias en terrenos típicos.....	40
Tabla 9. Comparación de diferentes Métodos de medida	49
Tabla 10. Profundidad de Investigación.....	56
Tabla 11. Cuadro de coordenadas de los SEV.....	72
Tabla 12. Calculo de Resistividad aparente para cada separación de electrodo.	74
Tabla 13. Tabla profundidad y ubicación de calicatas	78
Tabla 14. Rendimiento promedio para estudio Geoeléctrico	79
Tabla 15. Costo promedio de Mano de Obra.....	80
Tabla 16. Interpretación corte geoeeléctrico.....	83
Tabla 17. Caracterización de suelos por resistividad eléctrica	84
Tabla 18. Perfil estratigráfico del terreno	85
Tabla 19. Clasificación de suelos por método convencional y por resistividad eléctrica....	86
Tabla 20. Análisis de costos unitarios Estudio Geoeeléctrico.....	87
Tabla 21. Comparativo Método Convencional VS Método de Resistividad eléctrica Wenner	

RESUMEN

En la presente investigación se realizó la propuesta del Método No convencional Wenner de resistividad eléctrica para obtener las características, constitución y estructura del subsuelo en la Institución Educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018.

Para su realización se seleccionaron áreas de estudio en la Institución educativa, previstos como zona de expansión; litológicamente esta zona corresponde a material aluvial, las muestras de suelo tomadas del terreno fueron sometidas a ensayos en laboratorio de mecánica de suelos con el objetivo de determinar sus principales características para la clasificación de suelos SUCS; así también en las mismas áreas de las calicatas, se realizaron sondeos eléctricos verticales mediante mediciones de resistividad eléctrica por el Método Wenner. El procesamiento de los datos se realizó con el software IPI2WIN, permitiéndonos obtener los modelos multicapas de resistividad verdadera (cortes geoelectrónicos del suelo); esto nos sirvió de base para determinar la aplicación de este método como alternativa de solución para conocer las características de cualquier tipo de suelo.

Los resultados principales de la investigación fueron:

- Los cortes geoelectrónicos predominantes en la Institución educativa Libertador San Martín fueron los de tipo H de tres capas $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$.
- El análisis de suelo utilizando el método Wenner de resistividad eléctrica permitió con buenos resultados obtener la clasificación de suelos, la determinación de espesores y la separación litológica que son datos importantes para estimar profundidad de cimentación.
- La correlación entre el Método Wenner de Resistividad eléctrica y el convencional fue satisfactoria, al presentar resultados semejantes en cuanto a clasificación de suelos, estratigrafía y profundidad de cimentación.
- El tiempo y costo asociados al empleo del método Wenner de resistividad eléctrica en comparación con el método convencional fueron favorables con relaciones 7:1 y 2:1 en tiempo y costo respectivamente.

Finalmente los resultados obtenidos de la aplicación del método Wenner de resistividad eléctrica permiten demostrar que la metodología es adecuada para conocer las características del suelo, conocer la profundidad del estrato de suelo adecuado para soportar una futura estructura, así como también puede ser utilizado para definir zonas de alta peligrosidad sísmica.

ABSTRACT

In the present investigation, the Wenner Nonconventional Electrical Resistivity Method was proposed to obtain the characteristics, constitution and structure of the subsoil in the “Libertador San Martin” Educational Institution of Recuay district - Recuay Province - Department of Ancash in 2018.

For its realization, study areas were selected in the educational Institution, planned as an expansion zone; lithologically this area corresponds to alluvial material, the soil samples taken from the land were subjected to tests in the soil mechanics laboratory in order to determine their main characteristics for the classification of soils SUCS; Also in the same areas of the trial pits, vertical electrical probes were made by measurements of electrical resistivity by the Wenner Method. The processing of the data was done with the IPI2WIN software, allowing us to obtain the true resistivity multilayer models (geoelectrical ground cuts); This was the basis for determining the application of this method as an alternative solution to know the soil characteristics of any type of soil.

The main results of the investigation were:

- Predominant geoelectric cuts in the Libertador San Martin educational institution were those of type H of three layers $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$.
- Soil analysis using the Wenner method of electrical resistivity allowed obtaining soil classification, thickness determination and lithological separation with good results, which are important data for estimating depth of foundation.
- The correlation between the Wenner Electrical Resistivity Method and the conventional one was satisfactory, presenting similar results in terms of soil classification, stratigraphy and depth of foundation.
- The time and cost associated with the Wenner method of electrical resistivity compared to the conventional method were favorable with 7: 1 and 2: 1 ratios in time and cost respectively.

Finally, the results obtained from the application of the Wenner method of electrical resistivity allow us to demonstrate that the methodology is adequate to know the characteristics of

the soil, to know the depth of the adequate soil stratum to support a future structure, it also can be used to define zones of high seismic hazard.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Al respecto del tema de estudio, se han realizado algunas investigaciones tanto en el ámbito internacional como en el ámbito nacional:

En al *ámbito Internacional* se hallaron publicaciones referidas más al uso de la resistividad eléctrica en detección de aguas subterráneas, ubicación de petróleo y minerales, pero no se presentan estudios específicos sobre el empleo de métodos geoelectrónicos orientados a la ingeniería civil y en especial para cimentaciones de edificaciones menores; a continuación los más relevantes:

Jiménez (2008) en la tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas titulada “Elaboración de un plan de explotación de aguas subterráneas en una zona de la península de Santa Elena, mediante la interpretación de métodos resistivos” realizada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral facultad de ciencias de la tierra – Ecuador tuvo como objetivo desarrollar una red de sondeos eléctricos verticales en la zona de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomas; así también, elaborar mapas de resistividad para la caracterización geoelectrónica de los acuíferos subterráneos. Mediante la interpretación de valores de resistividad se logró identificar mejores áreas para la construcción de nuevos pozos, además se planteó un plan de explotación racional del recurso para satisfacer la demanda de agua en los sectores de interés. El marco teórico forma parte del aporte para la presente investigación.

García y Otros (2011) en la tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, titulada “Aplicación de la prospección geofísica utilizando el método Schlumberger para exploración de agua subterránea en cantón Los Magueyes, colonia Santa Lucia, municipio de Ahuachapan” realizada en Universidad de El Salvador escuela de Ingeniería Civil facultad de ingeniería y arquitectura tuvieron como objetivo aplicar el método Schlumberger para determinar las características resistivas de los diferentes estratos y determinar la profundidad a la que se encuentra el posible acuífero, en este trabajo de graduación

establecieron el procedimiento a seguir para la identificación de posibles mantos de agua subterránea utilizando el método Schlumberger y que estos a su vez puedan ser utilizados por ingenieros civiles en el estudio de acuíferos subterráneos en una zona determinada; se logró determinar también la posible litología de la zona. El marco teórico forma parte del aporte para la presente investigación.

Arias (2011) en la tesis para optar el Grado de Maestría en Ingeniería Geotecnia, titulada “Exploración Geotécnica – Relaciones Geo eléctricas” realizada en Universidad Nacional de Colombia facultad de minas Escuela de Ingeniería Civil tuvo como objetivo proponer una metodología de investigación geotécnica en suelos de la zona central de Antioquia que incluya y se beneficie de los métodos geo eléctricos de investigación del subsuelo, se ha demostrado que mediante la prospección geo eléctrica y a través del registro de resistividad real, se puede relacionar la calidad geo mecánica de los materiales para diferentes proyectos de ingeniería. El marco teórico y desarrollo de objetivos forman parte del aporte para la presente investigación.

En el *ámbito Nacional* existen escasas investigaciones sobre empleo de métodos indirectos y en especial métodos de resistividad eléctrica para caracterización de suelos:

Toledo (2015) en la tesis para optar el Título de licenciado en Física, titulada “Aplicación de métodos geoelectrónicos en la prospección geofísica” realizada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos facultad de ciencias físicas tuvo como objetivo determinar la profundidad a la que se encuentra el posible acuífero a través de las características resistivas de los diferentes estratos que se encuentran sobre este; llegando a la conclusión de que en tomografía eléctrica se determinó el nivel del acuífero y suelo altamente conductivo a través de valores de resistividad, así mismo se determinó que la humedad relativa y la temperatura altera la resistividad de los suelos en una prospección geofísica. El marco metodológico forma parte del aporte para la presente investigación.

Huisa (2017) en la tesis para optar el Título de Ingeniero Geofísico, titulada “Aplicación de los métodos de Resistividad Multielectrodo – Georadar y su modelización 2D para caracterizar el Subsuelo en la ampliación del terminal portuario general San Martín Región Ica” realizada en Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa facultad de geología, geofísica y minas Escuela profesional de ingeniería Geofísica tuvo como objetivo presentar el método de resistividad Multielectrodo y Georadar para la caracterización del subsuelo en investigaciones geotécnicas en la Ampliación del Terminal Portuario General San Martín Región Ica, obteniendo como resultado que en correlación a ensayos in-situ

para este estudio, se ha demostrado la credibilidad del procedimiento de trabajo de campo realizándose un control de calidad de datos de adquisición en campo, procesamiento e interpretación adecuado para proyectos con finalidades de ampliación portuaria en zonas marítimas. El marco teórico forma parte del aporte para la presente investigación.

Para **Ramírez (2017)** en la tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, titulada “Evaluación por métodos no convencionales de caracterización de suelos del distrito de morales, provincia de San Martín - región de San Martín” realizada en Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura tuvo como objetivo analizar las propiedades físicas de diferentes tipos de suelos delimitada dentro de la localidad de Morales, en el perímetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores, mediante el empleo de métodos de resistividad eléctrica, en el distrito de Morales – provincia de San Martín – región San Martín, llegando a la conclusión que mediante prospección geoelectrica y a través del registro de resistividad real, se puede relacionar la calidad geomecánica de los materiales para diferentes proyectos de ingeniería; pues existe una alta correlación estadísticamente significativa entre los resultados del método tradicional con el método no convencional. $r = 0,875$.

El marco teórico empleado en la investigación descrita sirve de base para el desarrollo de nuestro proyecto.

1.2. Realidad Problemática

Según un estudio de la cámara Peruana de la construcción (Capeco) en el Perú más del 70% de viviendas son informales y vulnerables ante un eventual sismo de gran escala pues son muchas las viviendas que correrían el riesgo de desplomarse o de sufrir daños severos al haber sido construidas de manera informal y sin cumplir las normas técnicas necesarias (Angulo, 2017).

El Perú por encontrarse ubicado en el Círculo del Fuego del Pacífico (zonas de mayor actividad sísmica a nivel mundial), se encuentra expuesto frecuentemente a eventos sísmicos. Según su historia sísmica, el Perú ha sido afectado de manera reiterativa por sismos de gran magnitud, produciendo daños materiales y pérdidas de vidas humanas; esto debido principalmente a que el riesgo no solo depende de las características de los eventos sísmicos, sino también de los efectos de sitio y las condiciones de vulnerabilidad de las estructuras que favorecen o facilitan que se desencadene un mayor desastre cuando se presentan estos peligros.

En las últimas décadas en el Perú la mayor parte de las construcciones son informales, el desarrollo urbano en ciertas ciudades se ha incrementado apareciendo asentamientos humanos que se establecen en las periferias de las ciudades, los mismos que originan un crecimiento descontrolado pues al no contar con estudios de suelos básicos que revelen el riesgo y vulnerabilidad de la zona y debido a que la autoconstrucción de viviendas se realiza generalmente sin ninguna planificación multifamiliar, los pobladores terminan construyendo sus viviendas en zonas que pueden resultar suelos no apropiados para el tipo de construcción; por lo tanto ante la ocurrencia de un sismo estas construcciones resultarían ser más vulnerables.

Generalmente la población emprende la autoconstrucción de sus viviendas sin asesoría de profesionales en tema de suelos, encargando está a maestros de obra quienes en gran mayoría tienen poco o escaso conocimiento de suelos; ambos población y maestro de obra no se animan a realizar ningún estudio de suelos debido al elevado costo que representa este, se suma a esto el tiempo de demora en la obtención de resultados, entonces simplemente por estos motivos o por desconocimiento hacen caso omiso a la norma peruana E.050 de suelos y cimentaciones. Estos hechos constituyen un riesgo en viviendas y construcciones ubicadas en suelos inestables, pues ante la ocurrencia de un sismo se producirían daños y problemas que serían difíciles de reparar en aquellas que fueron construidas sin ningún estudio de suelos.

El suelo o terreno cumple un papel importante como elemento estructural de soporte de estructuras, por este motivo antes de iniciar la construcción de una edificación, es de vital importancia conocer el tipo de suelo donde se construirá esta, puesto que nos guiará a que las estructuras que se construyan se apoyen en suelos de características competentes, preferentemente en suelos gruesos por ser considerados más estables que suelos finos (suelos limosos, arcillosos, orgánicos) ante la presencia de agua, pues estos sufren alteraciones convirtiéndose en suelos problemáticos, no aptos para la construcción.

El diseño de los cimientos para todo tipo de edificación requiere de estudios para analizar la disposición de los materiales en el subsuelo, categorizarlo de acuerdo al desempeño geotécnico evaluando sus propiedades físico-mecánicas con la finalidad de conocer el estrato que va a ofrecer resistencia a las cargas o esfuerzos transmitidos por la estructura a la cimentación y se pueda determinar su comportamiento.

La falta de información al momento de ejecutar una obra de ingeniería civil puede desencadenar una serie de inconvenientes técnicos, estos daños se relacionan con la

inestabilidad del suelo lo cual termina en asentamientos diferenciales, asentamientos y desplomos en estructuras desplantadas en suelos blandos.

La exploración del subsuelo por métodos directos conlleva el uso de varios recursos: económicos, por sus altos costos y tiempo prudente para la realización de los ensayos de laboratorio, por lo que es necesaria la búsqueda de otros métodos de exploración que sean rentables, fáciles de realizar y en un tiempo menor y con capacidad suficiente para dar solución a problemas de caracterización geotécnica, este es el caso del método de resistividad eléctrica.

Ante esta realidad para lograr un crecimiento ordenado de las ciudades, para detectar suelos inestables, es de suma importancia para los ingenieros civiles y población el conocimiento del tipo de suelo o terreno antes de iniciar cualquier tipo de construcción, es así que se requiere de métodos no convencionales alternativos que permitan conocer la calidad de los suelos y así determinar el tipo de construcción que se podrá cimentar en este. Este método alternativo debe ser económicamente viable también y prudente en tiempo de obtención de resultados para así para alentar a la población a realizar mínimamente este tipo de estudio de suelos y así puedan conocer el tipo de construcción apropiada para el tipo de suelo existente.

El presente estudio pretende demostrar que el método de resistividad eléctrica, puede constituir una herramienta importante en la determinación de las características geotécnicas del suelo.

Por ello con el fin que se pueda contar con una metodología rápida, de costo bajo para la caracterización de suelos y posterior determinación de la profundidad de desplante y/o capa freática en lugares donde se pretende construir edificaciones hemos elaborado el presente estudio.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Es posible analizar las características del suelo mediante el empleo del Método Wenner de resistividad eléctrica en la Institución educativa Libertador San Martin – Recuay 2018?

1.3.2. Problema Específico

1.3.2.1. Problema específico 01

¿Es posible obtener un corte geoelectrico y geológico del suelo a partir de los valores de resistividad mediante la aplicación del Método Wenner en la Institución Educativa Libertador San Martin del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018?

1.3.2.2. Problema específico 02

¿Es posible obtener una correlación satisfactoria entre resultados del Estudio de Mecánica de suelos y los resultados obtenidos del empleo del Método Wenner de resistividad eléctrica aplicado en la Institución Educativa Libertador San Martin del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018?

1.3.2.3. Problema específico 03

¿En qué medida resulta más ventajoso en tiempo y costo el uso del método Wenner de resistividad eléctrica en comparación con el método convencional de caracterización de suelos?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Teórica

La presente investigación propone la utilización del Método Wenner de resistividad eléctrica para la caracterización de suelos, por ello se profundizará aspectos teóricos relacionados a la geoelectrica para conocer la propiedad más importante del suelo y las rocas que es la resistividad eléctrica.

1.4.2. Justificación Práctica

Esta investigación tiene una justificación práctica porque permitirá conocer de manera rápida y económica las características del suelo, ayudándonos a definir de esta manera el tipo de construcción más apropiada de una manera rápida y económicamente razonable.

1.4.3. Justificación Cuantitativa

La importancia de la presente investigación en comparación con los métodos convencionales radica en los resultados favorables, en cuanto a tiempo una relación de 7:1 y en costo una relación 2:1 mejorando esta última relación en función del número de investigaciones que se pueda realizar. Esta información podrá ser de utilidad para futuras investigaciones, para empresarios, para instituciones estatales como los municipios e instituciones no estatales.

1.4.4. Justificación Académica

Permitirá emplear los conocimientos obtenidos durante el desempeño de la carrera profesional de Ingeniería Civil e investigaciones realizadas en el campo de la geoelectrónica para obtener una relación entre valores de resistividad y las características del suelo.

1.5. Objetivo

1.5.1. Objetivo General

Analizar las características del suelo mediante el empleo del Método Wenner de Resistividad Eléctrica en la Institución Educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018.

1.5.2. Objetivo Específico

1.5.2.1. Objetivo específico 1

Obtener un corte geoelectrónico y geológico del suelo a partir de los valores de resistividad mediante la aplicación del Método Wenner de la Institución Educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018.

1.5.2.2. Objetivo específico 2

Obtener una correlación entre resultados del Estudio de Mecánica de suelos y los resultados obtenidos del empleo del Método Wenner de resistividad eléctrica aplicado en la Institución Educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018.

1.5.2.3. Objetivo específico 3

Comparar tiempo y costo de ejecución del método Wenner de resistividad eléctrica y el método convencional para caracterización de suelos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. Suelo

“El suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas” (Das, 2001, p.1).

Según Juárez & Rico (2012), por efecto de la intemperie, medios mecánicos (cambios de temperatura, efecto de organismos, plantas, agua, etc.) las rocas se van fracturando y rompiendo, formándose así una capa de suelo; el suelo que permanece en el lugar donde se formó se denomina **suelo residual** y a los suelos que son transportados por medio de procesos físicos y depositados en otros lugares se denominan **suelos transportados**; entonces podemos afirmar que el material que encontramos en la corteza terrestre se divide en suelo y roca.

En la naturaleza existen diversos agentes de transporte de suelos y entre los principales tenemos: los glaciares, el viento, los ríos, corrientes de agua superficial, los mares y fuerzas de gravedad, los cuales a menudo actúan combinándose. Entre los principales depósitos podemos citar los siguientes:

Los depósitos de talud son generados de la combinación del escurrimiento de aguas en las laderas de colinas con ayuda de las fuerzas de campo gravitacional; estos depósitos ubicados en las faldas de las elevaciones son heterogéneos y sueltos que varían de partículas de tamaño de arcilla hasta rocas predominando el material grueso. El flujo de lodo es un tipo de suelo transportado por gravedad.

Figura 1. Depósito de Talud



Fuente: Tomado de (Das, 2012)

Nota: Suelo tipo flujo de lodo.

Los depósitos aluviales son generados de la acción de corriente de ríos que acarrear materiales de diferentes tamaños y depositándolos a lo largo de su recorrido; los materiales son depositados por los ríos de acuerdo a su tamaño decreciente y suelen variar entre los de grava y limo de esta manera las partículas finas (limos y arcillas) son arrastradas por el agua más lejos hacia las planicies de inundación y generalmente se depositan próximo a su desembocadura (Das, 2012).

Los depósitos lacustres son originados por sólidos en suspensión transportados a los lagos por corrientes de río y debido a que el agua de los lagos fluye a pequeñas velocidades, las partículas finas (limos y arcillas) se depositan en el fondo del mismo; su característica general es que son de grano fino (Das, 2012).

Los depósitos glaciares se originaron en la era de hielo durante el avance y retroceso de los glaciares debido a grandes presiones desarrolladas y de la abrasión producidas por el movimiento de las masas de hielo, arrastrando grandes cantidades de arcilla, limo, arena, grava y boleas. En general son suelos heterogéneos que van desde grandes bloques de roca hasta materiales finos (Das, 2012).

2.1.2. Tipos de suelo

De acuerdo al origen de los elementos del suelo, estos se dividen en dos grupos: *suelo inorgánico* que es el suelo que tiene origen por descomposición física y/o química de las

rocas (suelo residual y suelo transportado) y por otra parte el *suelo orgánico*, los cuales contienen materiales orgánicos en forma de humus y de materia no descompuesta o en descomposición (Graneros & Tito, 2017).

En la Ingeniería Civil, los términos principales para describir los suelos según el tamaño de sus componentes son: Gravas, Arenas, Limos, Arcillas, Turba y rellenos.

Gravas

Las gravas son suelo de material suelto precedentes de minerales y rocas fragmentadas de grano grueso, que suele encontrarse en los lechos y márgenes de los ríos, por consiguiente sufren desgaste de sus aristas (Graneros & Tito, 2017).

Arenas

Las arenas son materiales precedentes de la desintegración de las rocas, de grano mediano (fino y grueso); debido a que la arena y grava tienen el mismo origen suele encontrárselas juntas (Graneros & Tito, 2017).

Limos

Los limos son suelos de grano fino pudiendo ser limo orgánico que se encuentra en los ríos y limo inorgánico como el que se encuentra en las canteras (Graneros & Tito, 2017).

Arcillas

Las arcillas son de grano muy fino cuya masa al ser mezclada con el agua tiene la propiedad de volverse plástica (Graneros & Tito, 2017).

Turba

Son suelos compuestos por materia orgánica de procedencia vegetal en diferentes estados de descomposición, son de color marrón oscuro a negro (Graneros & Tito, 2017).

Relleno

Son suelos procedentes de otros lugares que al ser depositados generalmente no han sido compactados, presentando un comportamiento mecánico malo, suelen aparecer asentamientos impredecibles y/o excesivos por lo que son suelos de baja fiabilidad (Graneros & Tito, 2017).

2.1.3. Tamaño de las partículas de suelo

Para describir el tamaño de la partícula de suelo podemos aplicarle un nombre que ha sido asignado a una cierta gama de tamaño, la clasificación por tamaños más ampliamente utilizada se da en la tabla N° 1 (Lambe & Whitman, 2013).

Tabla 1. Designación de partículas de suelo.

Denominación	Tamaño de partícula
Bloques	>30 cm
Boleos (Bolos)	15 a 30 cm
Grava	2 mm (ó 4,76 mm) a 15 cm
Arena	0,06 (ó 0,076 mm) a 2 mm (ó 4,76 mm)
Limo	0,002 a 0,06 mm (ó 0,074 mm)
Arcilla	<0,002 mm

Fuente: Tomado de Lambe & Whitman (2013)

2.1.4. Caracterización geotécnica del suelo

La descripción e identificación de los suelos es de suma importancia para que el ingeniero pueda cimentar estructuras, al respecto de esto algunos autores la definen con las siguientes palabras:

La identificación y clasificación de suelos es un procedimiento artificial porque esos materiales son infinitamente variados y no se prestan para separarlos en diferentes categorías. Este hecho ha determinado que existan varios sistemas de clasificación arbitrarios, cada uno con ciertas ventajas y desventajas para una finalidad definida. Además cuando se intenta perfeccionar cualquier sistema, inevitablemente se hace más complicado y finalmente tan engorroso, que anula su objeto (Peck, Hanson, & Thornburn, 2012, p. 30).

Para evitar esta dificultad se prefiere utilizar sistemas de clasificación relativamente sencillos como es el sistema de clasificación de suelos *SUCS*; esta clasificación se vale de

unos símbolos de grupo consistentes en un prefijo que designa la descomposición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. Los suelos se clasifican en cuatro principales categorías que son gravas, arenas, limos y arcillas.

Los suelos orgánicos llevan el prefijo “O”, en tanto una turba lleva el prefijo “Pt” y es un suelo compuesto principalmente por material vegetal en diferentes estados de descomposición, tiene consistencia esponjosa. Un símbolo doble corresponde a dos tipos de suelo, es decir que tiene propiedades de los dos grupos.

Tabla 2. Símbolos de grupo de clasificación SUCS

SÍMBOLO DE GRUPO (SUCS)			
TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrememente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	H
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	L

Fuente: Tomado de Graneros & Tito (2017).

El Tamiz es la herramienta fundamental para realizar el análisis granulométrico, se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla que tiene una abertura entre hilos (Graneros & Tito, 2017).

Tabla 3. Tamaños de malla estándar.

Nº de Malla	Abertura (mm)
4	4,75
6	3,35
8	2,36
10	2,00
16	1,18
20	0,85
30	0,60
40	0,425
50	0,30
60	0,25
80	0,18
100	0,15
140	0,106
170	0,088
200	0,075
270	0,053

Fuente: Tomado de Graneros & Tito (2017).

Los suelos de grano grueso son aquellos en los que más de la mitad del material es retenido por el tamiz Nº 200; dentro de estos son gravas si más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz Nº 4 y serán arenas si más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz Nº 4. Los suelos de grano fino son aquellos en los que más de la mitad del material pasa por el Tamiz Nº 200 (Gonzales, 2010).

Figura 2. Sistema Unificado de Clasificación SUCS.

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)				Símbolo del grupo	Nombres típicos		
<p>Como se gana grueso-más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200</p> <p>Como se gana grueso-más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200</p> <p>Como se gana grueso-más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200</p>	<p>Graves más de la mitad de la fracción gruesa pasar por el tamiz N.º 4</p> <p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a media centímetro</p>	Graves limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos		
		Graves con finos (cantidad apreciable de finos)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos		
		Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla		
	<p>Arenas más de la mitad de la fracción gruesa pasar por el tamiz N.º 4</p> <p>Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a media centímetro</p>	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
		Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas		
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	<p>Suelos de grano fino-más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200</p> <p>(La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)</p>	<p>Limos y arcillas con límite líquido menor de 50</p>	Resistencia en estado seco (a la desagregación)	Difundencia (reacción a la agitación)	Temperatura (consistencia)		
			Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
			Media a alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
<p>Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50</p>	<p>Ligera a media</p>	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomas, suelos limosos	
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas	
<p>Suelos altamente orgánicos</p>	<p>Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa</p>				PH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta	
					Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-OC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Fuente: Tomado de (Gonzales, 2010)

Figura 3. Simbología de Suelos

DIVISIONES MAYORES	SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN	
	SUCS	GRÁFICO		
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA GRADUADA BIEN
		GP		GRAVA GRADUADA MAL
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA GRADUADA BIEN
		SP		ARENA GRADUADA MAL
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD

Fuente: Tomado de la Norma E.050

2.1.5. Estados de consistencia del suelo

Para conocer la consistencia de un suelo fino se utilizan los límites de consistencia o límites de Atterberg. La consistencia de un suelo (capacidad de mantener las partes del conjunto integradas) se define en función al contenido de agua en este, cuanto mayor sea el contenido de agua que contenga un suelo entonces será menor la interacción entre las partículas adyacentes y el suelo se aproximara más al comportamiento de un líquido.

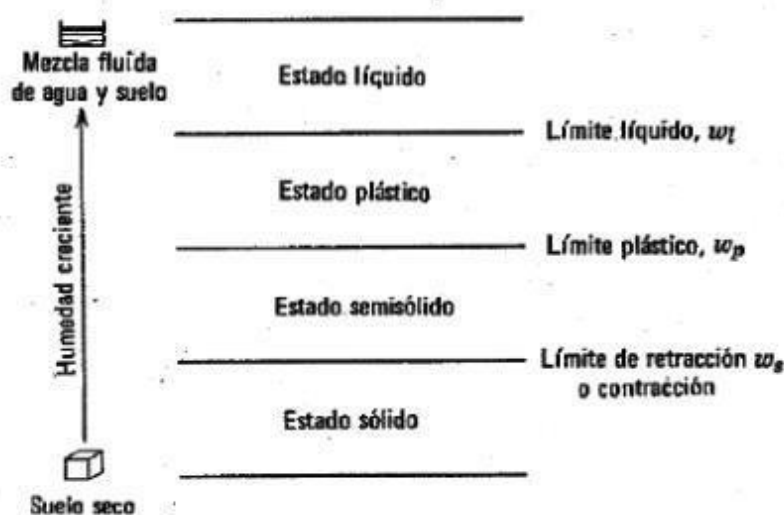
Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse; la plasticidad es la propiedad que los suelos presentan para deformarse hasta cierto límite sin romperse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande (Lambe & Whitman, 2013).

Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe. Se define como el contenido de agua con el cual el suelo al ser enrollado en rollitos de 3,2 mm de diámetro, se desmorona (Das, 2012).

Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad. Se define como el contenido de agua en porcentaje bajo el cual el cambio de volumen de masa de suelo cesa (Das, 2012).

Los límites de Atterberg o límites de consistencia deben ser concebidos como límites aproximados entre los diversos estados que pueden presentar los suelos de grano fino. Así un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, al añadir agua pasa al estado semisólidos, plástico y finalmente líquido (Lambe & Whitman, 2013).

Figura 4. Límites de Atterberg.



Fuente: Tomado de Lambe & Whitman (2013).

El índice de plasticidad (I.P.) viene a ser la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico e indica el intervalo de humedades dentro del cual el suelo posee consistencia plástica. Un índice de plasticidad bajo como por ejemplo del 5%, es un suelo muy sensible a los cambios de humedad, quiere decir que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de la condición semisólido a la condición de líquido. Por el contrario un alto índice de plasticidad indica que para que un suelo pase del estado semisólido a líquido se le debe agregar una gran cantidad de agua.

2.1.6. Exploración Geotécnica

Los métodos de exploración de suelos convencionales son los siguientes: Calicatas, Sondeos, Penetrómetros, Ensayos geofísicos. Los depósitos naturales que forman todo tipo de suelo son tan variados que ningún método de exploración es ideal para todos los casos; esto significa que cada suelo requerirá probablemente de un procedimiento para investigarlo muy diferente del que necesitará otro subsuelo. En ese sentido antes de proceder a explorar el suelo, es conveniente un análisis y observación preliminar de la zona para tener una información que, en muchos casos, evitará investigaciones costosas e innecesarias (Graneros & Tito, 2017).

Según la norma E.050 desde el punto de vista de la investigación de suelos, las edificaciones se clasifican en tres tipos siendo A más exigente que el B y este que el C.

Tabla 4. Tipo de edificación para investigación de suelos

TIPO DE EDIFICACIÓN					
CLASE DE ESTRUCTURA	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS	NUMERO DE PISOS (Incluido los sótanos)			
		≤3	4 a 8	9 a 12	>12
Aporticada de acero	< 12	C	C	C	B
Pórticos y/o muros de concreto	< 10	C	C	B	A
Muros portantes de albañilería	< 12	B	A	-	-
Bases de máquinas y similares	cualquiera	A	-	-	-
Estructuras especiales	cualquiera	A	A	A	A
Otras estructuras	cualquiera	B	A	A	A
Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificara en el tipo de edificación inmediato superior					
Tanques elevados y similares	≤9 m de altura	>9 m de altura			
	B	A			

Fuente: Tomado de la Norma E.050

Para definir el número de puntos de investigación del suelo, se toma en cuenta el tipo de edificación y el área de la superficie que ocupará esta edificación.

Tabla 5. Número de puntos de investigación de suelo

NUMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	
Tipo de edificación	Número de puntos de investigación (n)
A	1 cada 225 m ²
B	1 cada 450 m ²
C	1 cada 800 m ²
Urbanizaciones para viviendas unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada Ha. de terreno habilitado

Fuente: Tomado de la Norma E.050

2.1.7. Criterios para calificar suelos con fines urbanos

La descripción e identificación de los suelos es de suma importancia para que el ingeniero pueda determinar si un suelo es apto o no para la construcción, se debe tener en cuenta diversos criterios.

2.1.7.1. Distribución Granulométrica

Los tamaños de las partículas en general que conforman un suelo, varían en un amplio rango, La granulometría se refiere al tamaño de los elementos que componen el suelo, el tamaño de las partículas del suelo influye directamente en las propiedades de este (Das, 2001, p.2).

2.1.7.2. Textura y color del suelo

La textura se refiere al tamaño que prevalecen en el sedimento del suelo, es por eso que los suelos pueden clasificarse en función a estas proporciones de prevalencia en suelo gravoso (suelo con prevalencia de gruesos), suelo arenoso, suelo arcilloso (si prevalece el tamaño fino arcilla o limos), etc.; los suelos de textura gruesa tienen mayor capacidad de carga y de esta manera son mejores que los suelos con prevalencia de finos. Según el color de los suelos se puede determinar la estabilidad de los mismos, son inestables los suelos de color negro, rojizo, amarillento y blanco, mientras que los de color gris son suelos más estables (PREDES, 2018).

2.1.7.3. Consolidación de suelos

Los suelos se consolidan con el tiempo y la exposición a fenómenos naturales, los suelos blandos son suelos sueltos y fáciles de excavar, son suelos no consolidados por lo tanto son de baja calidad para la edificación. Los suelos firmes, compactos y consolidados serán suelos duros y difíciles de excavar, este tipo de suelos son buenos para la edificación.

2.1.7.4. Grado de saturación de suelo y nivel freático

La calidad del suelo se ve afectado por la cantidad de agua que contiene, ante la presencia de agua los suelos gruesos son más estables que los suelos finos. La capa freática es la capa de agua subterránea y su nivel puede variar durante el año dependiendo de la época de estiaje o de lluvia (Cobeñas, 2017).

Figura 5. Nivel freático y zonas saturadas – no saturadas.



Fuente: Tomado de Cobeñas (2017).

Un suelo será malo si el nivel freático es superficial (a menos de 2 metros de profundidad desde la superficie del suelo) y será estable y bueno si el nivel freático es profundo.

A continuación en la tabla N° 6, se resume los criterios que se debe tomar en cuenta para calificar los suelos con fines urbanos:

Tabla 6. Criterios para identificar suelos aptos para construcción

Criterios utilizados	Suelo apto para construir	Suelo No apto para construir
Granulometría	Gruesas	Finas
Peso unitario	Pesado	Liviano
Nivel freático	Sin agua o profunda	Superficial
Material orgánico	Sin material orgánico	Con material orgánico
Colapsable	Estable	Colapsable
Color de suelo	Gris	Rojo, amarillo o blanco
Forma de partículas	Angulosas	Redondeadas
Pre consolidación	Compacto y firme	Blando o suelto
Plasticidad	No plástico	Plástico
Expansión	No expansivo	Expansivo
Dispersión	No dispersivo	Dispersivo

Fuente: Tomado de Palacios (2015)

2.1.8. Cimentaciones

Las cimentaciones transmiten al suelo las cargas que soporta la estructura, de modo general existen dos tipos de cimentaciones: superficiales y profundas. Las cimentaciones superficiales son aquellas que se apoyan en capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener suficiente capacidad portante o por tratarse de construcciones de importancia secundaria y relativamente livianas, en particular son superficiales cuando el cálculo de la cimentación tiene en cuenta la resistencia del suelo debajo del nivel de apoyo; estas se clasifican en: Zapatas (Aisladas, corridas, combinadas) y Losas de cimentación (Fierro & Segarra, 2018).

2.1.9. Profundidad de cimentación

La profundidad de cimentación “Df” debe estar ubicado en un estrato resistente, esta profundidad es la distancia vertical medida desde la superficie del terreno hasta el fondo o base de la cimentación, en forma amplia esta profundidad depende de la profundidad del estrato de suelo competente para soportar las cargas transmitidas por la cimentación, es decir la cimentación debe ser establecida en un estrato de suelo portante de resistencia y compresibilidad apropiadas para poder soportar las cargas sin que se presenten problemas de asentamientos excesivos ni tampoco fallas en la masa de suelo; los estratos

que están debajo de esta profundidad de desplante o cimentación también deben tener suficiente resistencia y compresibilidad (Delgado, 2008).

Según la Norma Técnica E.050 para cimentaciones superficiales ($D_f/B \leq 5$), la profundidad mínima de cimentación será de 80 cm en el caso de zapatas y cimientos corridos. Así mismo la cimentación no deberá ser colocada en desmontes, rellenos no controlados, en suelo orgánico, turba, los cuales deben ser removidos en su totalidad antes de la construcción de la edificación.

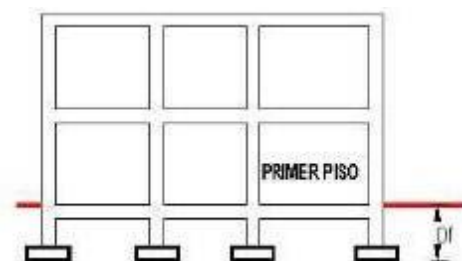
La profundidad mínima a alcanzar “p” por cada punto de investigación de suelos será mínimo 3 m, excepto si se encuentra roca. Para cimentaciones superficiales la profundidad mínima se determina por las siguientes expresiones.

Edificación sin sótano:

Edificación con sótano:

Donde la profundidad de verificación “z” podrá ser 1 m como mínimo, si en el proceso de exploración de suelo se ubica el estrato resistente (Profundidad de cimentación). Normalmente esta profundidad de verificación es igual a 1.5 veces el ancho de la cimentación de mayor área prevista. La distancia entre el nivel de piso terminado del sótano y la superficie del terreno natural se denota por la letra h.

Figura 6. Profundidad de desplante.



Fuente: Tomado de la norma E.050

2.1.10. Métodos de exploración de suelos

La investigación o exploración del subsuelo consiste en determinar, tanto los estratos de depósitos que se encuentren debajo de una estructura, así como las propiedades físicas y mecánicas que presentan cada uno de estos estratos (Fierro & Segarra, 2018).

La exploración del suelo consta de operaciones de campo y laboratorio, existen diversos métodos exploratorios sin embargo ningún método es el adecuado para todos los casos, entre estos tenemos a manera general los siguientes:

Calicatas: son pozos a cielo abierto y permite la exploración *in situ*, se examinan los diferentes estratos llevando un registro completo y detallado de las condiciones del mismo como son el color, textura, espesores, humedad. En este método se hace una observación visual directa y da la posibilidad de tomar muestras de suelo ya sean alteradas o inalteradas, sin embargo están limitadas por la profundidad. Se debe tener presente que al realizar la excavación se alteran las condiciones naturales del terreno, por lo tanto la ubicación de los cimientos debe realizarse en otro punto diferente al de la calicata para evitar que estos se apoyen en terrenos removidos. Las calicatas son indicadas para terrenos duros, y recomendables para edificaciones pequeñas en terrenos homogéneos (Chavarria, 2017).

Sondeos: es un ensayo *in situ* y consta de perforaciones de pequeño diámetro que aunque no sea posible la visión *in situ* del terreno, podemos obtener testigos de suelo perforado. Los sondeos pueden ser manuales o mecánicos y se emplean para alcanzar profundidades superiores a las calicatas (Chavarria, 2017).

Penetrómetros: estos pueden ser estáticos (se inca por la presión de un tornillo sin fin) y dinámicos (se inca por una serie de golpes de una masa) y dan un registro continuo de la resistencia del terreno (Chavarria, 2017).

Métodos geofísicos: se emplearon inicialmente en la exploración del suelo con fines geológicos, determinación de aguas subterráneas, minerales, etc; sin embargo poco a poco están siendo adaptados a las necesidades de la ingeniería civil. Estos métodos geofísicos mediante un parámetro físico como por ejemplo en sísmica por la velocidad de transmisión de las ondas o en geoléctrica por la resistividad, intentan reconocer formaciones geológicas que se encuentran en profundidad. Existen diversas técnicas

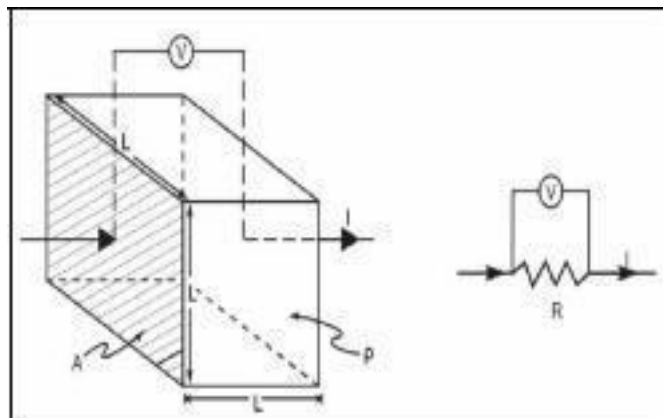
geofísicas que miden la resistividad de los materiales, siendo unas más modernas y precisas que otras (Arias, 2011).

2.1.11. Resistividad eléctrica del suelo

La ley de Ohm es la base fundamental de la geoelectrónica y establece que la variación de la tensión V en una corriente eléctrica I que circula entre dos puntos de un determinado medio es directamente proporcional a la intensidad de dicha corriente, así también la relación entre la corriente I y la resistencia R es inversa (Seippel, 2003).

Según Moreno, Valencia, Cárdenas, & Villa (2007) resistividad del suelo estrictamente se define como la resistencia que ofrece un cubo de 1 m de lado (lleno con el suelo que se desea analizar) al paso de la corriente, como se muestra en la figura N° 7.

*Figura 7. (A) Definición de resistividad a través de un bloque homogéneo de terreno
 (B) Circuito eléctrico equivalente donde R es la resistencia.*



Fuente: Tomado de Auge (2008).

Para un conductor rectilíneo y homogéneo de sección A y longitud L , la resistencia eléctrica está dada por la siguiente expresión:

Donde la constante de proporcionalidad (ρ) se la denomina resistividad “real” del suelo homogéneo, despejando la resistividad tendremos:

—

Para el caso de la figura N° 7, tenemos:

$$\rho = \frac{V}{I} \left(\frac{1}{L} \right) \left(\frac{1}{L} \right)$$

De donde:

$$\rho = \frac{V}{I} \left(\frac{1}{L} \right) \left(\frac{1}{L} \right)$$

El valor de la resistividad describe el comportamiento de un material frente al paso de una corriente eléctrica, por lo que nos da una idea de lo buen o mal conductor que es; será un mal conductor si tiene un valor alto de resistividad, mientras que un valor bajo de la resistividad indicará que el material es un buen conductor.

La magnitud inversa de la resistividad se denomina conductividad eléctrica que viene a ser la facilidad con la que un material conduce la electricidad. La mayoría de las rocas no son buenas conductoras de la corriente eléctrica, sin embargo la presencia de fracturas y poros hacen que los valores de conductividad se incrementen, pues estos pueden estar llenos de agua u otros fluidos conductores. Existen tres maneras de conducción de corriente eléctrica en rocas y minerales: Conducción electrolítica, electrónica y dieléctrica (Cuñez Uvidia, 2015).

Conducción electrolítica: Al aplicarse un campo eléctrico externo, la conducción de corriente eléctrica en suelos y rocas es producida por el movimiento de iones (moléculas que contienen un exceso o deficiencia de electrones) de agua en los poros. Los iones positivos o cationes son atraídos al polo negativo y los aniones o cationes negativos son atraídos al lado positivo.

Conducción electrónica: Se produce en materiales conductores como los metales, la corriente eléctrica se produce por la existencia de electrones libres.

Conducción dieléctrica: Se produce en los materiales aislantes o de baja conductividad cuando se aplica una corriente variable en el tiempo (corriente alterna CA). Si se utiliza corriente directa (CD) o alterna de baja frecuencia (CA) entonces la conductividad dieléctrica en el suelo puede ser despreciable (Cuñez Uvidia, 2015).

De todos estos modos de conducción de corriente eléctrica en el subsuelo, rocas y minerales, se tiene que la conducción electrolítica es el principal modo de conducción puesto que la mayor parte de las rocas están constituidos por minerales dieléctricos y su porosidad está parcialmente cubierta por agua que permiten el paso de la corriente eléctrica. Por lo tanto el valor de la resistividad de una formación geológica depende de varios factores como son la porosidad, la cantidad de agua que este ocupando los poros y la conductividad del agua. De esta forma los valores de resistividad no son únicos para un tipo de roca o mineral sino que cada roca puede presentar valores de resistividad eléctrica diferente (Cuñez Uvidia, 2015).

2.1.12. Resistividad de los materiales Naturales

Es de gran importancia que se investigue la resistividad del subsuelo cada vez que se tenga como objetivo conocer las características del mismo en donde se desea construir una estructura; como se sabe el subsuelo está compuesto por estratos los cuales presentan diferentes valores de la resistividad. En la tabla N° 7, se indica un rango de valores de la resistividad para los materiales geológicos más usuales.

Tabla 7. Valores de Resistividades en terrenos

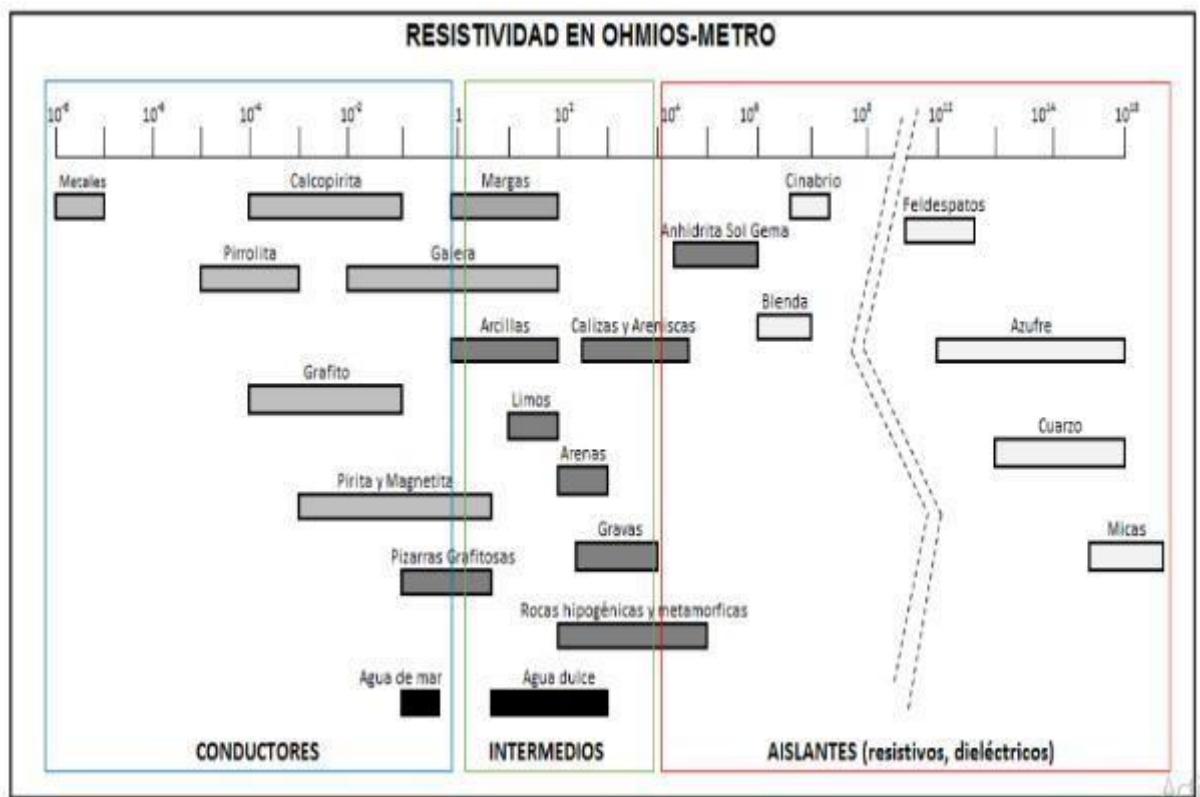
Terreno	Resistividad Media ($\Omega.m$)
Arcillas	1-10
Limos	10-100
Arenas	100-1000
Gravas	200 a más de 1000
Roca ígnea y metamórfica inalterada	Mayor a 1000

Fuente: Tomado de Herrera (2018).

Estos valores pueden usarse con buen criterio, solo en el caso de imposibilidad de conocer la resistividad mediante mediciones en el terreno

Por otro lado al revisar investigaciones internacionales encontramos los siguientes valores de resistividad en rocas y minerales.

Figura 8. Márgenes de variación de resistividades más comunes en algunas rocas y minerales.



Fuente: Tomado de Pellicer (2015)

En nuestro país contamos por otra parte con el Código Nacional de electricidad – Utilización 2006 y en su Anexo A2 presenta una tabla de tipo de suelos con los siguientes valores de resistividad de suelos.

Tabla 8. Resistividades medias en terrenos típicos

Terreno	Símbolo del Terreno	Resistividad Media ($\Omega.m$)
Grava de buen grado, mezcla de grava y arena	GW	600-1000
Grava de bajo grado, mezcla de grava y arena	GP	1000-2500
Grava con arcilla, mezcla de grava y arcilla	GC	200-400
Arena con limo, mezcla de bajo grado de arena con limo	SM	100-500
Arena con arcilla, mezcla de bajo grado de arena con arcilla	SC	50-200
Arena fina con arcilla de ligera plasticidad	ML	30-80
Arena fina o terreno con limo, terrenos elásticos	MH	80-300
Arcilla pobre con grava, arena, limo	CL	25-60
Arcilla inorgánica de alta plasticidad	CH	10-55

Fuente: Código Nacional de electricidad – Utilización 2006 Tabla A2-06.

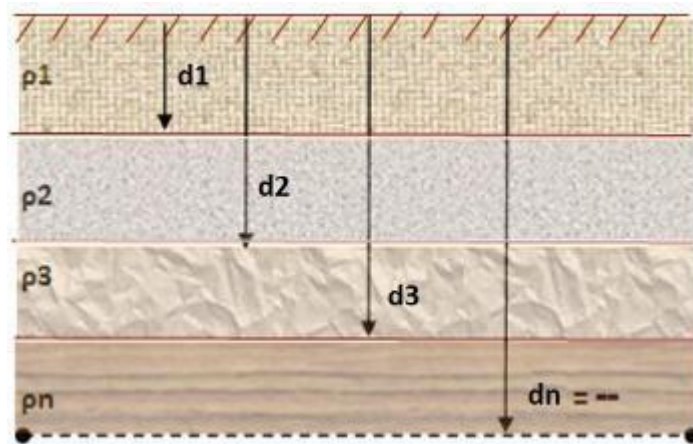
2.1.13. Resistividad Aparente

Según Cárdenas & Galvis (2011), la resistividad aparente ρ_a es el valor de resistividad obtenido de una medición directa del terreno (suelo heterogéneo), esta resistividad es una mezcla de las resistividades de diversos materiales.

El concepto de resistividad aparente surge en medios heterogéneos. La resistividad real coincidiría con la resistividad aparente solo en el caso cuando el terreno es homogéneo.

En la práctica un terreno puede ser razonablemente representado por un modelo de estratos paralelos a la superficie del suelo, caracterizando cada uno de ellos por su espesor y un valor constante de resistividad según la figura N° 9.

Figura 9. Representación de un suelo estratificado



Fuente: Elaboración propia basado de figura de Cárdenas & Galvis (2011)

2.1.14. Influencia de la humedad en los suelos

El contenido de agua en los poros del suelo (grado de saturación) afecta la resistividad y conductividad debido a que la forma de transmisión de corriente en la mayoría de los suelos es electrolítica. Por efectos de evaporación natural en la superficie del terreno se produce una disminución del contenido de agua, este fenómeno se propaga lentamente desde la superficie hacia los estratos más profundos; es así que el contenido de agua en una determinada región geográfica depende de sus características climáticas, es así que la resistividad de los estratos superiores suele variar en las distintas estaciones del año, dependiendo del mineral predominante. Otro aspecto que influye en la variación de resistividad de los estratos superiores es la presencia y altura de la capa freática (Cárdenas & Galvis, 2011).

Para explicar cuantitativamente el efecto de la humedad en los suelos, diferentes autores han propuesto expresiones empíricas, una de las más conocida es la ley de Archie y sus variantes, en el caso de suelos no saturados la disminución del grado de saturación

fue acompañada por un incremento de la resistividad del terreno debido a la sustitución parcial del agua de los poros por aire (Cuñez Uvidia, 2015).

Donde (ρ_0) es la resistividad del suelo no saturado, (S_r) es el grado de saturación y (b) es un parámetro relacionado con el grado de saturación.

Otra propiedad que influye en el valor de la resistividad eléctrica es la **compactación**, esto debido a que el aire es un medio aislante, la presencia de este influye en la resistividad eléctrica del suelo. La densidad aparente del suelo depende de la cantidad relativa de aire y componentes sólidos en un volumen de suelo dado, es así que si la densidad aparente disminuye se debe al aumento de la cantidad de aire que se llena en los poros, esto hace que se incremente su resistividad eléctrica. En cambio si la densidad aparente del suelo aumenta, el contenido de aire y por consiguiente la resistividad disminuye debido también a que se disminuye la distancia entre partículas, permitiendo esto una mejor conducción de corriente a través del suelo (Cuñez Uvidia, 2015).

2.1.15. Métodos de medición de resistividad

La resistividad eléctrica se mide haciendo pasar una corriente eléctrica en el terreno entre dos electrodos y la medición de la diferencia de potencial V generada por el paso de la corriente entre otros dos electrodos. La resistencia se calcula utilizando la ley de Ohm, esta resistencia se multiplica por un factor geométrico en relación a la configuración de los electrodos para calcular la resistividad eléctrica del subsuelo afectado por el paso de la corriente (Gonzales, 2010).

Cuando se utiliza corriente alterna (CA) en el suelo con frecuencias entre 2 y 100 kHz la conductividad eléctrica resulta independiente de la frecuencia, cumpliéndose la ley de Ohm (Cuñez Uvidia, 2015).

Los métodos Wenner y Schlumberger, son los de mayor uso, los cuales consisten en inyectar una corriente eléctrica al terreno, por medio de electrodos auxiliares dispuestos en el terreno en un arreglo geométrico, y de acuerdo a la medición de tensión obtenida sobre el terreno, se calcula la resistencia aparente del medio, con este valor calculado se puede obtener el valor de la resistividad del suelo. Para realizar estas mediciones, el

equipo debe utilizar señales de prueba inferiores a 9 kHz o incluso menores a 3kHz (Sanz, Duque, & Gomez, 2010)

2.1.15.1. Potencial eléctrico en un espacio homogéneo producido por una corriente

Para evaluar el potencial eléctrico en espacios homogéneos se tiene que asumir las siguientes condiciones (Cobeñas A, 2017):

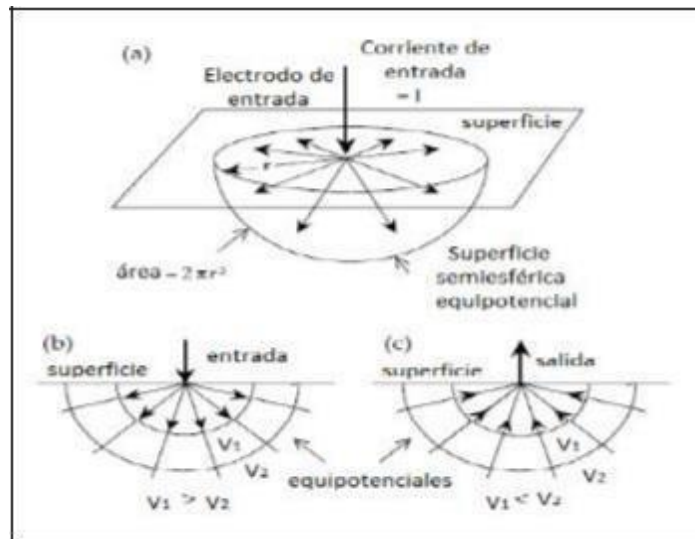
El subsuelo consiste en un número finito de capas de extensión lateral infinita separadas por una frontera plana y horizontal. Todas las capas poseen un espesor finito, salvo la última capa que se considera de un espesor infinito.

Todas las capas son homogéneas e isotrópicas desde el punto de vista de su resistividad. Todas las inyecciones de corriente son puntuales, los únicos puntos de entrada de corriente al subsuelo son los electrodos habilitados para tal fin, cuyas dimensiones son despreciables a la escala de la experiencia.

Según Estrada (2012), se tiene que considerar que la corriente se distribuye en todas las direcciones, si el medio o el suelo son homogéneos e isotrópico, por lo cual se asume que la intensidad de corriente se propaga radialmente. Como resultado a una distancia r tendremos una semiesfera (su otra mitad es el aire), que es el área que atraviesa las líneas de corriente:

Con ayuda de unos electrodos se introduce en el suelo homogéneo y de resistividad (ρ) una corriente (I) como se muestra en la Figura 10, el punto de contacto actúa como una fuente de corriente, a partir del cual, la corriente se dispersa hacia fuera y fluye en forma radial. Las líneas del campo eléctrico (E) se ubican paralelas al flujo de corriente y perpendicular a la superficie equipotencial (líneas de igual voltaje) que se encuentran en forma semiesférica.

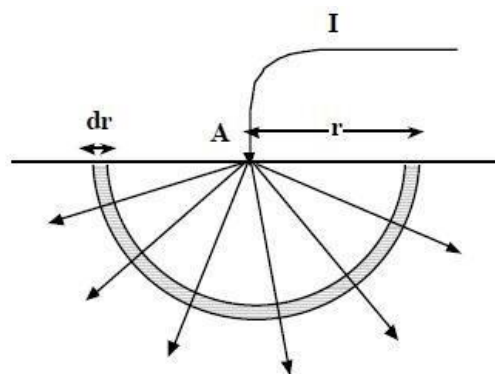
Figura 10. Líneas de campo eléctrico y superficies equipotenciales alrededor de un electrodo en un semiespacio uniforme. a) Superficie equipotencial semiesférica, b) líneas de campo radialmente hacia fuera alrededor de una fuente (entrada), c) líneas



Fuente: Tomado de Cuñez Uvidia (2015).

Mediante la ley de Ohm calculamos la resistencia **R** que se opone al paso de esa corriente (**I**) en un casquete semiesférico de radio **r** y espesor "**dr**" como se muestra en la figura N° 11.

Figura 11. Ley de Ohm aplicado a la superficie del suelo.



Fuente: Tomado de Quispe (2016).

Aplicando la ecuación de la resistividad tenemos lo siguiente:

Sustituyendo los valores de longitud y sección tenemos:

$$\left(\frac{\rho}{2\pi r} \right)$$

Aplicando la Ley de Ohm

Sustituyendo valores

$$\left(\frac{\rho}{2\pi r} \right)$$

Finalmente integrando la expresión desde 0 a r se tiene:

$$\int_0^r \frac{\rho}{2\pi r} dr = \frac{\rho}{2\pi} \ln \left(\frac{r}{r_0} \right)$$

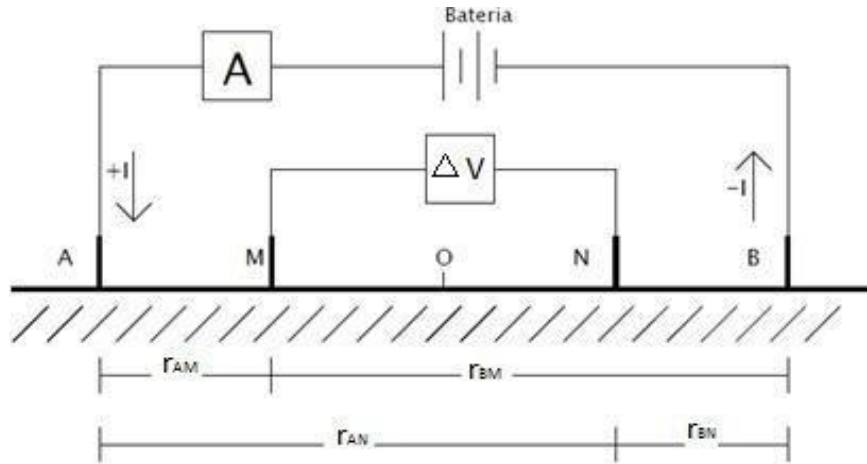
— —

Que es la expresión del potencial eléctrico producto de una fuente puntual colocada en la superficie del terreno.

2.1.15.2. Configuración de electrodos para medición de resistividad

Para trabajar con el método de resistividad se crea un campo eléctrico mediante dos electrodos puntuales A y B, denominados de emisión, a través de los cuales se inyecta en el terreno una corriente eléctrica continua de intensidad I. Entre otros dos puntos del terreno con ayuda de dos electrodos M y N de medida, situados en estos puntos y mediante el correspondiente instrumento de medida, se miden las diferencias de potencial (ΔV) que se han generado (Iakubovskii & Liajov, 1980).

Figura 12. Arreglo de electrodos generalizado.



Fuente: Elaboración propia basado de figura de Arpi & Marca (2011).

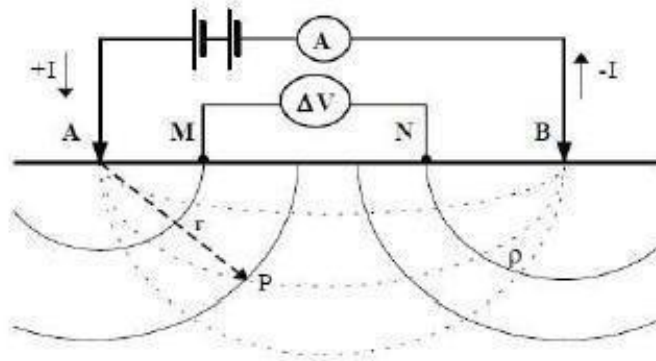
El voltaje alrededor de una fuente es positivo y disminuye como $1/r$ al aumentar la distancia. El signo de la corriente (I) es negativa en un sumidero, donde la corriente fluye fuera del suelo. Por lo tanto, el voltaje alrededor de un sumidero es negativo y aumenta (llegando a ser menos negativo) como $1/r$ al aumentar la distancia desde el sumidero. Podemos utilizar estas observaciones para calcular la diferencia de voltaje entre un segundo par de electrodos M y N, a distancias conocidas de la fuente y sumidero.

Los electrodos A y B crean en el punto M, que dista de ellos de una distancia r_{AM} y r_{BM} , un campo eléctrico con potenciales V_{MA} y V_{MB} , según las expresiones:

$$\begin{aligned} & \text{---} \text{---} \\ & \text{---} \text{---} \end{aligned}$$

Entonces el potencial total en el punto M es: $\text{---} (\text{---} \text{---})$

Figura 13. Principio caída de potencial para hallar la resistividad del suelo



Fuente: Tomado de (Arias, 2011)

Análogamente el potencial en el punto N es: $\frac{\rho}{4\pi r^2}$

Por consecuencia, la variación de potencial entre los puntos M y N generado debido a la inyección de corriente en A y B es:

$$\frac{\rho}{4\pi r^2} - \frac{\rho}{4\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r^2} \right)$$

De aquí se obtiene la expresión de resistividad en un medio homogéneo, en cuya superficie se encuentra un dispositivo tetraelectrónico:

$$\rho = \frac{2\pi a^2 \Delta V}{I}$$

Haciendo:

$$\frac{V}{I} = \frac{\rho K}{a}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior tenemos:

$$\rho = \frac{V a}{I K}$$

La constante K se denomina coeficiente geométrico del dispositivo, porque depende solamente de las distancias entre los electrodos.

Para obtener esta ecuación no hemos necesitado suponer que los electrodos A,B,M,N estén en una disposición especial de modo que colocándolos en cualquier posición para obtener la resistividad del subsuelo, simplemente hay que dividir la lectura del voltímetro por la lectura del amperímetro y multiplicar por K.

La expresión obtenida es para un medio homogéneo y se puede aplicar para la interpretación de los resultados de la medición con un dispositivo tetraelectrónico situado en la superficie de un terreno heterogéneo. Cuando el medio no es homogéneo el resultado de cálculo será una cierta magnitud arbitraria que tiene las dimensiones de una resistividad y a esta magnitud arbitraria se la denomina resistividad aparente y se designa por ρ_a .

Por consiguiente la ecuación de la resistividad aparente para el caso general viene dada por la ecuación siguiente:

$$\rho_a = \frac{V a}{I K}$$

En el caso particular de un medio homogéneo, la resistividad aparente coincide con la resistividad real; sin embargo es habitual que la resistividad sea una mezcla de las resistividades de diferentes materiales, por lo tanto a ese valor se denomina resistividad aparente (Cobeñas, 2017).

El comportamiento de la separación de los electrodos proporcionará una guía para la determinación de las características de resistividad del terreno. Las configuraciones o

métodos de medida de resistividad más confiables y conocidos son variaciones del método de cuatro electrodos, estos son el Método propuesto por Frank Wenner (1915) y por Conrad Schulumberger (1912), que parten del principio de caída de potencial (Yanque, 2006).

2.1.15.3. Criterios de selección del método de medida

A continuación presentamos un cuadro comparativo de los principales métodos de medida mencionados por los estándares IEEE 80-2000, IEEE 81-1983.

Tabla 9. Comparación de diferentes Métodos de medida

Concepto	Método Wenner	Método Schulumberger
Aplicación Principal	Sondeos poco profundos ($a < 25$ m) para el diseño de puestas a tierra de corriente alterna.	Sondeos profundos ($a > 100$ m) para el diseño de puestas a tierra de corriente continua.
Requerimientos básicos	Buen contacto de los electrodos de medida con el suelo	Alta sensibilidad del instrumento
Instrumento de medidas requerido	Robusto precisión normal $< 3\%$	Robusto alta precisión $< 0.5\%$
Sensibilidad a variaciones laterales de la resistividad	Pequeña	Compensada
Procedimiento	Clavado de cuatro electrodos equidistantes (a), se hace circular y mide una corriente (I) entre los electrodos laterales y los centrales miden (V).	Clavado de cuatro electrodos no equidistantes, se hace circular y mide una corriente (I) entre los electrodos laterales móviles (na) y los centrales fijos (a) miden (V)
Ejecución	Laboriosa.	Rápida.

Fuente: Tomado de Yanque (2006).

Después de analizar la tabla N° 9 para obtener las características del suelo en cimentaciones superficiales utilizaremos el método Wenner (facilidad de método, instrumento de costo razonable), pues este método da resultados más confiables para sondeos con profundidades menores a 12 m.

Debido a que a medida que se alejan los electrodos de corriente, también lo hacen los electrodos de potencial; esto hace que los instrumentos de medida que utilicen el método Wenner puedan tener menor sensibilidad que los que se emplean para utilizar el método Schlumberger, esto se traduce en el menor costo del instrumento (Yanque, 2006).

Según Cárdenas & Galvis (2011) con la configuración de Wenner presenta la ventaja de que los instrumentos que se utilicen para esta metodología pueden ser de menor sensibilidad que los empleados con la configuración de Schlumberger, ya que a medida que se separan los electrodos de Corriente, también lo hacen los de potencial.

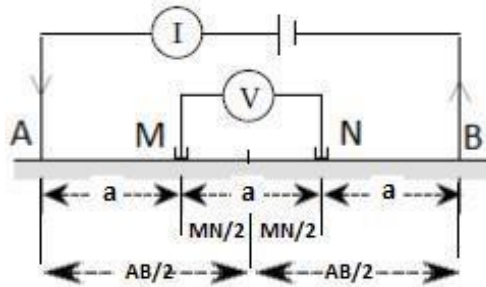
Después de evaluar las ventajas comparativas, se elige el Método Wenner para la medida de resistividades aparentes.

2.1.15.4. Método Wenner

La resistividad del terreno de volúmenes extensos de suelos naturales se mide por el método universal de cuatro puntos desarrollado por el Dr. Frank Wenner en 1915, pues este método resulta más ventajoso en la práctica para profundidades de hasta 12 metros.

Este método consiste en calcular la resistividad aparente del terreno colocando cuatro electrodos tipo varilla A y B (de corriente), M y N (de potencial) en el suelo para inyección de corriente y medición de diferencia de potencial respectivamente. Se disponen en línea recta separados a una misma distancia "a" entre los electrodos de potencial y corriente, enterrados a una profundidad "b" que debe ser igual y menor al 5% del espaciamiento de los electrodos, luego estos cuatro electrodos se conectan a los bornes del instrumento de medida denominado telurómetro (Cárdenas & Galvis, 2011).

Figura 14. Arreglo de electrodos - Método Wenner



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Cuñez Uvidía (2015).

El principio de funcionamiento se da de la siguiente manera: al introducir una intensidad de corriente I en el terreno a través de los electrodos externos (Electrodos de corriente A y B), aparecerá en los electrodos internos (Electrodos de tensión M y N) una diferencia de potencial V que es medido con el instrumento $R = V/I$.

Al tener las distancias iguales entre los electrodos $AM = MN = NB = a$, el factor geométrico para la metodología Wenner se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{a} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{AB}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{MN}{2} \right)^2 \right]$$

Entonces sustituyendo el valor de “ K ” en la ecuación general de resistividad, se obtiene el valor de la resistividad aparente del suelo donde R es la lectura del telurómetro en ohmios ($R = V/I$ por la ley de Ohm).

Esta expresión representa la ecuación final para el cálculo de la resistencia aparente por el Método Wenner.

2.1.15.5. Sondeo eléctrico vertical

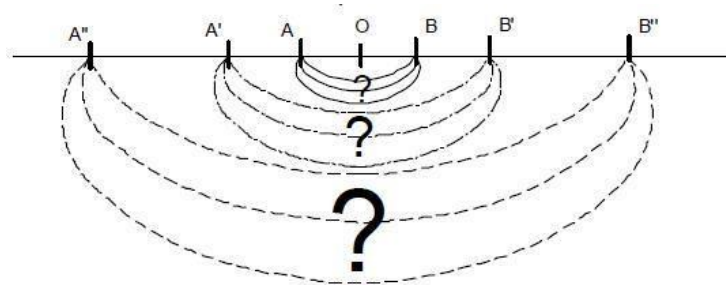
La resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato de suelo; se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo y su magnitud se expresa en ohm-m.

Como el subsuelo se compone de formaciones de diferentes resistividades, la medida que realizamos de resistividad no corresponde a ninguna de ellas, sino que tendrá un valor intermedio (Resistividad aparente).

Podemos deducir la estructura del subsuelo con una serie de medidas sucesivas de Resistividad aparente si mantenemos el punto central "O" y vamos abriendo sucesivamente la distancia AB de los electrodos de inyección de corriente, ocurrirá que esta corriente atravesará capas de suelo cada vez más profundas. Los valores sucesivos de resistividad aparente que vamos obteniendo corresponden a profundidades cada vez mayores por lo que decimos que estamos realizando un sondeo eléctrico Vertical.

Entonces el sondeo eléctrico vertical (SEV) permite determinar el número de capas del subsuelo, mediante la variación de las resistividades con respecto a la profundidad, a partir de la medida de la diferencia de potencial en la superficie. El SEV permite obtener perfiles verticales relacionando la resistividad con profundidad (corte geo eléctrico del suelo).

Figura 15. Sondeo eléctrico vertical: a medida que se aumenta la distancia AB de los electrodos aumenta, la corriente va penetrando en capas más profundas.



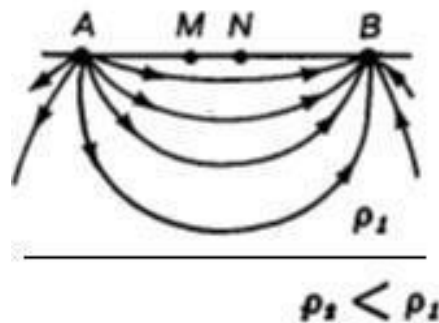
Fuente: Tomado de Cárdenas & Galvis (2011).

Efectos de la Variación Geológica en las mediciones de resistividad

Las medidas de resistividad aparente dependen de la variación geológica, de las variaciones de la densidad de corriente inyectadas al terreno a través de electrodos y de la disposición en el terreno de estos mismos.

Si usamos pequeñas distancias de separación entre electrodos como se muestra en la figura N° 16 entonces se producirá un patrón superficial de flujo de corriente debido a que la resistividad de la capa inferior tendrá menos influencia en la primera.

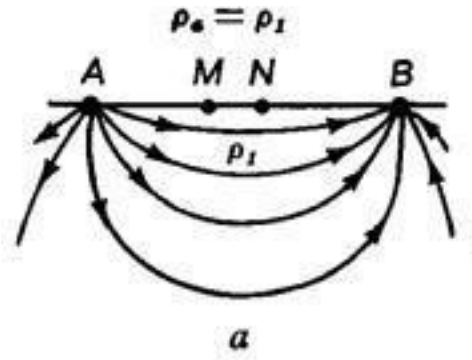
Figura 16. Densidad de corriente atravesando solo la capa de suelo superior de menor resistividad debido al espaciamiento pequeño entre electrodos



Fuente: Tomado de Jakubovskii & Liajov (1980).

Para un suelo homogéneo como se indicó anteriormente, la resistividad aparente coincide con la resistividad verdadera o real.

Figura 17. Resistividad en un medio homogéneo



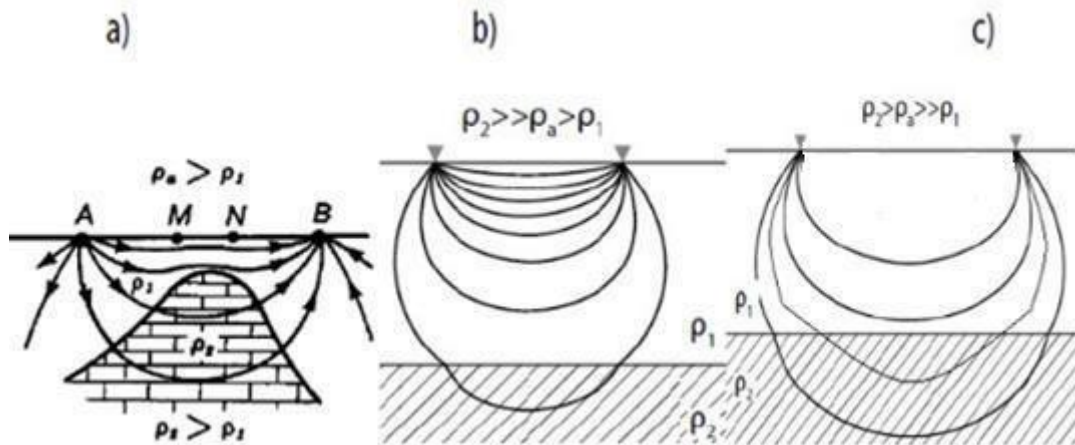
Fuente: Tomado de Jakubovskii & Liajov (1980)

En general la corriente eléctrica evita las capas de suelo de alta resistividad y se dirigen a las capas de suelo de menor resistividad.

Si aumentamos la distancia entre electrodos conseguiremos inyectar corriente a una profundidad mayor y de encontrar suelo de otras características (Otra resistividad), pueden suceder dos casos:

Si encontramos suelo con mayor resistividad en la capa de mayor profundidad, entonces una pequeña parte de la corriente inyectada atravesará la capa de mayor resistividad y la mayor densidad de corriente será atravesará la capa superior; si aumentamos más la distancia entre electrodos, cada vez pasará más corriente por la capa de mayor profundidad y la resistividad aparente será próximo a este valor de resistividad de capa profunda tal como se muestra en la figura N° 18.

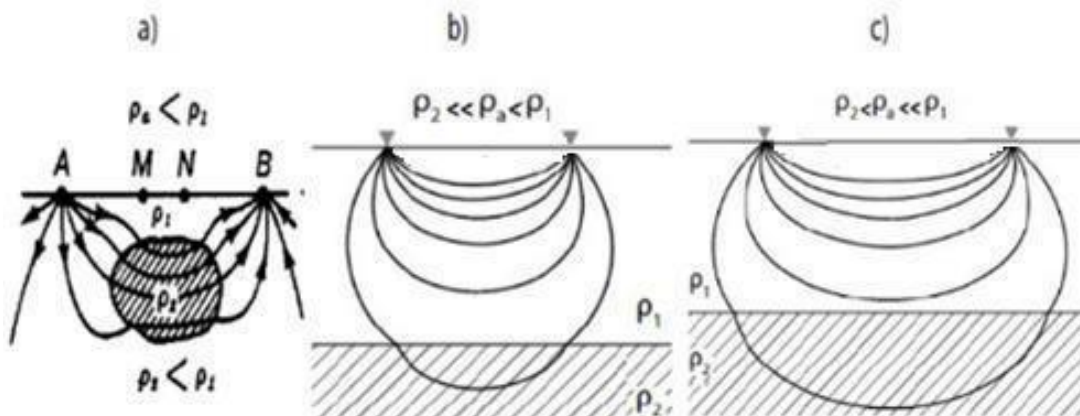
Figura 18. Comportamiento de la corriente eléctrica. a) Densidad de corriente concentrada en la capa de suelo de menor resistividad. b) Pequeña parte de corriente atraviesa capa más resistiva y c) mayor parte de corriente atraviesa capa resistiva.



Fuente: Tomado de Iakubovskii & Liajov (1980) y Pellicer (2015).

Si encontramos terreno con menor resistividad en la capa de mayor profundidad, entonces la corriente eléctrica se dirigirá hacia esta capa originando que la densidad de corriente disminuya en la capa superior de menor profundidad.

Figura 19. Comportamiento de la corriente eléctrica. a) Densidad de corriente es atraída hacia capa de suelo de menor resistividad. b) Pequeña parte de corriente atraviesa capa menos resistiva y c) Mayor parte de corriente atraviesa capa menos resistiva.



Fuente: Tomado de Iakubovskii & Liajov (1980) y Pellicer (2015).

En la relación entre la resistividad aparente y la lectura del corte geoelectrico se basa la aplicación del método de resistividad para la investigación de suelos.

2.1.15.6. Profundidad de investigación

La profundidad de investigación depende de la separación de electrodos inyectores de corriente AB y de las propiedades eléctricas del suelo. Según Consenza (2006), Dada una separacion de electrodos de corriente igual a "L", la profundidad de investigación para trabajos de campo para los métodos de distribución de electrodos más comunes Wenner y Schlumberger son los que se muestran en la Tabla N° 10.

Tabla 10. Profundidad de Investigación

Dispositivo		Z/a	z/L
Wenner	a = L/3	0,519	0,173
	a = L/5	0,925	0,186
Schlumberger	a = L/7	1,318	0,189
	a = L/9	1,706	0,190
	a = L/11	2,093	0,191
	a = L/13	2,478	0,191
	a = L/15	2,863	0,191
	a = L/17	3,247	0,191
	a = L/19	3,632	0,191
	a = L/21	4,015	0,191

Fuente: Tomado de Consenza (2006).

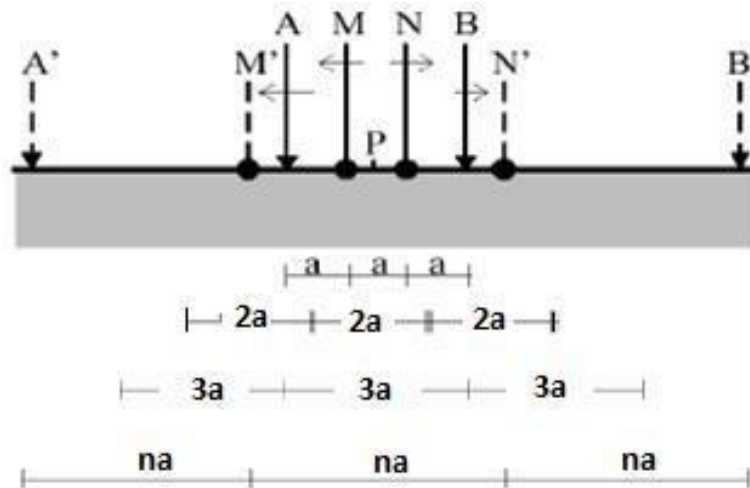
2.1.15.7. Curvas de resistividad aparente

Para obtener la curva de resistividad aparente se debe realizar un sondeo eléctrico vertical SEV disponiendo los electrodos según el Método Wenner separados una distancia "a" entre electrodos, generando un flujo de corriente eléctrica entre los electrodos A y B y registrar los datos obtenidos.

Luego se desplazan los electrodos A, B M y N a otra posición incrementando distancias y se realiza la nueva medición. Desplazando nuevamente los electrodos A, B M y N aumentando la distancia con respecto al punto central, se realiza otra medición.

Se procede a aumentar de manera progresiva del valor de “a” manteniendo el punto central fijo, la presentación de los datos se muestra en ordenadas el valor de la resistividad aparente medida **pa** en $\Omega \cdot m$ y en el eje de las abscisas el valor de “a” en metros para cada paso. Las escalas sobre ambos ejes deben ser logarítmicas.

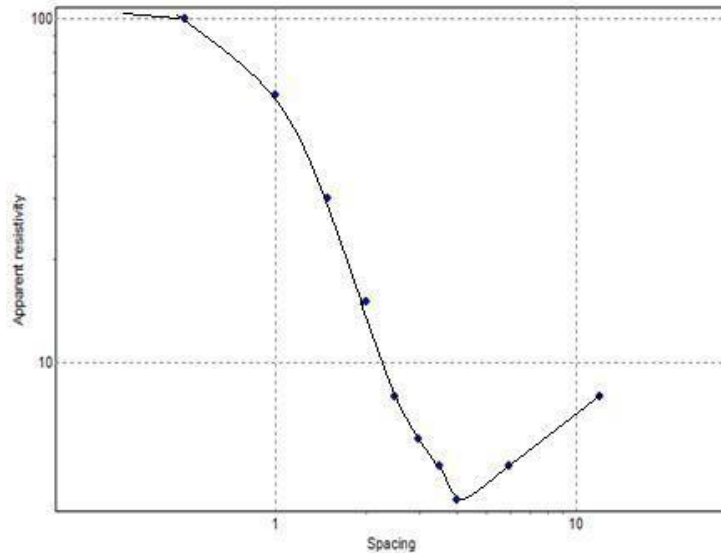
Figura 20. Sondeo eléctrico vertical – Método Wenner.



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Nieto Oropesa (2007)

El resultado es una gráfica de puntos experimentales llamada curva de resistividad aparente del terreno, donde la profundidad de investigación depende de la distancia de separación entre los electrodos de inyección de corriente A y B, de modo que las líneas de corriente penetran a mayor profundidad en el subsuelo cuando mayor es la distancia entre los electrodos A y B.

Figura 21. Curva de resistividad aparente.



Fuente: Tomado de IP2WIN.

La interpretación de la forma de esta curva permite verificar los espesores y resistividades de formaciones geológicas del terreno donde se ejecutó el sondeo eléctrico vertical (SEV).

Es importante tener claro que el subsuelo debe estar formado por varias capas horizontales y homogéneas, para que la curva de resistividad aparente obtenida se pueda interpretar. En muchos casos la realidad se acerca lo suficiente a esta descripción teórica, como para que los resultados sean aprovechables (Cárdenas & Galvis, 2011).

2.1.15.8. Cortes Geoeléctricos

Un SEV puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, pero para que la curva de resistividad aparente obtenida sea interpretable, el subsuelo debe estar formado por capas horizontales, homogéneas e isótropas. En muchos casos la realidad se acerca lo suficiente a esta descripción teórica como para que los resultados sean aprovechables (Cárdenas & Galvis, 2011).

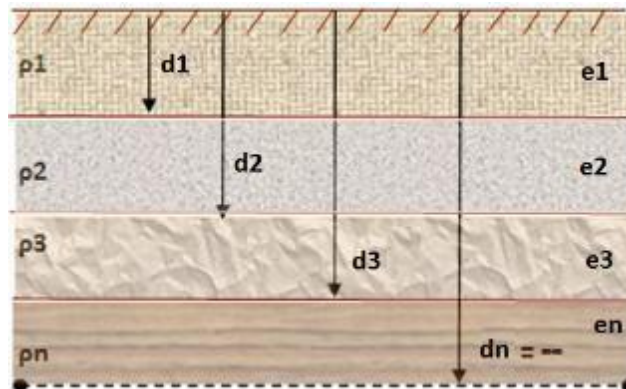
Figura 22. Capas de un corte geoelectrico



Fuente: Elaboración propia

Para caracterizar cada medio estratificado bastara conocer el espesor y la resistividad de cada medio parcial isótropo, enumerando estos de arriba hacia abajo. Cada una de estos medios parciales se denomina capa geoelectrica, un corte de n capas se compone de n valores de resistividad y n-1 espesores (no se conoce el espesor de la última capa).

Figura 23. Corte geoelectrico o modelo de suelo estratificado



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Nieto Oropesa (2007)

Los cortes geoelectrónicos o modelo de suelos, se clasifican según el número de capas que los componen:

- Corte de dos capas.
- Corte de tres capas.
- Corte de cuatro o más capas.

Corte de dos Capas:

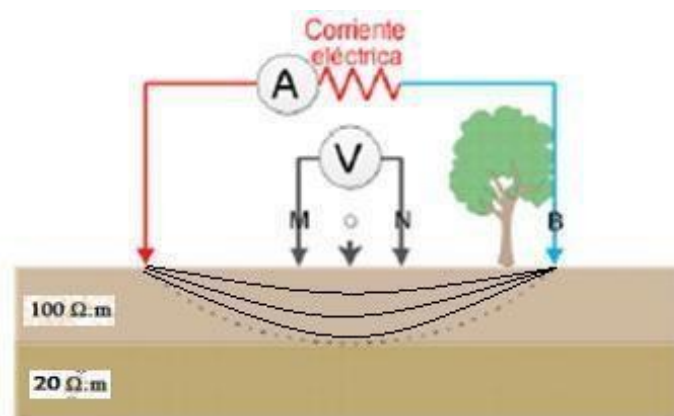
Un modelo de suelo de dos capas puede representarse por una capa superior de profundidad finita y otra capa inferior de profundidad infinita. En muchos casos para cimentaciones superficiales la representación de un corte de suelo de dos capas es suficiente.

En este modelo solamente pueden presentarse dos posibilidades y estas no reciben nomenclatura específica:

Cuando $\rho_1 > \rho_2$:

Si suponemos que $\rho_1=100\Omega.m$ y $\rho_2=20 \Omega.m$ y se comienza la realización de un SEV, la separación inicial de los electrodos AB es pequeña, por tanto el flujo de la corriente pasa solamente por la primera capa, entonces obtendremos una ρ_a igual a ρ_1 de la primera capa iguala $100 \Omega.m$.

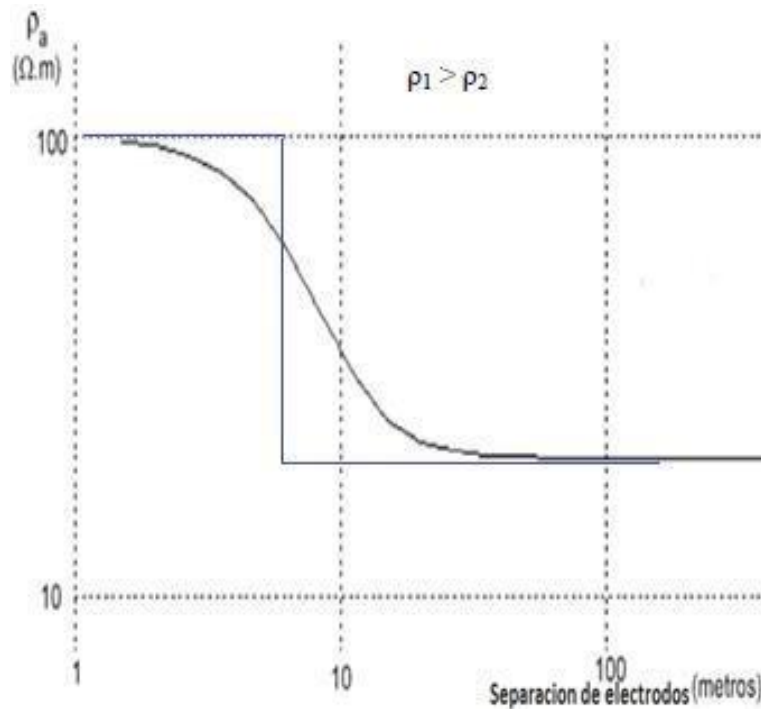
Figura 24. Flujo de corriente en primera capa de terreno al inicio de un SEV



Fuente: Tomado y modificado de Quispe (2016).

Al realizar la segunda medida parte del flujo eléctrico pasaría por la segunda capa por lo que el valor de ρ_a obtenido estaría entre $100 \Omega.m$ y $20 \Omega.m$ (por ejemplo $96 \Omega.m$). A medida que se aumenta la distancia AB, la corriente iría circulando a mayor profundidad, por lo que cada vez sería mayor la fracción de flujo eléctrico que circularía por la capa de $20 \Omega.m$; consecuentemente los valores de resistividad aparente ρ_a siempre estarían entre $100 \Omega.m$ y $20 \Omega.m$, pero se irían acercando asintóticamente a $20 \Omega.m$ a medida que fuéramos abriendo AB obteniendo en campo una curva de resistividad aparente como se muestra en la figura N° 25.

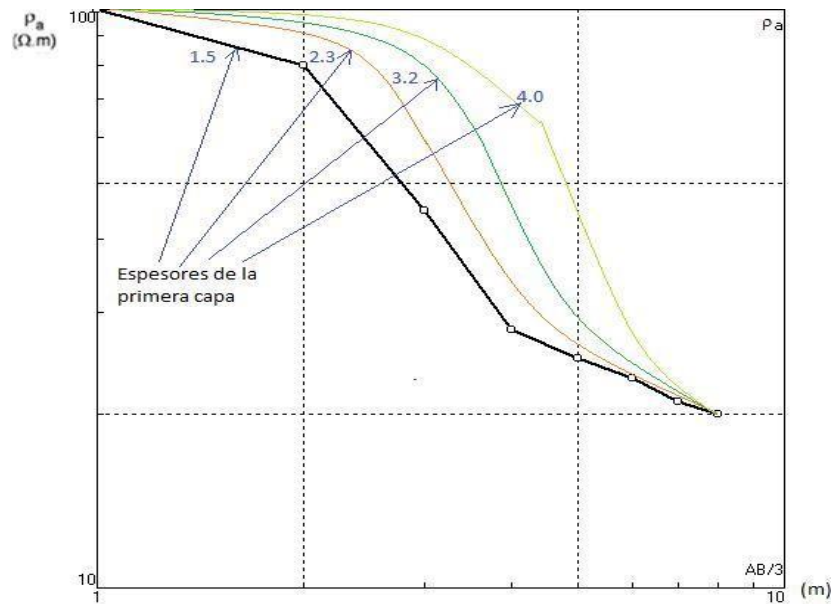
Figura 25. Corte geoelectrico de dos capas $\rho_1 > \rho_2$



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Consenza (2006)

Cuando el espesor de la primera capa es mayor, entonces la curva de resistividad aparente comenzara a bajar más lentamente.

Figura 26. Variación de la curva con espesor de primera capa de suelo

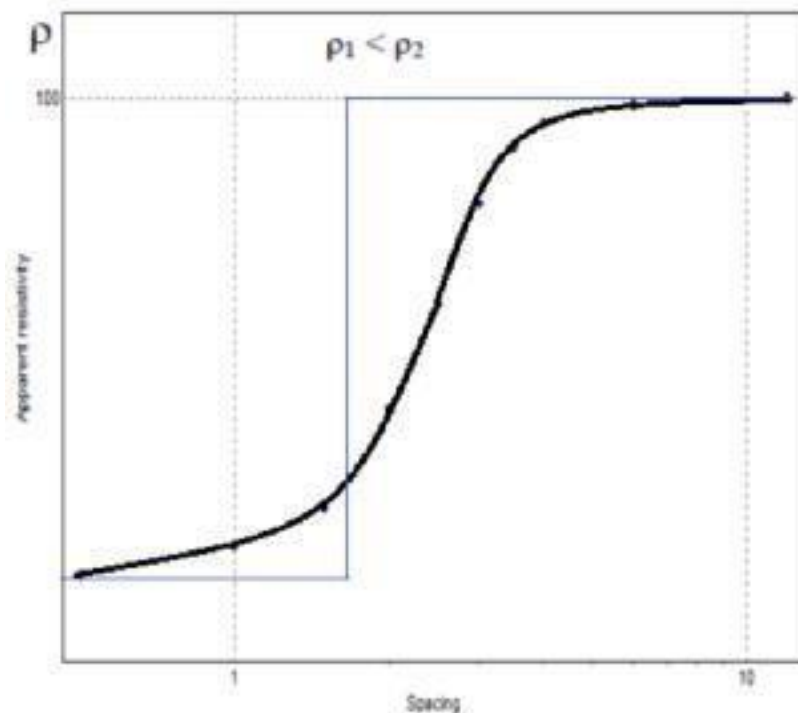


Fuente: Elaboración propia con software IP2WIN.

$\rho_1 < \rho_2$:

Si se empieza con el SEV, inicialmente al ser las distancia entre electrodos pequeña se asume que la corriente inyectada solo pasa por la primera capa, en el siguiente paso al separar los electrodos, una parte de la corriente eléctrica pasara por la segunda capa, entonces si $\rho_1 < \rho_2$, el valor de la resistividad será una valor ligeramente mayor a ρ_1 pero menor que ρ_2 . A medida que se aumenta la distancia de separación entre electrodos la corriente iría circulando a mayor profundidad, por lo que cada vez sería mayor la fracción de flujo eléctrico que circularía por la capa de ρ_2 ; consecuentemente los valores de resistividad aparente ρ_a siempre estarían entre ρ_1 y ρ_2 , pero se irían acercando asintóticamente a ρ_2 .

Figura 27. Corte geoelectrico de dos capas $\rho_1 < \rho_2$

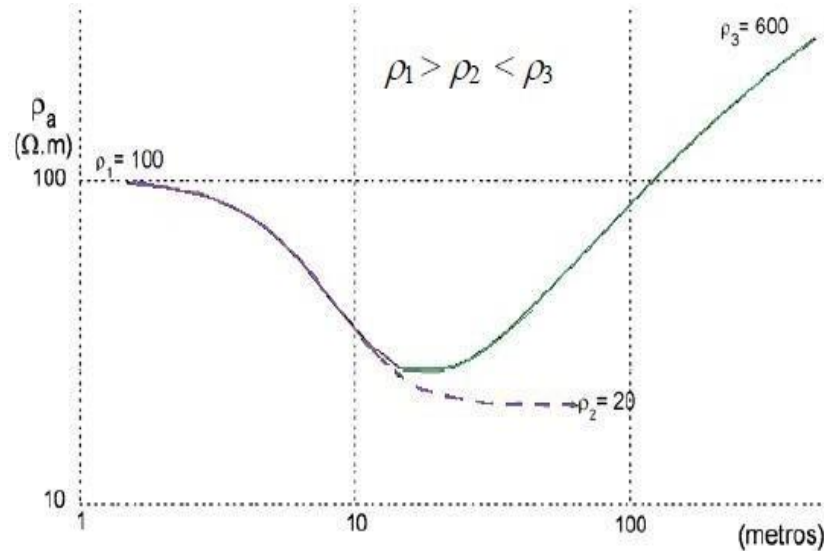


Fuente: Elaboración propia basado en software IP2WIN.

Corte de tres Capas:

Se caracterizan porque poseen un máximo o un mínimo valor de resistividad o tres puntos de inflexión (no siempre apreciables). Si debajo de dos capas de resistividades $\rho_1 > \rho_2$, existe una tercera capa de mayor resistividad ($\rho_3 > \rho_2$) entonces la curva que viene bajando de ρ_1 a ρ_2 en algún momento comenzara a subir hasta ρ_3 . Esto es debido a que cuando el flujo eléctrico circulara a suficiente profundidad, una parte comenzara a atravesar la formación más profunda ρ_3 , por lo que el valor de resistividad que calculamos en la superficie debe aumentar.

Figura 28. Corte geoelectrico de tres capas

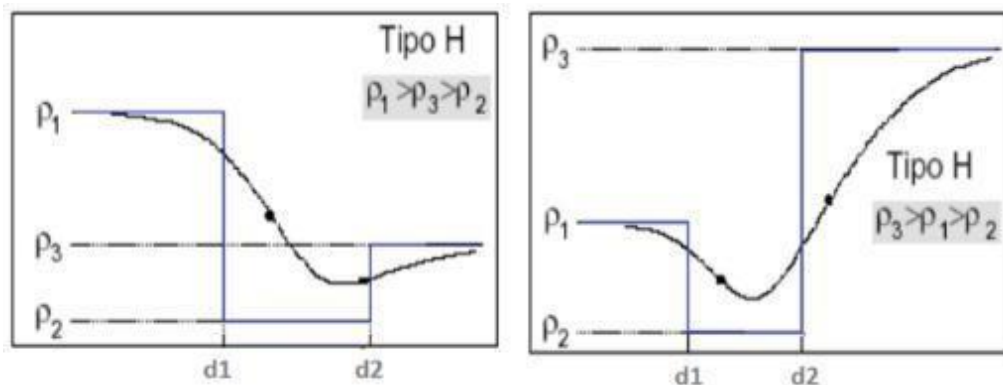


Fuente: Elaboración propia basado en figura de Consenza (2006)

Los cortes de suelo de tres capas se clasifican en los siguientes tipos:

Tipo H: cuando la segunda capa es menos resistiva que las otras dos $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$; dentro de esta clasificación encontramos los siguientes subtipos $\rho_1 > \rho_3 > \rho_2$ y $\rho_3 > \rho_1 > \rho_2$.

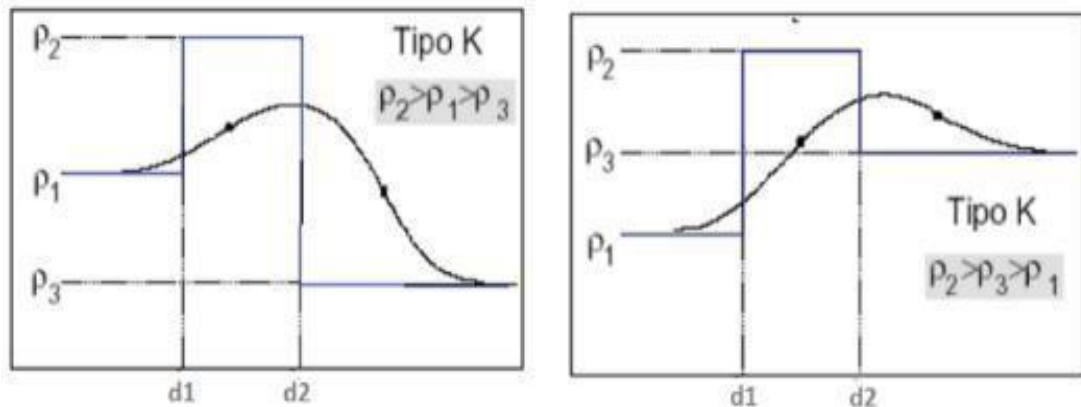
Figura 29. Corte geoelectrico de tres capas Tipo H



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Consenza (2006)

Tipo K: cuando la segunda capa es menos resistiva que las otras dos $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$; dentro de esta clasificación encontramos los siguientes subtipos $\rho_2 > \rho_1 > \rho_3$ y $\rho_2 > \rho_3 > \rho_1$.

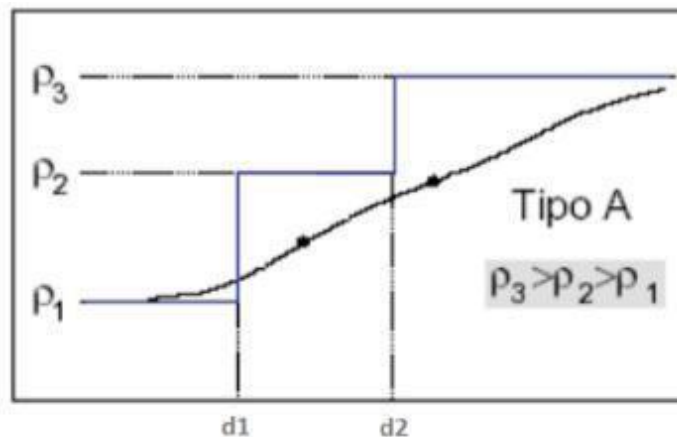
Figura 30. Corte geoelectrico de tres capas Tipo K



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Consenza (2006)

Tipo A: cuando la segunda capa es menos resistiva que las otras dos $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$.

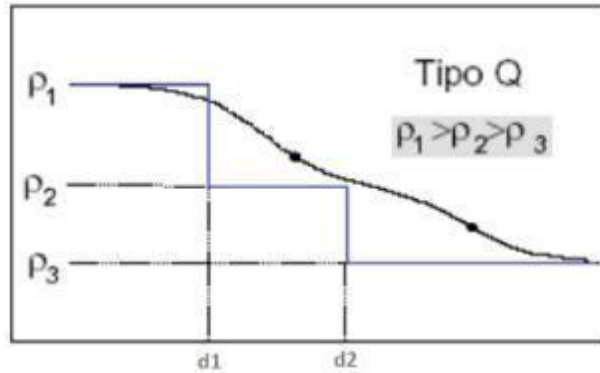
Figura 31. Corte geoelectrico de tres capas Tipo A



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Consenza (2006)

Tipo Q: cuando la segunda capa es menos resistiva que las otras dos $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.

Figura 32. Corte geoelectrico de tres capas Tipo Q

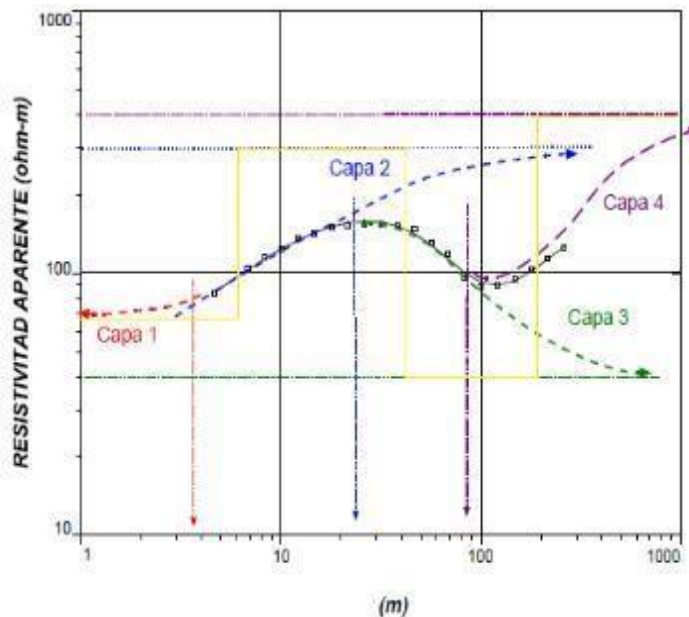


Fuente: Elaboración propia basado en figura de Consenza (2006)

Corte de cuatro o más Capas:

Los cortes de cuatro o más capas se descomponen en intervalos de 3 en 3 dando la nomenclatura (de tres capas) a cada tramo.

Figura 33. Corte geoelectrico de cuatro capas



Fuente: Elaboración propia

2.1.15.9. Software para análisis de datos

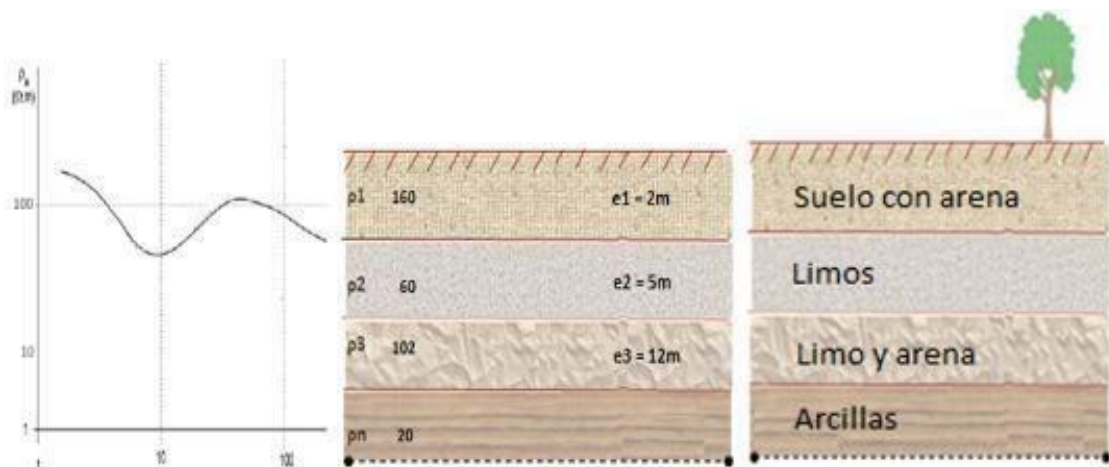
Los datos recolectados de la medición directa en campo de las resistividades aparentes se procesan a través del software libre IP2WIN desarrollado por la facultad de geología de la Universidad de Moscú en Rusia.

Este software desarrollo un método que permite interpretar datos de sondeos eléctricos verticales por medio de la inversión automática iterativa, dicho en otras palabra entrega una solución que mayor se ajusta a los datos y la que produzca un menor error de ajuste; este software en comparación con otros es el que da mejores resultados (Pizarro, 2014).

2.1.15.10. Interpretación de las curvas de resistividad aparente

Después de conseguir el corte geoelectrico o modelo de suelo formado por espesores y resistividades mediante gráficos patrón o programas de ordenador especializados, se procede a convertir este corte geoelectrico en corte geológico mediante valores de resistividad eléctrica de formaciones y mediante mapas geológicos de la zona.

Figura 34. Proceso de interpretación de resultados: a) curva de resistividad aparente. b) Corte geoelectrico c) corte geológico.



Fuente: Elaboración propia basado en figura de Nieto Oropesa (2007).

2.2. Definición de términos básicos

2.2.1. Carga eléctrica

Es una propiedad eléctrica de las partículas atómicas de las que se compone la materia, se mide en Coulombs **C** (Alexander & Sadiku, 2013, p.5).

2.2.2. Corriente eléctrica

Es la velocidad de cambio de la carga respecto al tiempo, medida en Amperes **A** (Alexander & Sadiku, 2013, p.5).

2.2.3. Isotropía

Es la propiedad de los cuerpos de que alguna magnitud física sea la misma en todas las direcciones, la resistividad de las rocas depende de la dirección que se considere es decir presentan un comportamiento anisótropo (Iakubovskii & Liajov, 1980).

2.2.4. Electrodo

Elemento conductor eléctrico en forma de varilla que generalmente es de acero bañado en cobre que se utiliza para la inyección de corriente al suelo y medición de diferencia de potencial (Iakubovskii & Liajov, 1980).

2.2.5. Dieléctrico

Se denomina dieléctrico a un material que tiene una alta resistividad eléctrica o que tiene una muy baja conductividad eléctrica pues este no posee ninguna carga eléctrica libre como los que se encuentran en los conductores (Alexander & Sadiku, 2013).

CAPÍTULO 3. DESARROLLO

El área de estudio se encuentra dentro de la Institución Educativa Libertador San Martín del y está situado a 25 km al este de la ciudad de Huaraz en el distrito de Recuay, provincia de Recuay y departamento de Ancash.

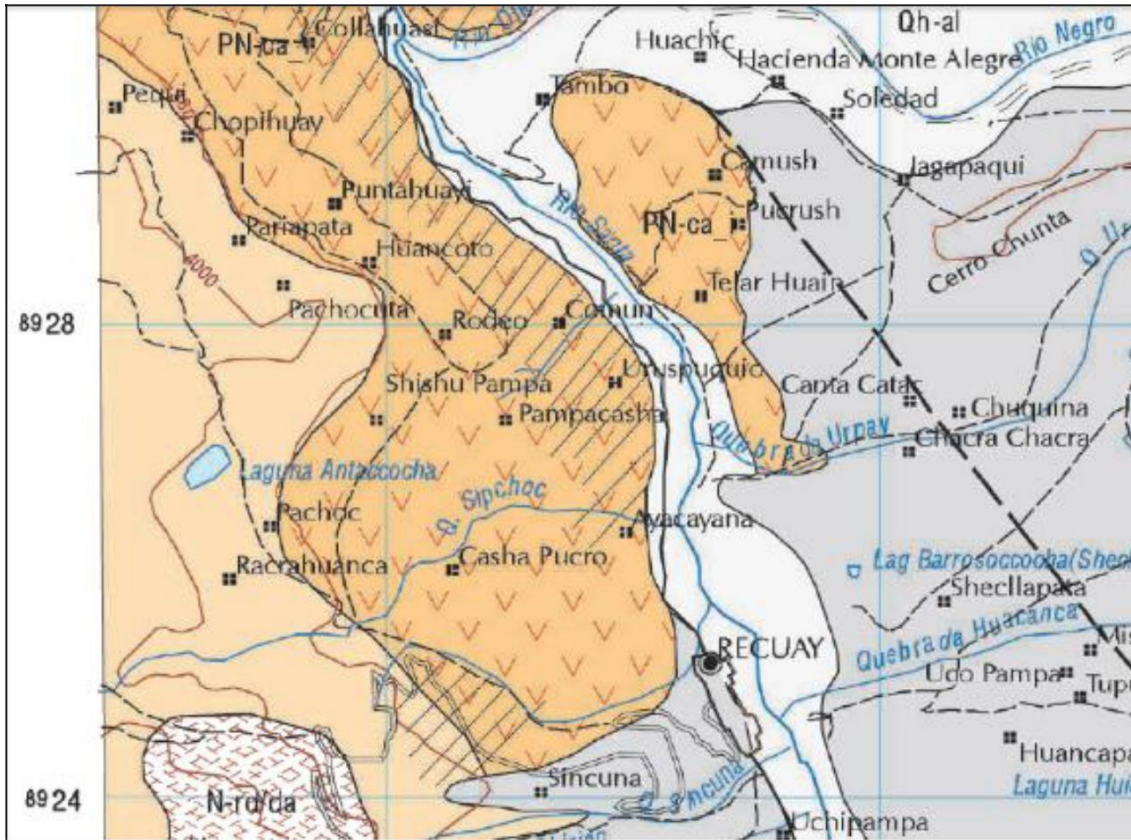
Figura 35. Localización del área de estudio.



Fuente: Instituto geológico minero y metalúrgico INGEMMET –Ministerio de energía y Minas

Geomorfológicamente la ciudad de Recuay se encuentra ubicada en la cuenca superior del Río Santa, el relieve muestra una pendiente irregular variando entre los 10° a 40° de inclinación; según el mapa del Instituto geológico minero y metalúrgico el material de cobertura de la zona de estudio está conformado por depósitos aluviales y con basamento rocoso constituido por rocas volcánicas.

Figura 36. Mapa geológico de Recuay



LEYENDA				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS IGNEAS
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO		Depósito Aluvial Qh-al	Intrusivos Neógenos N-rd Riodacitas N-rd/da Riodacitas/dacitas N-Mzg Monzogranito N-gd Granodiorita
			Depósito Glaciofluvial Qh-gf	
		Depósitos Morrénicos Q-mo Q-mo1 Q-mo2		
	NEOGENO		GRUPO CALPUY superior PN-ca_s medio PN-ca_m inferior PN-ca_i	
	PALEOGENO			

Fuente: Instituto geológico minero y metalúrgico (INGEMMET)

3.1. Desarrollo el Objetivo 1

Obtener un corte geoelectrico y geológico del suelo a partir de los valores de resistividad mediante la aplicación del Método Wenner de la Institución Educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018.

Para la adquisición de datos se utilizó el instrumento denominado Telurómetro o Telurímetro marca Megabras, por cada punto de exploración mediante el empleo del método Wenner de resistividad eléctrica se obtuvo valores de resistividad aparente para cada profundidad explorada, seguidamente se obtuvo curvas de resistividad y a través de estos valores conseguimos un corte geoelectrico del suelo.

Ubicación: El lugar donde se realizó las mediciones de resistividad del terreno se encuentran en la institución educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay. Se realizaron 9 registros geoelectricos en total. En la figura N° 37 se muestra un plano de la zona de estudio dentro de la cual fueron adquiridos los datos mediante el método Wenner.

Figura 37. Plano de ubicación de sondajes y Calicatas.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Cuadro de coordenadas de los SEV

CUADRO DE COORDENADAS DE SEV UTM, SISTEMA WGS-84 ZONA 18L			
NÚMERO DE SEV	ESTE	NORTE	COTA (msnm)
1	230 946	8 923 051	3433
2	230 921	8 923 083	3433
3	230 877	8 923 071	3436
4	230 898	8 923 010	3436
5	230 914	8 923 042	3434
6	--	--	--
7	230 971	8 923 092	3430
8	231 025	8 923 082	3427
9	230 906	8 923 099	3435
10	230 933	8 923 013	3435

Fuente: Elaboración propia.

Equipo y materiales:

Se utilizó el Método Wenner de resistividad eléctrica.

Materiales e instrumento utilizados en la fase de campo:

Unidad Principal: Telurímetro digital MTD-20KWe, opera con una potencia de 0.5 W y con una corriente inferior a 15 mA.

04 electrodos (A, B, M, N) tipo copperweld.

01 Carrete con cable de 40 m (rojo).

01 Carrete con cable de 20 m (azul).

01 Carrete con cable de 20 m (verde).

01 Carrete con cable de 5 m (negro).

01 Batería interna de 12 V.

01 Comba.

01 Cinta métrica de 50 m.

01 GPS

Figura 38. Instrumento de medición Marca Megabras MTD-20KWe



Fuente: Elaboración propia

Materiales utilizados en la fase de gabinete:

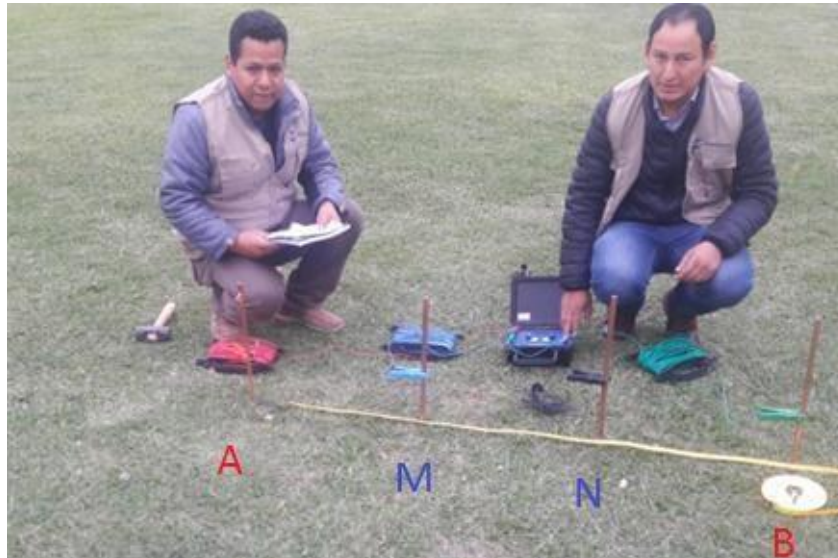
- Software IPI2WIN para análisis e interpretación cuantitativa de datos geoelectricos.
- Software Microsoft Excel para la base de datos.

Metodología:

Fase de campo.

1. Se eligió el lugar de sondeo de acuerdo a las características topográficas del lugar ya que se debe de considerar espacio para la abertura de carretes.
2. Se ubicó un punto central del SEV.
4. Se comenzó a colocar los electrodos en posición, extendiendo los cables previamente demarcados con las distancias adecuadas.
5. Se verifica que los electrodos estén clavados bien rígidos sobre el suelo aproximadamente 20 cm.
6. Se induce la corriente eléctrica y se toman los primeros valores de resistencia del terreno, los cuales son anotados en una planilla.
7. De esta manera se procede a mover los electrodos a la nueva posición y se vuelve a repetir el procedimiento hasta alcanzar la distancia elegida.

Figura 39. Obtención de datos en fase de campo por el Método Wenner..



Fuente: Elaboración propia

Para cada espaciamiento se midió un valor de resistencia y la resistividad aparente se calculó a través de la relación . Los valores de resistividad aparente obtenidos y los espaciamientos son guardados para posterior proceso y análisis en gabinete (obtención de corte geoelectrico).

Fase de Gabinete.

Los datos correspondientes a cada SEV fueron analizados y procesados con el software IPI2WIN, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Con los datos de espaciamientos y resistencia del terreno se procede a calcular la resistividad aparente con ayuda de Excel.

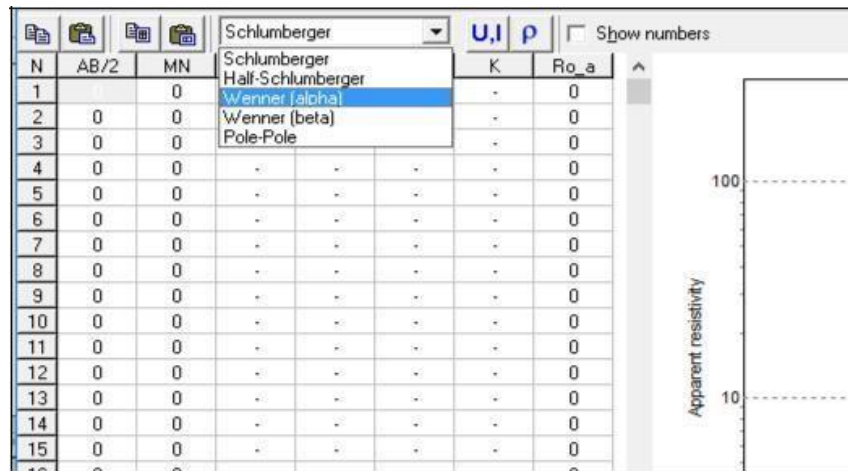
Tabla 12. Calculo de Resistividad aparente para cada separación de electrodo.

Resistencia R (Ω)	Distancia separación a(m)	Profundidad b(m)	Resistividad ρ(Ω-m)
69,10	1,00	0,2	434,17
41,00	2,00	0,2	515,22
17,40	3,00	0,2	327,98
12,40	4,00	0,2	311,65
7,68	5,00	0,2	241,27
4,80	6,00	0,2	180,96
2,90	7,00	0,2	127,55
2,64	8,00	0,2	132,70

Fuente: Elaboración propia

- En el software se selecciona el Método a emplear para el procesamiento de datos; para nuestro caso utilizamos el método Wenner.

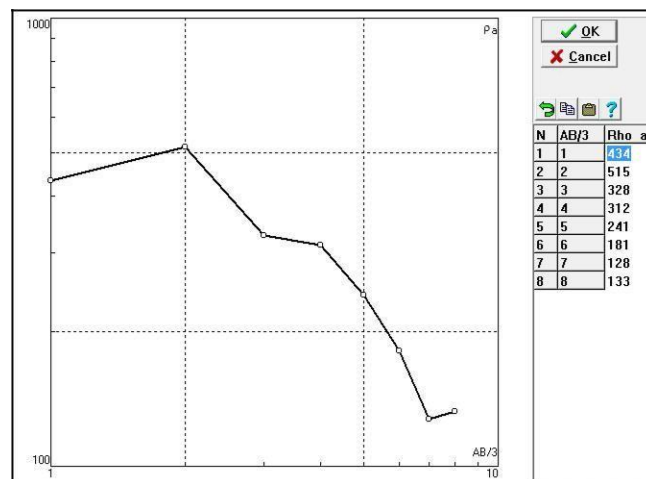
Figura 40. Elección del Método en el software IPI2WIN.



Fuente: Elaboración propia.

- Se ingresa los datos de espaciamiento entre electrodo de corriente y potencial “AB/3”.
- Se ingresa los datos de resistividad aparente calculada en el paso 1.

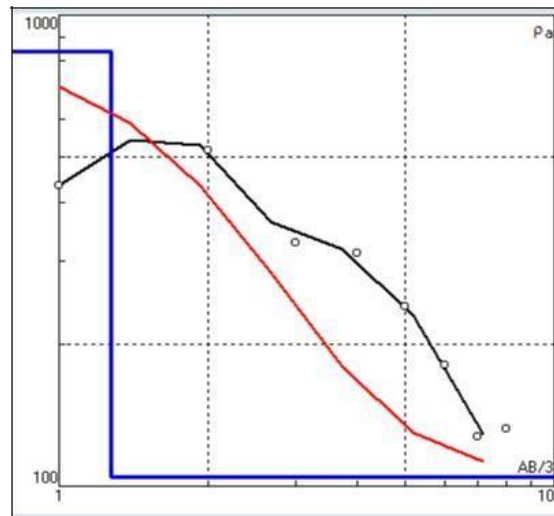
Figura 41. Ingreso de datos al Software IPI2WIN.



Fuente: Elaboración propia con el software IPI2WIN

- Se guarda el archivo con los nombres asignados en campo para cada SEV, Ejemplo SEV1, SEV2, etc. para el análisis respectivo.

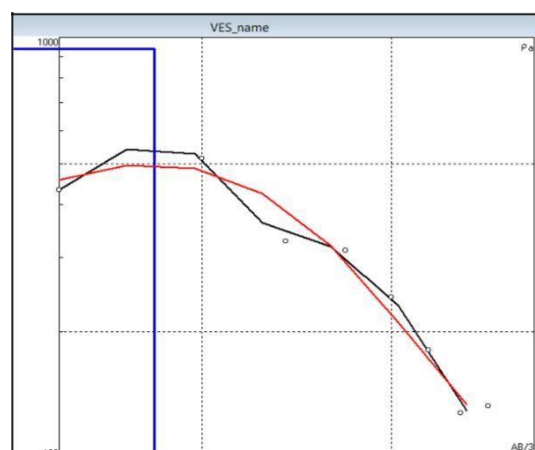
Figura 42. Curva de resistividad aparente y teórica.



Fuente: Elaboración propia.

- Se ajusta la curva teórica (color rojo) para que se asemeje a la curva de campo (color negro), al hacer este ajuste obtendremos el número de capas de subsuelo (línea de color azul) teniendo presente siempre que se debe disminuir el error porcentual así como la profundidad de exploración según el método Wenner.

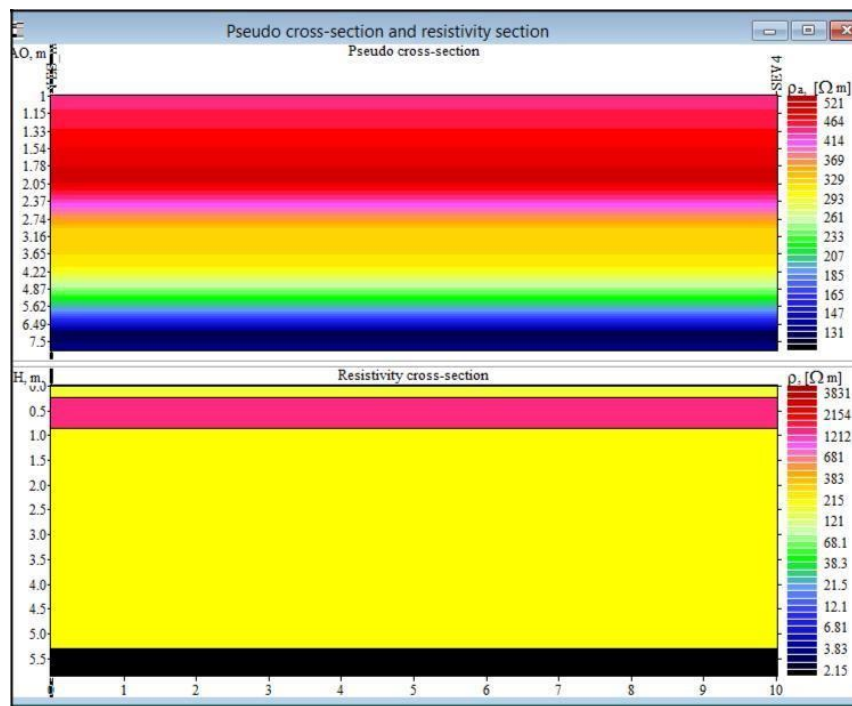
Figura 43. Ajuste de curvas de resistividad.



Fuente: Elaboración propia

- Con los valores obtenidos del software IPI2WIN creamos un gráfico de profundidad y resistividad para cada sondeo eléctrico obteniéndose de esta manera el corte geoelectrico y mediante valores de resistividad de Tabla N°7 e información geológica de la zona de Recuay se obtiene el corte geológico.

Figura 44. Corte geoelectrico.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Desarrollo el Objetivo 2

Obtener una correlación entre resultados del Estudio de Mecánica de suelos y los resultados obtenidos del empleo del Método Wenner de resistividad eléctrica aplicado en la Institución Educativa Libertador San Martín del distrito de Recuay - Provincia de Recuay - Departamento de Ancash en el 2018.

Se realizaron calicatas en la misma ubicación donde se realizó los sondeos eléctricos, las calicatas construidas tuvieron dimensiones de 1.5 m x 1.5 m por diferentes profundidades que a continuación resumimos.

Tabla 13. Tabla profundidad y ubicación de calicatas

CALICATA	Profundidad	Coordenadas WGS 84 Zona 18L		
	(m)	ESTE	NORTE	COTA (msnm)
C-1	3,5	230 946	8 923 051	3433
C-2	3,0	230 921	8 923 083	3433
C-3	3,5	230 877	8 923 071	3436
C-4	5,0	230 898	8 923 010	3436
C-5	3,0	230 914	8 923 042	3434
C-6	3,5	230 959	8 923 040	3432
C-7	5,0	230 971	8 923 092	3430
C-8	3,5	231 025	8 923 082	3427
C-9	5,0	230 906	8 923 099	3435
C-10	3,5	230 933	8 923 013	3435

Fuente: Elaboración propia

Se recogieron muestras de suelo de cada estrato representativo, las que fueron trasladadas al laboratorio de suelos “Cantera-Geotecnia, construcción y minería”, para que se efectúen ensayos de sus características físicas y mecánicas, el análisis permitió clasificar a los suelos de la institución educativa “Libertador San Martín” según la clasificación SUCS y límites de plasticidad. Mediante el análisis del corte geoelectrico obtenido se propone la profundidad de desplante o cimentación “df” teniendo presente que este ser mayor a 80 cm según lo indica la Norma E.050 y que tanto este estrato como el estrato ubicado debajo de este deben ser estratos resistentes o competentes para soportar las cargas de la estructura.

Mediante cotejo directo de perfiles de suelo y cortes geoelectrónicos se obtuvo la correlación de espesores de estratos y clasificación de suelos.

3.3. Desarrollo el Objetivo 3

Comparar tiempo y costo de ejecución del método Wenner de resistividad eléctrica y el método convencional para caracterización de suelos.

Para el análisis de costo y tiempo de los estudios geotécnicos del suelo se obtuvo cotizaciones de empresas especialistas en el rubro.

Por otra parte para calcular el costo necesario para obtener el estudio geoelectrónico del suelo hemos realizado un análisis de costos unitarios para lo cual según experimentación propia obtuvimos el rendimiento, cantidad de mano de obra, materiales utilizados en el sondeo eléctrico y elaboración de estudio respectivo.

Rendimiento: El rendimiento del sondeo eléctrico vertical (hasta una separación entre electrodos de potencial y corriente de 12 m) es de 4 Sondeos al día.

Tabla 14. Rendimiento promedio para estudio Geoelectrónico

Rendimiento para Estudio geoelectrónico (SEV + informe)
4 SEV/día

Fuente: Experimentación propia

Mano de Obra: Para el cálculo de mano de obra en un estudio geoelectrónico necesitamos conocer la cuadrilla que realizará el trabajo para lo cual según experimentación propia tenemos que utilizar 0.5 Ingeniero especialista, 1 Asistente de ingeniería, 1 peón. Con la siguiente fórmula se calcula la cantidad de mano de obra requerida:

Necesitamos tener también el Salario de cada personal que interviene para realizar el estudio geoelectrico.

Tabla 15. Costo promedio de Mano de Obra

COSTE TOTAL DE LA HORA HOMBRE DE MANO DE OBRA	
TRABAJADOR	SALARIO
INGENIERO ESPECIALISTA	S/. 30,00
OPERARIO	S/. 20,96
PEÓN	S/. 15,29

Fuente: Revista Costos 2017.

Ahora se tiene la siguiente fórmula para obtener el precio parcial:

$$\Sigma$$

Materiales y equipos: Se tiene la formula siguiente para el cálculo del costo parcial de materiales, para el caso de herramientas se toma el 3% del subtotal de la Mano de obra.

$$\Sigma$$

Finalmente para calcular el costo por cada Estudio geoelectrico, se realiza la sumatoria de los costos parciales y/o subtotales de mano de obra, materiales y equipos.

$$\Sigma$$

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. RESULTADOS

A continuación se describirán los resultados obtenidos para los suelos de la Institución educativa Libertador San Martín - Recuay, como se ha mencionado anteriormente se ha realizado 9 mediciones de resistividad siguiendo la metodología Wenner. De acuerdo a los valores de resistividades de minerales y rocas descritos en la tabla N° 7 y Figura 8, podemos asociar desde el punto de vista resistivo, para obtener un corte geoelectro-geológico.

Resultado Objetivo específico 1:

Los datos obtenidos, fueron procesados y analizados con el programa IPI2WIN, para el **SEV1** nos dio un modelo que indica la presencia de tres estratos con su respectiva resistividad, en la figura 45 se muestra todas las lecturas de resistividad obtenidas en el campo, y la curva de resistividad aparente.

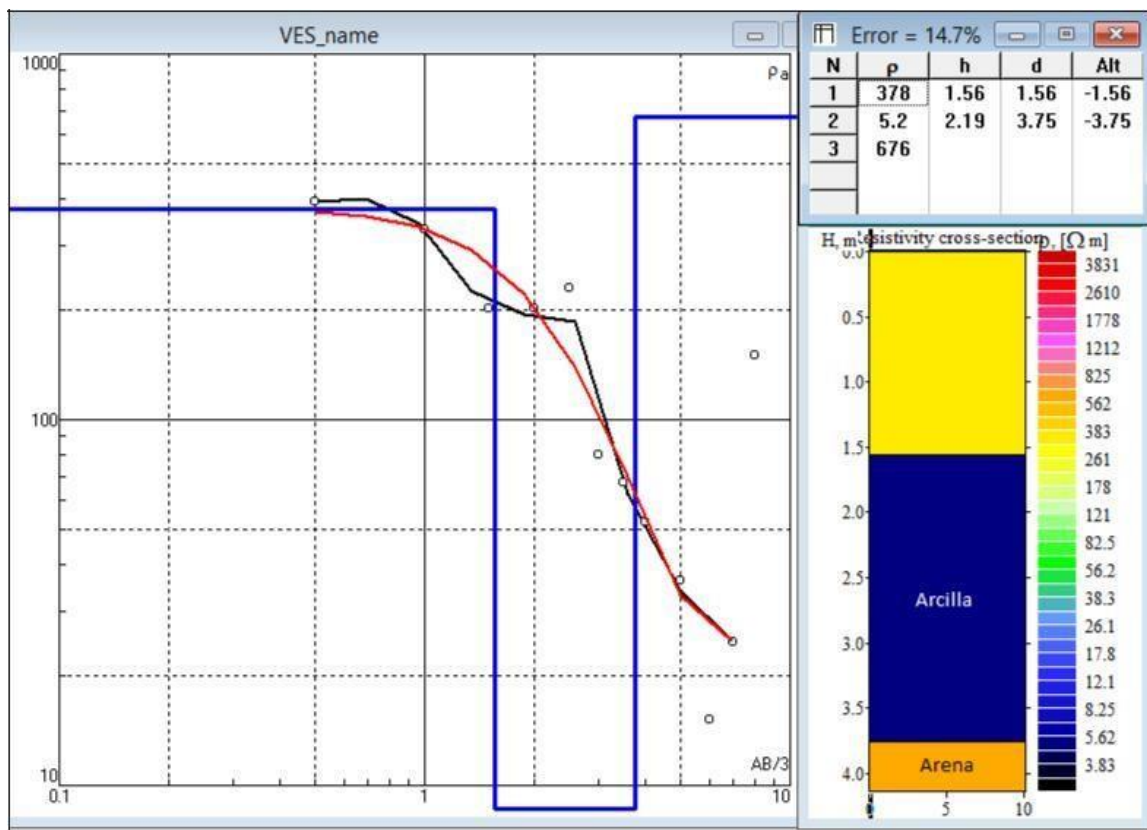
Figura 45. Curva de resistividades aparentes y lecturas obtenidas de campo para SEV1



Fuente: Elaboración propia IPI2WIN.

Para el SEV1 en la figura 46 se observa la curva de resistividades y valores “ ρ ” de resistividad de cada estrato, su espesor “ d ” y su profundidad tope “ h ”. El primer estrato tiene un espesor de 1,56 m y una resistividad de 378 Ω .m que según la tabla 7 representaría una arena. El segundo estrato de 5,2 Ω .m y espesor de 3,75 m representa una arcilla; finalmente el tercer estrato con 676 Ω .m representa una arena. El espesor del tercer estrato es infinito sin embargo debido a que en la superficie la separación entre electrodo de corriente y potencial (distancia a) es igual a 8 m, entonces según el método Wenner los resultados son válidos hasta una profundidad de investigación z de 4, 15 m ($z = a*0.519$); de esta forma se obtuvo el corte geoelectrico y geológico de cada punto de sondeo.

Figura 46. Resistividades de cada estrato, espesor, profundidad y corte geoelectrico del SEV1 con error de ajuste al 14,7%.



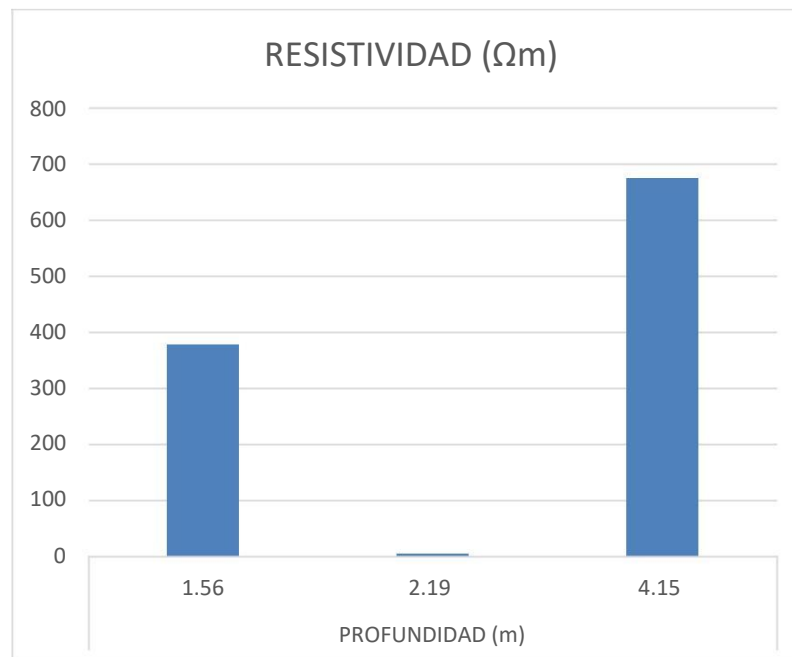
Fuente: Elaboración propia IPI2WIN.

Tabla 16. Interpretación corte geoelectrico

SONDEO ELECTRICO VERTICAL N°1 (SEV1)				
ESTRATO	RESISTIVIDAD (Ωm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	INTERPRETACION DE SUELO
1	378,0	1,56	1,56	Arena
2	5,2	2,19	3,75	Arcilla
3	676,0	4,15	0,4	Arena

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Resistividad verdadera VS profundidad de estratos



Fuente: Elaboración propia

En los anexos 2 y 3, se encuentran las curvas de resistividad aparente, los datos de campo, la resistividad y espesor de cada estrato por cada sondeo eléctrico realizado. En la tabla 17 se encuentra el resumen del análisis para todos los puntos de investigación y sus correspondientes corte geoelectricos – geológicos de los estratos resistentes.

Tabla 17. Caracterización de suelos por resistividad eléctrica

SONDEO ELECTRICO	DISTANCIA "a" ENTRE ELECTRODOS (m)	PROF. DE INVESTIGACIÓN (m)	RESISTIVIDAD MÍNIMA A (Ω m)	RESISTIVIDAD MÁXIMA A (Ω m)	TIPO DE SUELO	PROF. DE CIMENTACIÓN SUGERIDA Df (m)
SEV1	8	4,152	5,2	676	Arcilla + arena	3,75
SEV2	6	3,114	2,34	1429	Arcilla + grava	2,18
SEV3	8	4,152	18,5	381	Arcilla + arena	1,44
SEV4	8	4,152	2,54	313	Arcilla + arena	0,8
SEV5	3	1,557	21	431	Arcilla + arena	1,5
SEV6	--	--	--	--	--	--
SEV7	8	4,152	577	7673	Arena + Grava	1,98
SEV8	8	4,152	69,45	196	Limo + arena	0,8
SEV9	7	3,633	28,6	829	Limo + arena	3,3
SEV10	8	4,152	66	399	Limo + arena	1,5

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo presente la norma E.050 que indica la profundidad de desplante para cimentaciones debe ser mayor a 80 cm, hemos calculado una profundidad de desplante promedio igual a 1,90 m para todos los puntos de investigación.

(_____)

Resultado Objetivo específico 2:

Los resultados del laboratorio de mecánica de suelos “Cantera Geotecnia, construcción y minería” fueron los siguientes:

Tabla 18. Perfil estratigráfico del terreno.

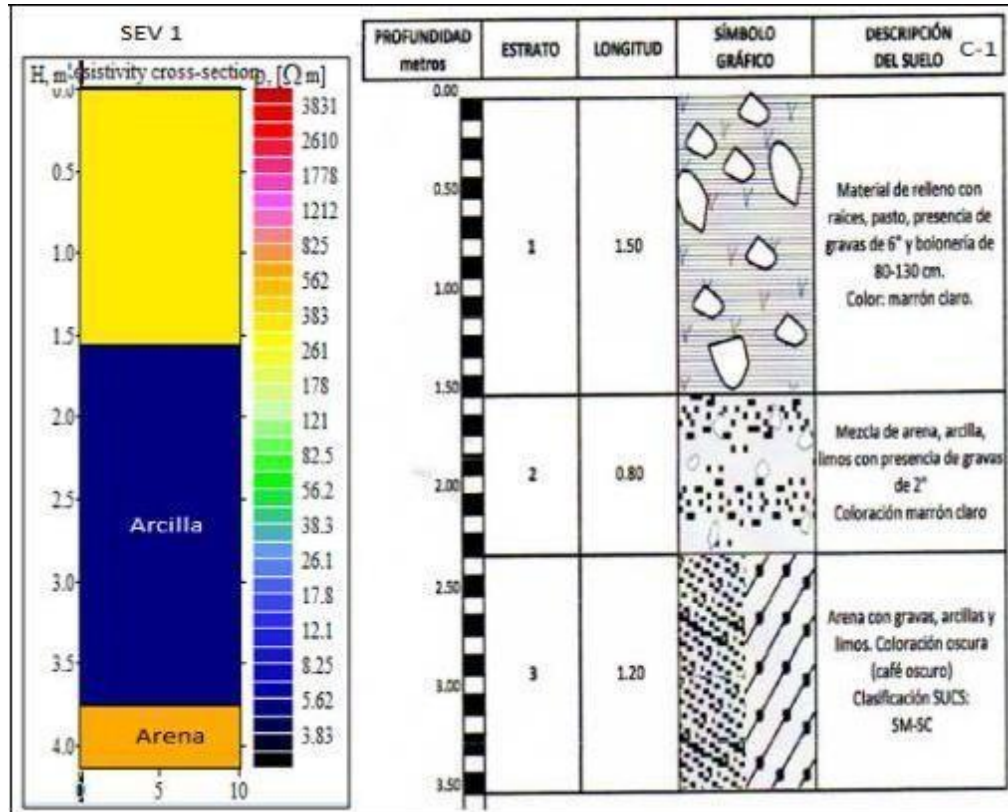
CALICATA	Profundidad	LL	LP	IP	Clasificación	df
	(m)	(%)	(%)	(%)	SUCS	(m)
C-1	3,5	28,98	22,37	6,6	SM-SC	1,5
C-2	3,0	25,61	19,47	6,14	GC	1,5
C-3	3,5	22,14	16,93	5,21	SM-SC	1,5
C-4	5,0	23,66	21,35	2,3	SM	1,5
C-5	3,0	21,12	N.P.	N.P.	SM	1,5
C-6	3,5	25,4	20,25	5,15	SM-SC	1,5
C-7	5,0	24,92	N.P.	N.P.	GW	1,5
C-8	3,5	21,5	N.P.	N.P.	SM	1,5
C-9	5,0	29,24	20,19	9,05	SC	1,5
C-10	3,5	23,31	17,29	6,03	SM-SC	1,5

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos CANTERA – Geotecnia, construcción y Minería E.I.R.L

Con los datos del laboratorio de suelo y los modelos de suelo o cortes geoeléctricos - geológico, mediante cotejo directo se obtuvo una y correlación estratigráfica y de clasificación de suelos de ambos métodos. En la figura nº 47 se observa la correlación directa para el sondeo eléctrico vertical nº 1 y los resultados de laboratorio de suelos para la calicata a cielo abierto nº 1. En la Tabla nº 19 se observa la correlación de clasificación de suelos entre ambos métodos para todos los puntos de investigación. En cuanto al espesor en comparación con el perfil estratigráfico se obtuvo un margen de error para cada punto de exploración, el margen de variación en general obtenido fue del 9%.

(_____)

Figura 48. Correlación estratigráfica entre SEV1 y C-1



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Clasificación de suelos por método convencional y por resistividad eléctrica

VALORES DE RESISTIVIDAD				CALICATA	Clasificación
SONDEO ELÉCTRICO	MÍNIMO (Ωm)	MÁXIMO (Ωm)	TIPO DE SUELO		SUCS
SEV1	5,2	676	Arcilla + arena	C-1	SM-SC
SEV2	2,34	1429	Arcilla + grava	C-2	GC
SEV3	18,5	381	Arcilla + arena	C-3	SM-SC
SEV4	2,54	313	Arcilla + arena	C-4	SM
SEV5	21	431	Limo + arena	C-5	SM
SEV6	--	--	--	C-6	SM-SC
SEV7	577	7673	Arena + Grava	C-7	GW
SEV8	69,45	196	Limo + arena	C-8	SM
SEV9	28,6	829	Limo + Arena	C-9	SC
SEV10	66	399	Limo + arena	C-10	SM-SC

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estos resultados de clasificación de suelos, perfil estratigráfico y localización de profundidad de desplante entre el método de resistividad eléctrica (geoeléctrico) y el método convencional (geotécnico), podemos decir que existe una alta correlación entre ambos métodos y los resultados difieren por un margen pequeño.

Resultado Objetivo específico 3:

El costo directo promedio del mercado obtenido después de analizar las diferentes propuestas económicas emitidas por los diferentes empresas especialistas en estudio de suelos a la fecha de la presente investigación es de 1200 soles (calicata, perfilaje, análisis granulométrico por tamizado y límites Atterberg para clasificación de suelos) por cada calicata.

Por su parte el estudio geotécnico del suelo después del análisis de costos unitarios realizado es de 127 soles por punto de sondeo; sin embargo en realidad si solo se va a campo para realizar un solo sondeo se tendrá tiempo perdido de toda la cuadrilla, por lo que el costo real para un sondeo de un estudio geotécnico será de 511,32 soles que es el costo de un estudio de resistividad en el mercado según se puede apreciar en el anexo 5.

Tabla 20. Análisis de costos unitarios Estudio Geoeléctrico

Estudio geotécnico del suelo					
PARTIDA					
UNIDAD :	SEV				
RENDIMIENTO :	4	SEV/día			
PARTICIPACIÓN DE LA M. O. EN LOS COSTOS	61% CALIFICADA			39% NO CALIFICADA	
DESCRIPCIÓN	Unid.	Cantidad	P. Unitario S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA					
Ingeniero Especialista	0,1	h-h	0,2	30,00	6,0
Operario	1	h-h	2,0	20,96	41,92
Peón	1	h-h	2,0	15,29	30,58
Sub-total					78,50
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Telurómetro	1	h-m	2,0	12,50	25,00
Camioneta 4x4	0,25	h-m	0,5	43,94	21,97
Herramientas 3% mano de obra		%	3,0	78,50	2,36
Sub-total					49,33
TOTAL				S/.	127,83

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al personal requerido para la realización de ambos métodos señalamos que se requiere 5 personas para el estudio de suelos convencional, mientras que se requiere de 3 personas para la realización de un estudio geoelectrico, lo cual lógicamente esto repercute en los costos.

Respecto a los tiempos que se requieren desde el inicio de trabajos de exploración hasta la obtención de resultados del estudio de mecánica de suelos, estos tardaron normalmente entre 5 a 7 días aproximadamente, mientras que el tiempo necesario para un estudio geoelectrico es de 4 horas o un día como máximo.

Tabla 21. Comparativo Método Convencional VS Método de Resistividad eléctrica Wenner

Método	Profundidad	Tiempo en Zona	Personal que interviene	Tiempo obtención informe	Tiempo total	Costo promedio/sondeo
Laboratorio de mecánica de suelos	De 3 a 4 m	2 días	5 personas	5 días	7 días	S/. 1 200,00
Método Wenner de Resistividad eléctrica	Hasta 12,5 m	2 horas	3 personas	4 horas	8 horas	S/. 511,32

Fuente: Elaboración propia.

4.2. CONCLUSIONES

Se logró determinar las características del suelo en la Institución Educativa “Libertador San Martín” mediante el empleo del Método Wenner de resistividad eléctrica a partir de valores de resistividad aparente tomados directamente en campo.

Se concluye que el método Wenner de resistividad eléctrica ha resultado ser un buen método para obtener el corte geoelectrico y geológico del suelo sin necesidad de realizar excavaciones, esto contribuye a determinar la capa de suelo competente para la cimentación de una edificación, siendo este dato muy importante para la futura construcción.

Se concluye que en los suelos de la Institución educativa Libertador San Martín existe una correlación satisfactoria entre el método Wenner de resistividad eléctrica y el método convencional de análisis de suelos, debido a que se obtuvieron resultados semejantes en cuanto a estratigrafía (9% de error), clasificación de suelos y profundidad de desplante.

Se concluye que los tiempos y costos asociados al método Wenner de resistividad eléctrica en comparación con el método convencional, son favorables en una relación de 7:1 y de 2:1 respectivamente.

4.3. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los sondeos eléctricos separando electrodos en superficie a mayor longitud para garantizar una mayor profundidad de estudio (alcance máximo método Wenner de 12,5 m de profundidad); de esta manera se podrá determinar las características de las capas de suelo profundas.

Se recomienda siempre contar con un mapa geológico como apoyo siempre que se utilice el método Wenner de resistividad eléctrica, de esta manera al utilizar este método en combinación con los métodos convencionales se lograra una mejor caracterización del suelo y reducción de incertidumbre.

Se recomienda usar el método Wenner de resistividad eléctrica cuando se requiera conocer las características del suelo en términos generales, cuando se requieran resultados inmediatos y se cuenten con presupuestos limitados.

Revisar la posibilidad de incluir en la norma E.050 el método Wenner de resistividad eléctrica para caracterización de suelos como estudio complementario a los existentes debido a que los resultados de este método son rápidos y bastante cercanos a los métodos convencionales permitiéndonos conocer suelos con baja capacidad portante motivo por el cual también se recomienda utilizarlo para obtener zonificaciones sísmicas.

REFERENCIAS

- Alexander, C., & Sadiku, M. (2013). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. Mexico D.F.: Impresiones editoriales F.T. S.A. de C.V.
- Angulo, W. (2017). RPP NOTICIAS. Lima. Obtenido de <https://rpp-pe.cdn.ampproject.org>
- Arias, D. (2011). Exploración Geotécnica - Relaciones Geoeléctricas. (*Tesis de Maestría*). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Arpi, F. R., & Marca, J. F. (2011). Implementación de un instrumento para prospección Geoeléctrica mediante el Método Wenner - Offset. (*Tesis de Grado*). Universidad de Cuenca Facultad de ingeniería Escuela de Ingeniería eléctrica, Cuenca, Ecuador.
- Auge, M. (2008). *Métodos de Prospección Geoeléctrica*. Buenos Aires, Argentina: Recuperado de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/ProspeccGoeolec.pdf>.
- Cárdenas, V., & Galvis, G. (2011). Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del Método Wenner. (*Tesis de grado*). Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnologías., Pereira, Colombia.
- Chavarria, T. (2017). Desarrollo del contenido programático de las asignaturas "Análisis Geotécnico y cimentaciones", del departamento de Geotecnia para la incorporación en la reforma curricular de la carrera Ingeniería Civil. (*Tesis de pregrado*). Universidad de el Salvador, San Salvador.
- Cobeñas, A. (2017). Aplicación del Método Geofísico-Prospección eléctrica activo para determinar la profundidad de acuíferos subterráneos en la localidad El Virrey-Olmos-Lambayeque. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Consenza, A. (2006). El Sondeo eléctrico vertical como metodología geofísica en el estudio de capas acuíferas en la finca El Baul Santa Lucía Cotzumalguapa. (*Tesis pregrado*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Cuñez Uvidia, J. A. (2015). Comportamiento de la resistividad eléctrica de los suelos ante variaciones de humedad y grado de compactación. (*Tesis de Grado*). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de cimentaciones*. México D.F.: Data color impresores S.A.
- Delgado, M. (2008). *Ingeniería de Fundaciones*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Fierro, J., & Segarra, M. (2018). Diseño Geotécnico de la cimentación de los tanques de digestión anaeróbica para la planta de tratamiento de aguas residuales de Guangarcucho. (*Tesis de pregrado*). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Gonzales, L. (2010). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.

- Graneros, A., & Tito, J. (2017). Caracterización geotécnica del suelo de la APV Ayllu Rau Rau, mediante la prueba estandar de penetración (SPT) con el cono de Peck para fines de cimentación en edificaciones 2016. (*Tesis de pregrado*). Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Herrera, N. (2018). Evaluación de la unidad Hidrogeológica Tulcan para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo. (*Tesis pregrado*). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Huisa, C. (2017). Aplicación de los métodos de Resistividad Multielectrodo - Georadar y su modelización 2D para caracterizar el subsuelo en la ampliación del terminal portuario general San Martín Región Ica. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Iakubovskii, V., & Liajov, L. (1980). *Exploración Eléctrica*. España: Reverté S.A.
- Jiménez, S. (2008). Elaboración de un plan de explotación de aguas subterráneas en una zona de la península de Santa Elena, mediante la interpretación de métodos resistivos. (*Tesis de Grado*). Escuela Superior Politécnica del litoral Facultad de Ingeniería en ciencias de la tierra, Guayaquil, Ecuador.
- Juárez, E., & Rico, A. (2012). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa S.A.
- Lambe, T., & Whitman, R. (2013). *Mecánica de suelos*. México, D.F.: Limusa S.A.
- Moreno, G., Valencia, J., Cárdenas, C., & Villa, W. (2007). *Fundamentos e ingeniería de las puestas a tierra*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Nieto Oropesa, H. D. (2007). Caracterización geoelectrica del subsuelo en los valles del Río Mamo y quebradas Topo y Tacagua para prospección de aguas subterráneas. (*Tesis de pregrado*). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.
- Palacios, M. (2015). *Urbanizar las laderas para proteger los valles: Lurín, Lima*. Obtenido de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/13977>.
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (2012). *Ingeniería de Cimentaciones*. México D.F.: Limusa S.A.
- Pellicer, E. (2015). Caracterización Mediante tomografía eléctrica del deslizamiento de Toleo. (*Tesis de Maestría*). Universidad de Oviedo Facultad de Geología, Oviedo, España.
- Pizarro, L. (2014). Interpretación de mediciones de resistividad de terreno por medio de curvas patrón. (*Tesis de Maestría*). Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile.
- PREDES. (2018). *Conociendo los suelos de Moquegua*. Obtenido de <https://www.predes.org.pe>
- Quispe, S. (2016). Prospección Geoelectrica de agua subterránea mediante dispositivos móviles y Arduino. (*Tesis de grado*). Universidad Mayor de San Andrés Facultad de ciencias puras y naturales, La Paz, Bolivia.

- Ramírez, A. (2017). Evaluación por métodos no convencionales de caracterización de suelos del distrito de Morales, provincia de San Martín - región de San Martín. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Sanz, J., Duque, E., & Gomez, S. (2010). LA RESISTIVIDAD DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA. *En Scientia Et Technica (en línea)*, XVI (44), pp. 1-2, recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316001>.
- Seippel, R. (2003). *Fundamentos de electricidad*. Sevilla, España: Reverté S.A.
- (2010). *Sistemas de Puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y arquitectura. Manizales: Blanecolor Ltda.
- Yanque, M. (2006). Diseño de redes de puesta a tierra en subestaciones de corriente alterna. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de Ingeniería facultad de Ingeniería Mecánica, Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de Calibracion y ficha técnica Telurómetro Megabras MTD 20 KWe 95	
Anexo 2. Curva de resistividad aparente obtenidos de valores de campo	102
Anexo 3. Modelo de capas de suelo obtenidos por el software IPI2WIN	108
Anexo 4. Fotografías trabajo de campo adquisición de datos de resistividad aparente.....	114
Anexo 5. Cotizaciones.....	123
Anexo 6. Estudio de Mecánica de suelos	127

*Anexo 1. Certificado de Calibración y ficha
técnica Telurómetro Megabras MTD 20 KWe*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Laboratorio N° 06 - Electricidad

Pág. 1 de 4

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LAB.06 – 0358 - 2017

1. SOLICITANTE

RAZON SOCIAL : **BALZOLA PERU S.A.C.**
RUC : **20555542187**
DIRECCIÓN : **Av. Tomas Ramsey Nro. 930 Dpto. 902 Int. 901 Urb. San Felipe– Distrito de Magdalena del Mar, Provincia y Departamento de Lima**

2. REFERENCIA

SOLICITUD : **N° 002211**
ORD. DE SERVICIO: **N° 512-2017**
FACTURA : **N° F004-00008010**
FECHA PAGO : **24 - 08 - 2017**

3. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

MEDIDOR DE PUESTA A TIERRA DIGITAL	
Marca : MEGABRAS	Rango de Resistencia:
Modelo : MTD20KWe	0 - 20Ω / 0 - 200Ω / 0 - 2000 Ω / 0 - 20KΩ
Serie : 16G2503	
Procedencia : U.S.A.	Rango de Tensión AC :
Exactitud : Resistencia : ± 2,0%	0 - 200 V
Tensión AC: ± 2,0%	

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

El instrumento Digital se ha Calibrado y contrastado de acuerdo al procedimiento N° 010 – TELD / 2017 / LAB06 / FIEE y en referencia a la norma internacional ISO / IEC / 17025 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories), National Institute of Standards and Technology (NIST, U.S.A.) y las normas del INACAL.

5. METODO DE CALIBRACIÓN

Determinación del error por comparación directa con el patrón de referencia.

6. TRAZABILIDAD EN LAS MEDICIONES

Nivel de Confianza	Factor de Cobertura
95 %	K=2

KZC

Av. Túpac Amaru 210, Pabellón A - Primer Piso, Lima 25, Apartado Postal 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3342 Central Telefónica (511) 481-1070 Anexos: 4840
Sitio Web: <http://www.lafiee.uni.edu.pe> - E-mail: lab1fiee@uni.edu.pe





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Laboratorio N° 06 - Electricidad

Pág. 2 de 4

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LAB.06 – 0358 - 2017**

7. NORMAS DE REFERENCIA

IEC 61557-5: 2007 Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 5: Resistance to earth.

ASTM G57-06(2012) Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.

8. EJECUCIÓN

Las pruebas han sido realizadas por el Personal Técnico Calificado de la FIEE-UNI
Gustavo Riquelme Aparicio Vivar

9. LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio N°6 de Electricidad - Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica - Universidad Nacional de Ingeniería.

10. FECHA DE CALIBRACIÓN

Jueves, 24 de agosto del 2017

11. CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	Humedad relativa
20,4 °C	68,9 %

12. PATRONES DE REFERENCIA

Patrón utilizado	Marca	Modelo	Serie
Telurómetro digital	MEGGER	DET4TCR2	101218263
Anelizador de redes	ZERA	MT 3000	Z10296801

13. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

CUADRO N° 1: MEDICIONES DE RESISTENCIA (03 BORNES)

Escala	Lectura del Instrumento Contrastado	Lectura del Instrumento Patrón	Error Absoluto	Error Relativo	Incertidumbre
20 Ω	1,99 Ω	2,00 Ω	0,01 Ω	0,50 %	0,16 Ω
	4,99 Ω	5,01 Ω	0,02 Ω	0,40 %	
	9,98 Ω	10,00 Ω	0,02 Ω	0,20 %	
	14,98 Ω	15,00 Ω	0,02 Ω	0,13 %	
	19,97 Ω	20,00 Ω	0,03 Ω	0,15 %	

430





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Laboratorio N° 06 - Electricidad

Pág. 3 de 4

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LAB.06 – 0358 - 2017

Escala	Lectura del Instrumento Contrastado	Lectura del Instrumento Patrón	Error Absoluto	Error Relativo	Incertidumbre
200 Ω	9,90 Ω	10,00 Ω	0,10 Ω	1,00 %	0,18 Ω
	49,40 Ω	50,10 Ω	0,70 Ω	1,40 %	
	98,80 Ω	100,00 Ω	1,20 Ω	1,20 %	
	148,00 Ω	150,10 Ω	2,10 Ω	1,40 %	
	197,30 Ω	200,10 Ω	2,80 Ω	1,40 %	
2000 Ω	99,00 Ω	100,00 Ω	1,00 Ω	1,00 %	0,14 Ω
	494,00 Ω	500,00 Ω	6,00 Ω	1,20 %	
	990,00 Ω	1000,00 Ω	10,00 Ω	1,00 %	
	1480,00 Ω	1500,00 Ω	20,00 Ω	1,33 %	
	1980,00 Ω	2000,00 Ω	20,00 Ω	1,00 %	
20 KΩ	2,99 KΩ	3,00 KΩ	0,01 KΩ	0,33 %	0,21 KΩ
	4,96 KΩ	5,00 KΩ	0,04 KΩ	0,80 %	
	9,94 KΩ	10,00 KΩ	0,06 KΩ	0,60 %	
	14,94 KΩ	15,00 KΩ	0,06 KΩ	0,40 %	
	19,94 KΩ	20,00 KΩ	0,06 KΩ	0,30 %	

CUADRO N° 2: MEDICIONES DE RESISTENCIA (04 BORNES)

Escala	Lectura del Instrumento Contrastado	Lectura del Instrumento Patrón	Error Absoluto	Error Relativo	Incertidumbre
20 Ω	1,99 Ω	2,00 Ω	0,01 Ω	0,50 %	0,13 Ω
	4,99 Ω	5,00 Ω	0,01 Ω	0,20 %	
	9,98 Ω	10,00 Ω	0,02 Ω	0,20 %	
	14,97 Ω	15,00 Ω	0,03 Ω	0,20 %	
	19,96 Ω	20,00 Ω	0,04 Ω	0,20 %	
200 Ω	9,96 Ω	10,10 Ω	0,14 Ω	1,39 %	0,07 Ω
	49,30 Ω	50,00 Ω	0,70 Ω	1,40 %	
	98,60 Ω	100,10 Ω	1,50 Ω	1,50 %	
	148,00 Ω	150,10 Ω	2,10 Ω	1,40 %	
	197,10 Ω	200,20 Ω	3,10 Ω	1,55 %	
2000 Ω	99,00 Ω	100,00 Ω	1,00 Ω	1,00 %	0,32 Ω
	496,00 Ω	500,00 Ω	4,00 Ω	0,80 %	
	994,00 Ω	1000,00 Ω	6,00 Ω	0,60 %	
	1482,00 Ω	1500,00 Ω	18,00 Ω	1,20 %	
	1972,00 Ω	2000,00 Ω	28,00 Ω	1,40 %	

K25

Av. Túpac Amaru 210, Pabellón A - Primer Piso, Lima 25, Apartado Postal 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3342 Celular telefónica (511) 481-1070 Anexos: 4840
Sitio Web: <http://www.uningenieria.edu.pe>





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Laboratorio N° 06 - Electricidad

Pág. 4 de 4

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LAB.06 - 0358 - 2017

Escala	Lectura del Instrumento Contrastado	Lectura del Instrumento Patrón	Error Absoluto	Error Relativo	Incertidumbre
20 kΩ	2.99 kΩ	3.00 kΩ	0.01 kΩ	0.33 %	0.07 kΩ
	4.99 kΩ	5.00 kΩ	0.01 kΩ	0.20 %	
	9.90 kΩ	10.00 kΩ	0.04 kΩ	0.40 %	
	14.95 kΩ	15.00 kΩ	0.05 kΩ	0.33 %	
	19.94 kΩ	20.00 kΩ	0.06 kΩ	0.30 %	

CUADRO N° 3: MEDICIONES DE TENSIÓN ALTERNA

Escala	Lectura del Instrumento Contrastado	Lectura del Instrumento Patrón	Error Absoluto	Error Relativo	Incertidumbre
200 V AC	9.90 V	10.00 V	0.10 V	1.00 %	0.27 V
	49.90 V	50.00 V	0.20 V	0.40 %	
	99.70 V	100.00 V	0.30 V	0.30 %	
	149.50 V	150.00 V	0.70 V	0.47 %	
	199.10 V	200.00 V	0.90 V	0.45 %	

14. VALIDEZ DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

El Certificado de Calibración es válido para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems uno (1) al tres (3) y tiene vigencia hasta el 23 de Agosto del 2018.

Lima, 24 de Agosto del 2017


Ing. Libaldo Rosado Aguirre
CIP: 28210
Jefe del Laboratorio N°06 de Electricidad

Este Certificado de Calibración sólo puede ser difundido completamente y en modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio N°06 de Electricidad.

NOTA:

Consulte sobre el Certificado de Calibración enviando correo electrónico con el Laboratorio N°06 de Electricidad

42

Av. Túpac Amaru 210, Pasadizo A - Primer Piso, Lima 25, Apartado Postal 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3342 Central Telefónica (511) 481-1870 Anexos: 4840
Sitio Web: <http://www.ifee.uni.edu.pe> - E-mail: lab06@uni.edu.pe

MTD 20KWe



TELURÍMETRO DIGITAL

- ✓ MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
- ✓ MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO
- ✓ MEDICIÓN DE TENSIONES ESPURIAS
- ✓ RANGO DE RESISTENCIA: HASTA 20K Ω
- ✓ RESOLUCIÓN: 0,01 Ω
- ✓ ALTA PRECISIÓN
- ✓ ALTA INMUNIDAD A LAS INTERFERENCIAS
- ✓ VISOR NUMÉRICO DE 3½ DÍGITOS

El telurímetro digital MTD-20KWe permite medir resistencias de puesta a tierra (PAT), resistividad del terreno por el método de Wenner y las tensiones espurias provocadas por las corrientes parásitas en el suelo.

El campo de aplicación de este equipo incluye la verificación de la PAT de edificios, instalaciones industriales, hospitalarias y domiciliarias, pararrayos, antenas, subestaciones, etc. Midiendo la resistividad puede evaluarse la estratificación del terreno para optimizar el diseño de los sistemas de PAT más complejos.

Por su elaborado sistema de filtros activos y pasivos, posee una elevada inmunidad a las interferencias eléctricas y permite obtener mediciones confiables incluso en presencia de altas tensiones parásitas como las que suelen encontrarse en algunas áreas urbanas y en la proximidad de subestaciones de transformación.

La corriente de medición, regulada electrónicamente, es alternada con una frecuencia de 1470Hz, lo cual permite evaluar adecuadamente el

comportamiento de la instalación de PAT tanto en relación a una falla de frecuencia industrial como frente a una descarga atmosférica.

Posee una señal acústica que alerta al operador cuando la corriente inyectada en el terreno es insuficiente para realizar la medición. Esta alarma evita que, por no advertirse esta situación, se informen valores de resistencias inválidos.

Por su amplio rango de medición (desde 0,01 Ω hasta 20K Ω), este equipo permite mediciones confiables en todo tipo de terreno, incluso aquellos con muy alta resistividad.

Es un instrumento de utilización muy simple, con lectura directa en su visor de 3 ½ dígitos. Se provee con las jabalinas auxiliares y cables requeridos para las mediciones típicas.

Su gabinete es robusto, de fácil y seguro transporte. Es adecuado para operar en condiciones geográficas y ambientales adversas, con temperaturas extremas en regiones frías o tropicales y elevadas alturas en zonas montañosas, por lo que presenta un óptimo desempeño en los trabajos de campo, en cualquier situación.

MEGABRAS
www.megabras.com

MTD 20KWe - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

APLICACIÓN

Medición de resistencias de puesta a tierra (con 3 bornes), resistividad del suelo por el método de Wenner (con 4 bornes) y tensiones presentes en el terreno.

MÉTODO DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA

El telurímetro inyecta en el terreno una corriente estabilizada electrónicamente (por lo que no se requieren ajustes previos a la medición), y mide con alta precisión la tensión que se desarrolla en el terreno por la circulación de esa corriente a través de la resistencia de difusión del electrodo hincado. La lectura de R es directa en el visor.

INMUNIDAD A LAS PERTURBACIONES

La frecuencia de operación cumple con la ecuación:

$$f_g = \frac{2n+1}{2} \times f_i$$

Donde:

f_g = frecuencia de la corriente generada por el telurímetro

n = número entero.

f_i = frecuencia industrial.

El cumplimiento de esta ecuación implica que la frecuencia de operación no coincide con ninguna armónica de la frecuencia industrial, lo cual permite, mediante el empleo de filtros adecuados, eliminar el efecto de las corrientes parásitas que suelen estar presentes en los terrenos estudiados.

FUNCIONAMIENTO COMO VOLTÍMETRO

En la función voltímetro, el equipo opera como voltímetro convencional de C.A. y permite verificar la presencia y medir las tensiones generadas por las corrientes parásitas.

ESCALAS DE MEDICIÓN

Resistencias: 0-20; 0-200; 0-2.000 e 0-20k Ω

Tensión: 0-200V~

EXACTITUD

Medición de resistencias: $\pm 2\%$ del valor medido $\pm 1\%$ del fondo de escala.

Medición de tensión: $\pm 2\%$ del valor medido $\pm 1\%$ del fondo de escala.

RESOLUCIÓN DE LECTURA

0,01 Ω en la medición de resistencia.

0,1V en la medición de tensión.

POTENCIA Y CORRIENTE DE SALIDA

Opera con una potencia de salida inferior a 0,5W y con una corriente inferior a 15 mA (pico a pico).

ALIMENTACIÓN

Batería recargable interna

CARGADOR DE BATERÍA

El circuito inteligente ajusta la carga de la batería a los parámetros optimizados para garantizar la máxima vida útil. Si alimenta por fuente externa para 95-240V~ (provisto con el equipo) o de una batería del automóvil de 12V.

ALARMA ACÚSTICA

Advierte al operador cuando existen anomalías en el circuito de corriente que dificultan la obtención de un resultado confiable.

TEMPERATURA DE OPERACIÓN

-10°C a 50°C

TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO

-25°C a 65°C

HUMEDAD

95% RH (sin condensación)

ALTURA MÁXIMA

3000m sobre el nivel del mar

PESO DEL EQUIPO

Aprox. 2,3 kg

DIMENSIONES

221 x 189 x 99 mm.

ACCESORIOS INCLUIDOS

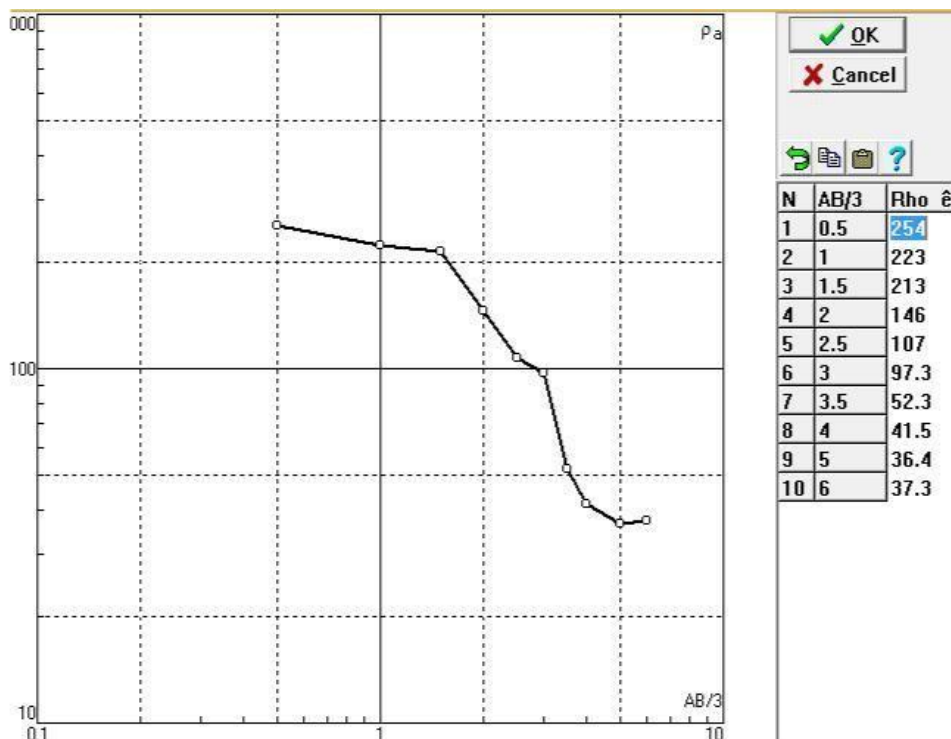
- Fuente de alimentación, para la red de 95 - 240V~
- Cable de conexión para alimentar el cargador con batería externa (automóvil o similar)
- 4 Jabalinas auxiliares de acero revestido en cobre
- Conjunto de 4 cables de medición
- Extractores de jabalinas
- Bolsa para los accesorios
- Manual de operación

*Anexo 2. Curva de resistividad aparente obtenidos de
valores de campo.*

Curva de resistividad aparente SEV1



Curva de resistividad aparente SEV2



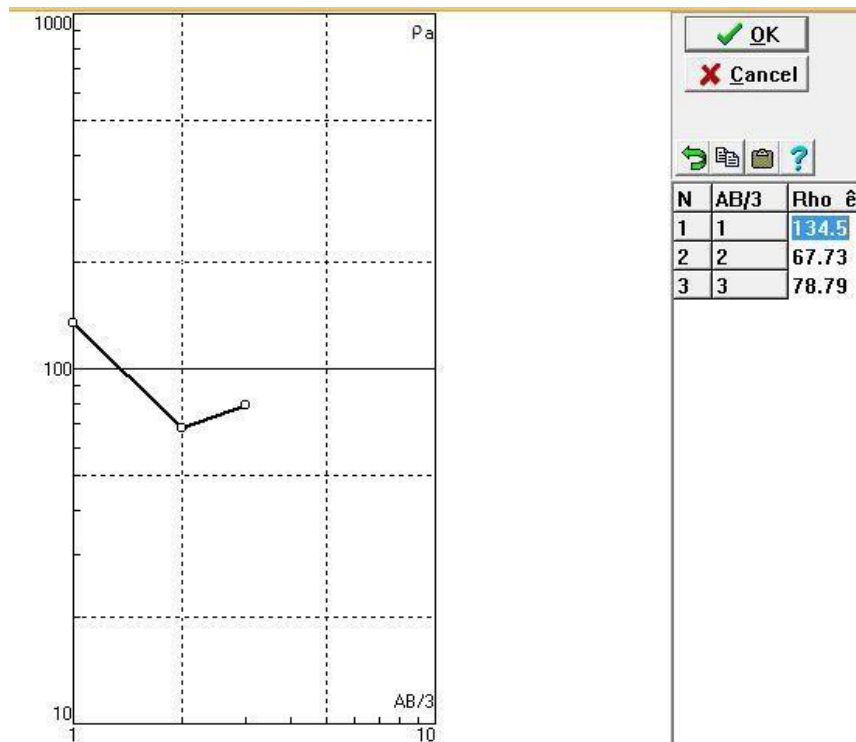
Curva de resistividad aparente SEV3



Curva de resistividad aparente SEV4



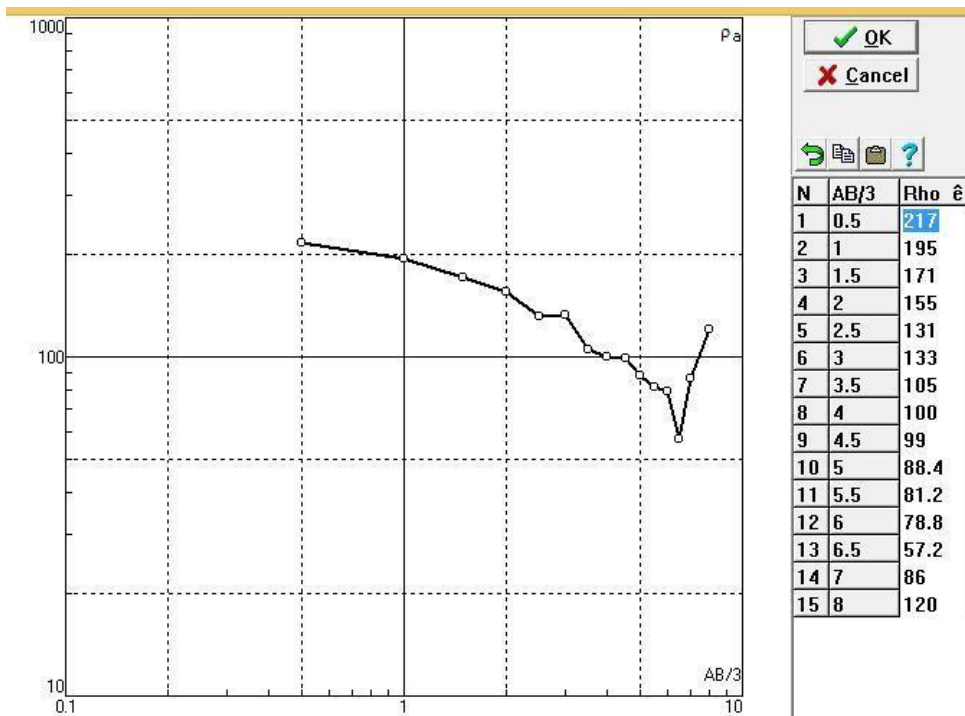
Curva de resistividad aparente SEV5



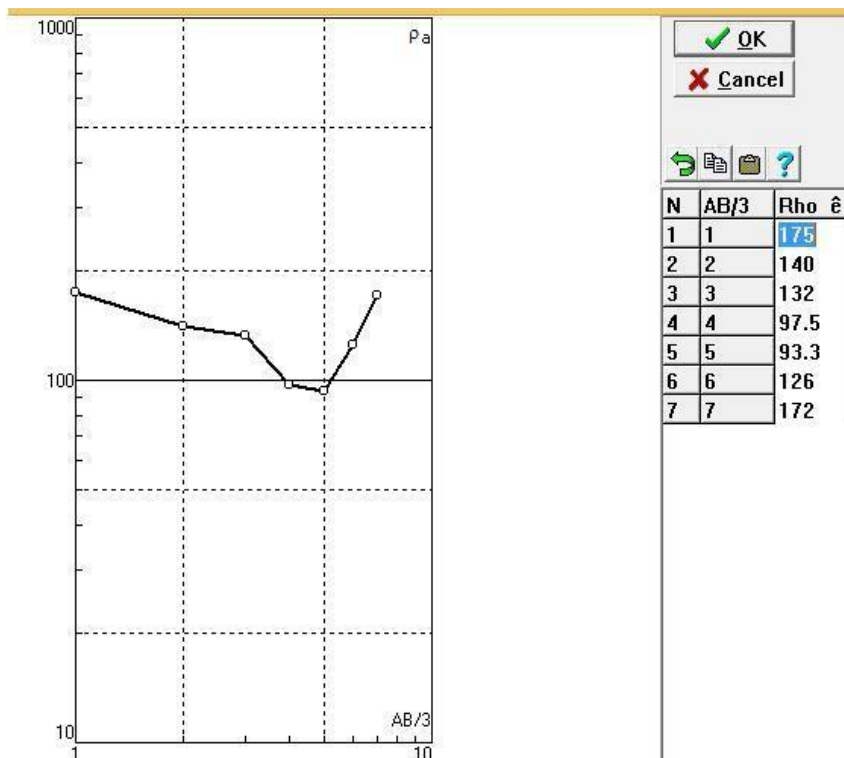
Curva de resistividad aparente SEV7



Curva de resistividad aparente SEV8



Curva de resistividad aparente SEV9

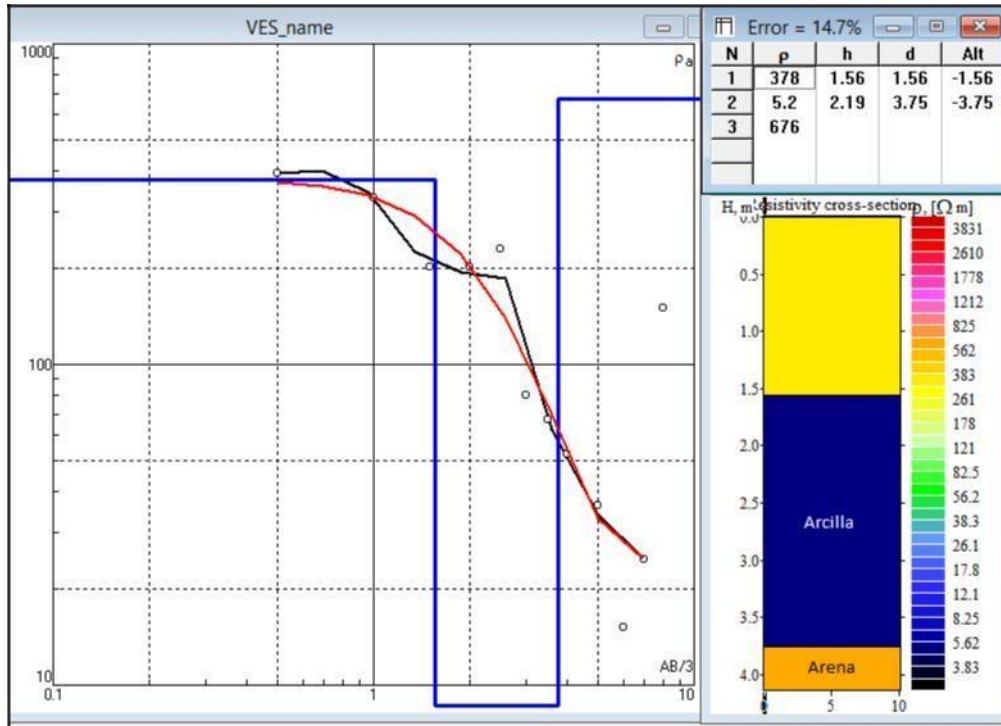


Curva de resistividad aparente SEV10

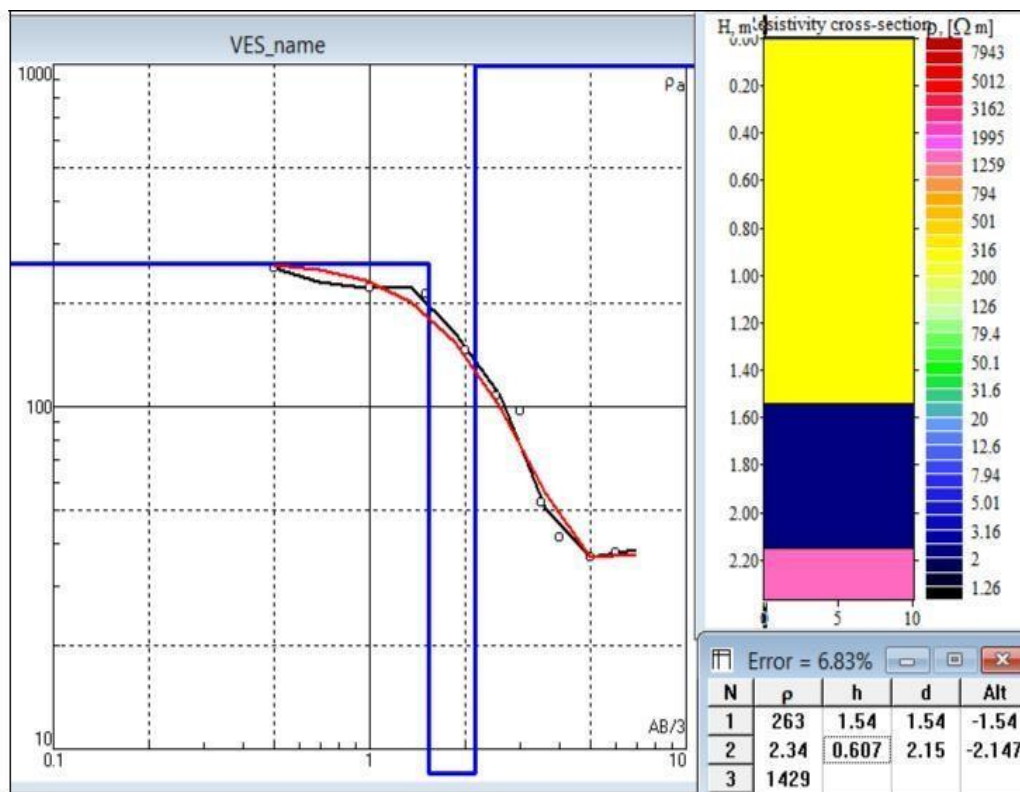


*Anexo 3. Modelo de capas de suelo obtenidos por
el software IPI2WIN*

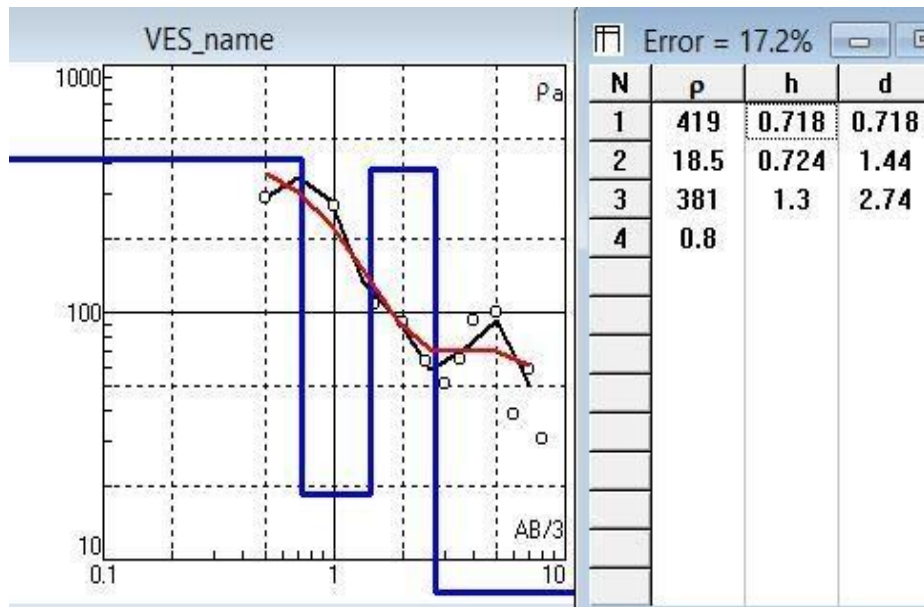
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV1



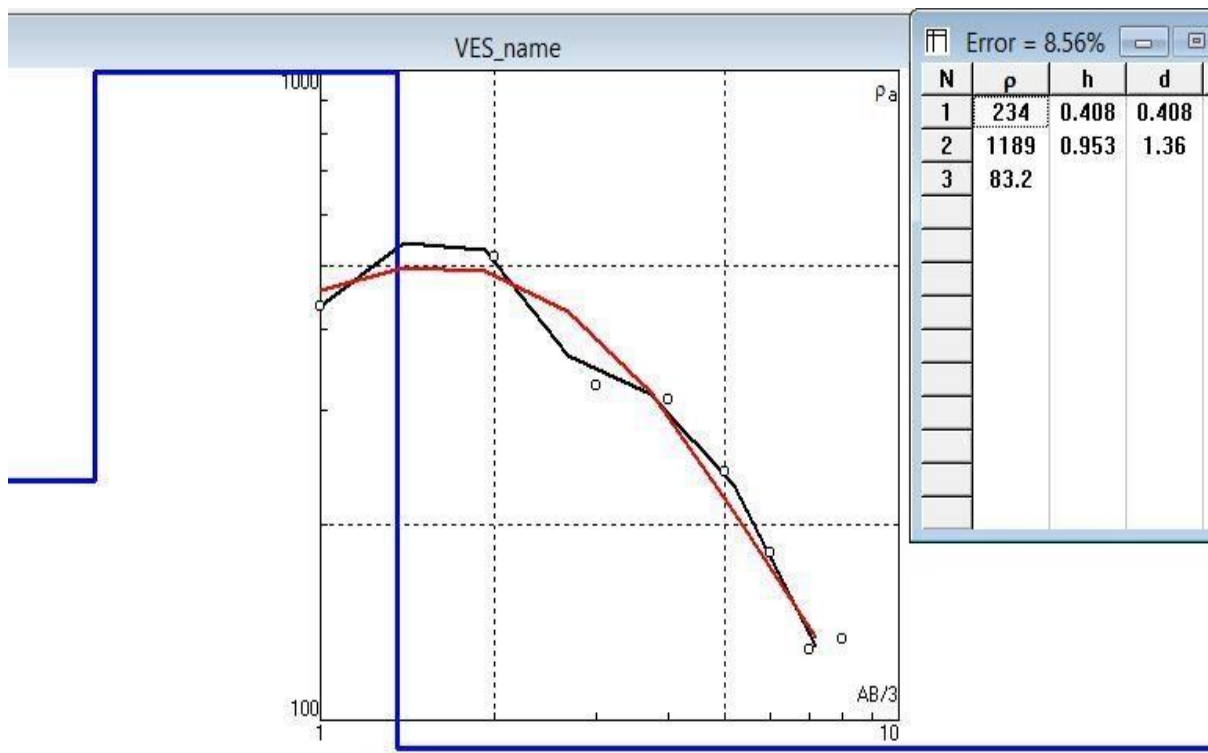
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV2



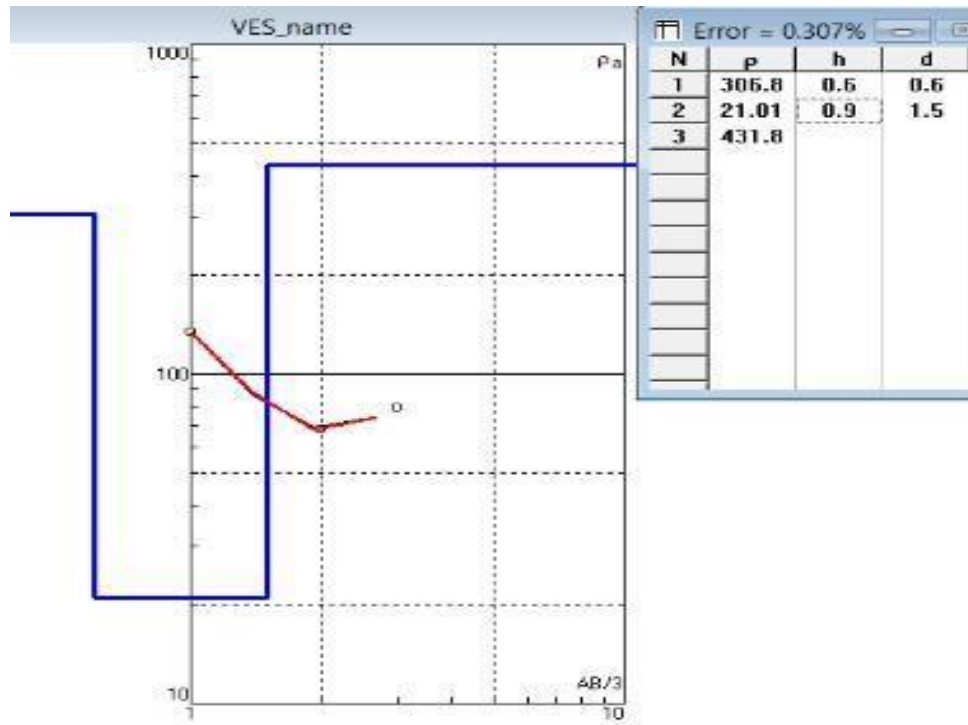
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV3



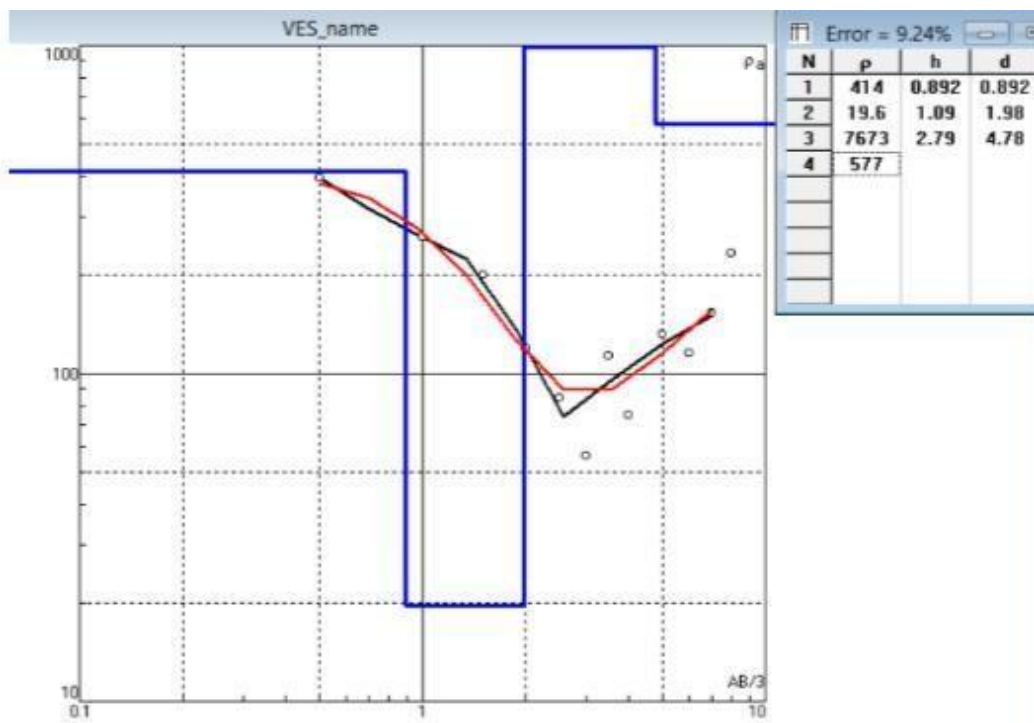
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV4



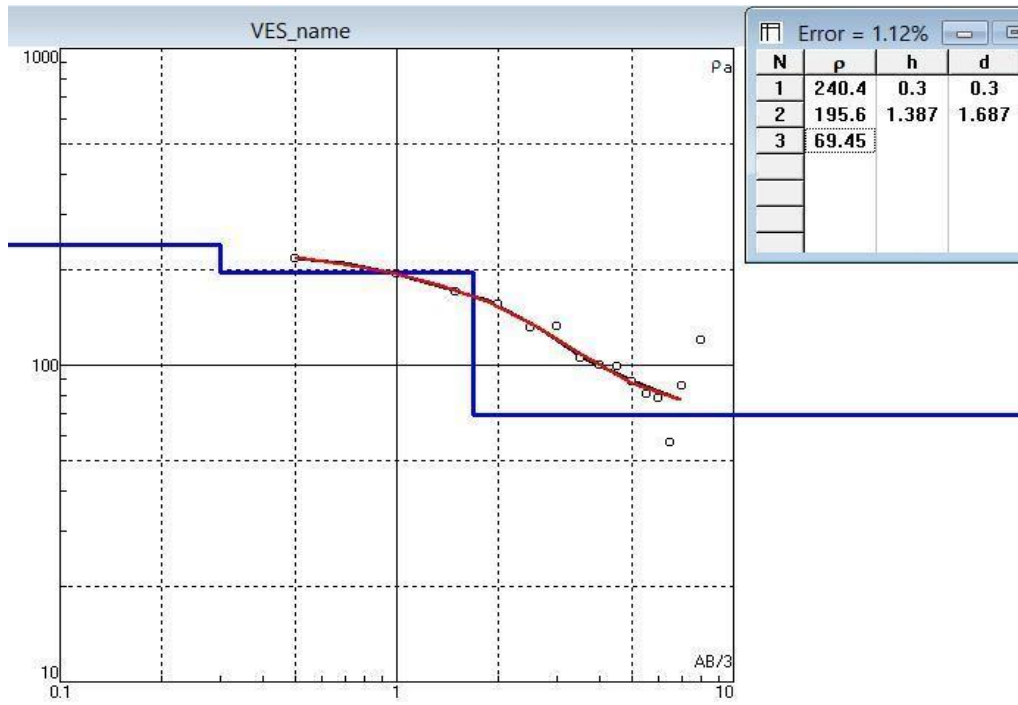
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV5



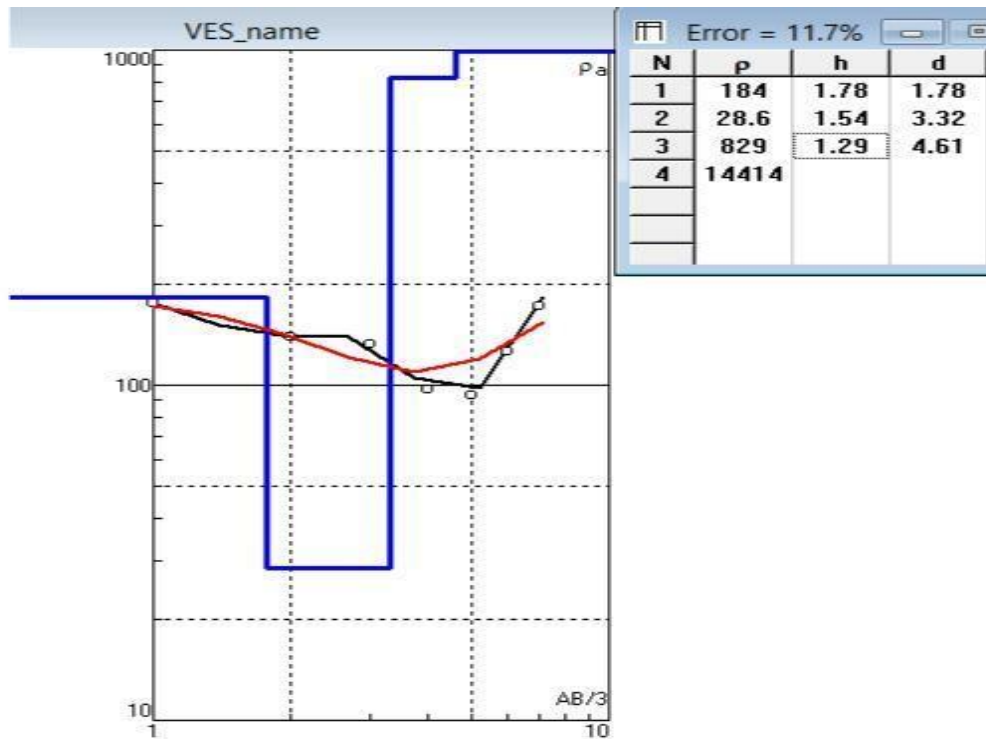
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV7



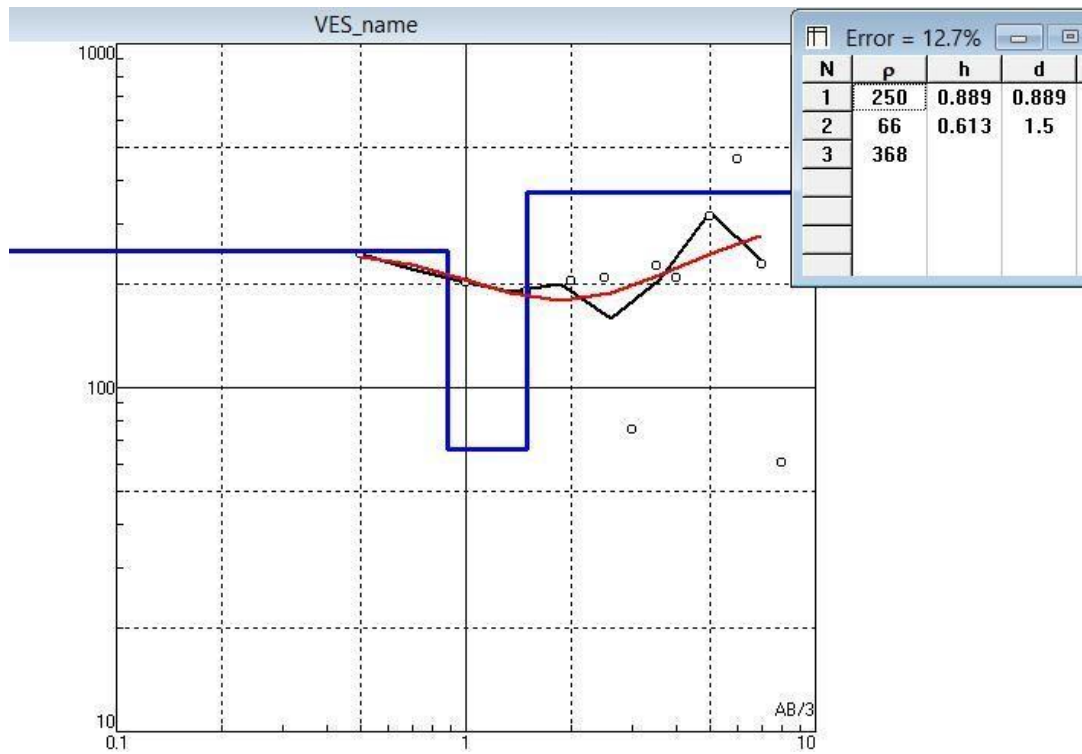
Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV8



Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV9



Valores de resistividad y espesor de cada estrato SEV10



*Anexo 4. Fotografías trabajo de campo adquisición
de datos de resistividad aparente.*

Acceso y portón de ingreso Institución Educativa Libertador San Martin



Charla de 5 minutos personal para excavación de calicatas



Excavación de calicata



Proceso de distanciamiento de electrodos (Sondeo eléctrico vertical) Método Wenner



SEV1 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV2 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV3 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV4 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV5 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV7 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV8 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV9 por el método de resistividad eléctrica Wenner



SEV10 por el método de resistividad eléctrica Wenner



Anexo 5. Cotizaciones

**ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN
"VIVIENDA UNIFAMILIAR DE 3 PISOS"
COMAS, LIMA, LIMA**

Código: 18P036
 Cliente: Sr. William Cruz
 Atención: Sr. William Cruz
 Fecha: 25/07/2018
 Rev.: A

Ítem	Actividad	Unidad	Metrado	Tarifa (S/.)	Parcial (S/.)	Sub Total (S/.)
A.	HONORARIOS					650.00
	Elaboración de Informe de Mecánica de Suelos	Glb.	1	650.00	650.00	
B.	GASTOS OPERATIVOS					3 700.00
B.1	ENSAYOS DE CAMPO					1 350.00
	Excavación de calicata (de 4 m)	Und.	3	400.00	1 200.00	
	Perfilaje de calicatas	m	12	5.00	60.00	
	Densidad in situ	Und.	3	30.00	90.00	
B.2	ENSAYOS DE LABORATORIO					1 780.00
	Clasificación SUCS (incluye Análisis Granulométrico por Tamizado y Límites de Atterberg)	Und.	4	225.00	900.00	
	Contenido de Humedad	Und.	4	30.00	120.00	
	Corte Directo o Densidad Máxima/Mínima	Und.	1	450.00	450.00	
	Ensayos Químicos (sulfatos, cloruros y sales solubles totales en suelo)	Und.	1	310.00	310.00	
B.3	MOVILIDAD Y VIÁTICOS					370.00
	Movilización y Desmovilización de Equipos y Personal	día	2	85.00	170.00	
	Viáticos	día	2	65.00	130.00	
	Traslado de muestras	Glb.	1	70.00	70.00	
B.4	ÚTILES Y OTROS					100.00
	Útiles de oficina, uso de software, impresiones, copias	Glb.	1	100.00	100.00	
B.5	SALUD Y SEGURIDAD					100.00
	EPP (Uniformes y Accesorios) + Señalizaciones de Seguridad	Glb.	1	100.00	100.00	
	SCTR	Glb.			0.00	
C.	SUB TOTAL (A + B)				S/.	4 350.00
D.	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (10% C)				S/.	435.00
E.	MONTO (C + D)				S/.	4 785.00

RUC: 20544680677
DIRECCION Calle 30, Mz. W1, Lt. 08, Urb. El Alamo - COMAS - LIMA - PERÚ
5576383 / 7227762 / 599132211 / RPM *015547 / RPC 966123440

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA PROYECTOS DE TELECOMUNICACIONES

CUADRO DE COSTOS

CLIENTE:	ROBINSON QUISPILAYA	CONTACTO:	ROBINSON QUISPILAYA
Ubicación:	LIMA	Telefonos	980176326
Descripción	ESTUDIOS GEOTECNICOS Y TOPOGRAFIA		robinson7qm@gmail.com
del Servicio :	ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACION		

TODOS LOS COSTO NO INCLUYEN IGV

Item	Descripción	ZONAS DE TRABAJO	UNIDAD DE SERVICIO	Precio Unitario Servicio S/.	Parcial S/.	Parcial Partida S/.
1.00	ESTUDIO DE SUELOS POR SITE (A TODO COSTO) Realización del Muestreo, Perfil / Registro de Calicata y Panel fotografico en Campo.					
	Realización de Ensayos de laboratorio (Físicos + Químicos + Especiales)	CIUDAD DE LIMA				
1.01	Realización del informe de Suelos IMPORTANTE: Nuestro informe es Avalado y firmado por nuestra empresa y nuestro especialista en Geotecnia (Ingeniero de la UNI, Titulado, Colegiado y con Maestría en Geotecnia)		1	1,500.00	1,500.00	
	SubTotal					1,500.00
2.00	ESTUDIO DE SUELOS POR SITE (A TODO COSTO) Realización del Muestreo, Perfil / Registro de Calicata y Panel fotografico en Campo.					
	Realización de Ensayos de laboratorio (Físicos + Químicos + Especiales)	PROVINCIAS DENTRO DE LIMA				
2.01	Realización del informe de Suelos IMPORTANTE: Nuestro informe es Avalado y firmado por nuestra empresa y nuestro especialista en Geotecnia (Ingeniero de la UNI, Titulado, Colegiado y con Maestría en Geotecnia)		1	1,700.00	1,700.00	
	SubTotal					1,700.00
3.00	ESTUDIO DE SUELOS POR SITE (A TODO COSTO) Realización del Muestreo, Perfil / Registro de Calicata y Panel fotografico en Campo.					
	Realización de Ensayos de laboratorio (Físicos + Químicos + Especiales)	PROVINCIAS FUERA DE LIMA				
3.01	Realización del informe de Suelos IMPORTANTE: Nuestro informe es Avalado y firmado por nuestra empresa y nuestro especialista en Geotecnia (Ingeniero de la UNI, Titulado, Colegiado y con Maestría en Geotecnia)		1	1,900.00	1,900.00	
	SubTotal					1,900.00
TODOS LOS COSTO NO INCLUYEN IGV						

RUC: 20544680677
DIRECCION Calle 30, Mz. W1, Lt. 08, Urb. El Alamo - COMAS - LIMA - PERÚ
5576383 / 7227762 / 999132211 / RPM *015947 / RPC 986123440

ESTUDIOS DE RESISTIVIDAD PARA PROYECTOS DE TELECOMUNICACIONES

CUADRO DE COSTOS

CLIENTE:	ROBINSON QUISPILAYA	CONTACTO:	ROBINSON QUISPILAYA
Ubicación:	LIMA	Telefonos	980176326
Descripción del Servicio :	ESTUDIOS GEOTECNICOS Y TOPOGRAFIA		robinson7qm@gmail.com
	ESTUDIOS DE RESISTIVIDAD		

TODOS LOS COSTO NO INCLUYEN IGV

Item	Descripción	ZONAS DE TRABAJO	UNIDAD DE SERVICIO	Precio Unitario Servicio S/.	Parcial S/.	Parcial Partida S/.
1.00	ESTUDIO DE RESISTIVIDAD (A TODO COSTO)					
	Realización de Ensayo de resistividad en el site					
	IMPORTANTE: Nuestro informe es Avalado y firmado por nuestra empresa y nuestro especialista en Geotecnia (Ingeniero de la UNI, Titulado, Colegiado y con Maestría en Geotecnia)	CIUDAD DE LIMA				
1.01			1	500.00	500.00	
	SubTotal					500.00
2.00	ESTUDIO DE RESISTIVIDAD (A TODO COSTO)					
	Realización de Ensayo de resistividad en el site					
	IMPORTANTE: Nuestro informe es Avalado y firmado por nuestra empresa y nuestro especialista en Geotecnia (Ingeniero de la UNI, Titulado, Colegiado y con Maestría en Geotecnia)	PROVINCIAS DENTRO DE LIMA				
2.01			1	700.00	700.00	
	SubTotal					700.00
3.00	ESTUDIO DE RESISTIVIDAD (A TODO COSTO)					
	Realización de Ensayo de resistividad en el site					
	IMPORTANTE: Nuestro informe es Avalado y firmado por nuestra empresa y nuestro especialista en Geotecnia (Ingeniero de la UNI, Titulado, Colegiado y con Maestría en Geotecnia)	PROVINCIAS FUERA DE LIMA				
3.01			1	900.00	900.00	
	SubTotal					900.00
TODOS LOS COSTO NO INCLUYEN IGV						

Anexo 6. Estudio de Mecánica de suelos

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN

EXPEDIENTE TÉCNICO DEL PROYECTO:
"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER
DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN
DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR
SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE
RECUAY - ANCASH"

A SOLICITUD DE:
BACHILLER ROBINSON QUISPILAYA MARMOLEJO

ELABORADO POR:
ING. LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
CIP 76282

JULIO 2018

CANERA, GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA EIRL
RUC: 206028039260

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRÍA EN GEOTECNIA
CIP: 76282
TITULAR GERENTE

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
1.1	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	2
1.2	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	2
1.3	NORMATIVIDAD.....	4
1.4	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO:.....	4
2	CONDICIONES CLIMATICAS.....	4
3	GEOLOGIA Y SISMICIDAD.....	4
3.1	GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO.....	4
3.2	SISMICIDAD.....	5
3.3	GEODINAMICA EXTERNA.....	6
4	INVESTIGACION DE CAMPO.....	6
4.1	EXPLORACION Y ENSAYOS.....	6
4.2	NIVEL FREATICO.....	7
5	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	7
5.1	ENSAYOS ESTÁNDAR.....	7
5.2	ENSAYOS ESPECIALES:.....	8
6	PERFIL ESTRATIGRAFICO.....	8
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	9
8	Panel Fotográfico.....	10

CANERA, GEOTECHNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERIA EIRL
RUC: 20662038260

[Firma]
LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECHNIA
CIP: 76282
TITULAR GERENTE

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

1 GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente Informe Técnico tiene por objeto investigar el subsuelo del terreno asignado al Proyecto MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS EDUCATIVOS I.E.P. N° 86559 "LIBERTADOR SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH, ubicado en el distrito de Recuay; por medio de trabajos de campo a través de pozos de exploración o calicatas "a cielo abierto", ensayos de laboratorio estándar y especiales a fin de obtener las principales características físicas y mecánicas del suelo, y labores de gabinete en base a los cuales se definen los perfiles estratigráficos, tipo y profundidad de cimentación, Capacidad Portante Admisible, y las recomendaciones generales para la cimentación.

El programa seguido para los fines propuestos, fue el siguiente:

Para ese fin se programó la realización de las siguientes actividades:

- Recopilación de la información existente en la zona
- Ubicación y Ejecución de calicatas de forma manual y maquina pesada.
- Toma de muestras alteradas e inalteradas
- Ejecución de ensayos de laboratorio
- Interpretación de los ensayos de laboratorio
- Elaboración del perfil estratigráfico del terreno
- Determinación de la capacidad admisible del terreno

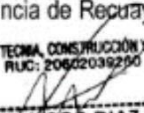
El objetivo del estudio de suelos fue el de evaluar las características del terreno de cimentación con el fin de establecer la profundidad de cimentación, la capacidad portante admisible del suelo.

1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El distrito de Recuay es uno de los diez que conforman la provincia de Recuay, ubicada en el Departamento de Ancash. La provincia de Recuay limita por el Norte con las provincias de Aija y Huaraz; por el Este con la provincia de Huanu; por el Sur con la provincia de Bolognesi y por el Oeste con la provincia de Huarmey.

El proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Recuay, en la provincia de Recuay, en el departamento de Ancash.

CANTERA, GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 20602039290


LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP: 76282
TITULAR GERENTE

EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH

GRAFICO N°1: Localización en Recuay

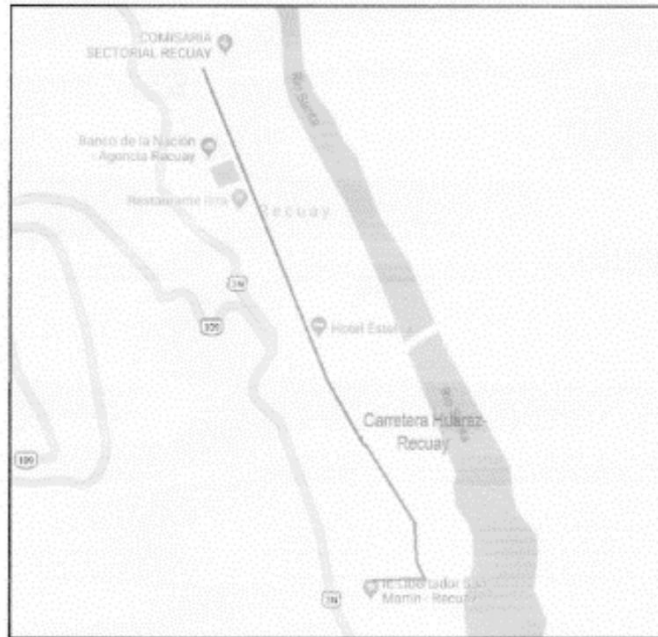
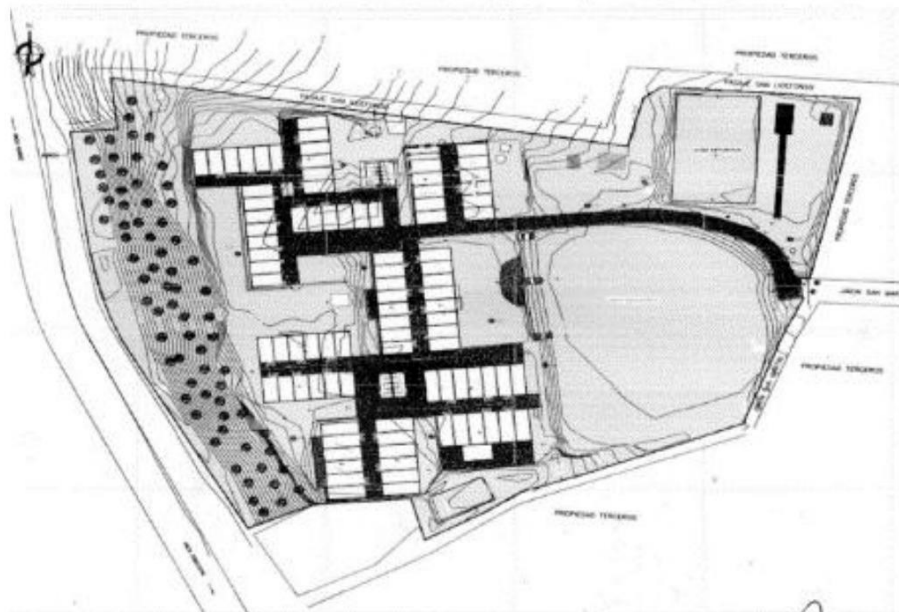


GRAFICO N° 2: Terreno en Recuay para la ejecución del proyecto



CANTERA, GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA E.I.R.L.
RUC: 20802039250

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIF: 79282
TITULAR GERENTE

“EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA “LIBERTADOR SAN MARTÍN”, DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH”

1.3 NORMATIVIDAD

El presente Estudio de Suelos con Fines de Cimentación está en concordancia con la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO:

El Proyecto contempla el mejoramiento de los servicios educativos en la Institución Educativa “Libertador San Martín” en el distrito de Recuay.

2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

El clima de Recuay se clasifica como templado seco en el día y frío en las noches, la temporada de lluvias se da en verano, principalmente en los meses de Enero, Febrero y Marzo. Este clima es considerado Cwb según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual en Recuay se encuentra a 10.4 °C. Hay precipitaciones pluviales alrededor de 722 mm.

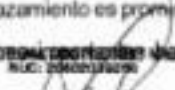
3 GEOLOGÍA Y SISMICIDAD

3.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Geomorfológicamente la ciudad de Recuay se encuentra ubicada en la cuenca superior del río Santa, en la unidad morfoestructural regional denominada “Cordillera Occidental”, en la sub unidad Flanco Oriental de la Cordillera Negra, margen izquierda del Valle del Río Santa. El relieve muestra una pendiente irregular, variando entre los 10° a 40° de inclinación. Este flanco, se encuentra disectado por quebradas que en su origen fueron muy importantes (por que en el pasado geológico también tuvo actividad glaciar) y que ahora no son más que relieves muy modelados, sin indicios de erosión, toda vez que la cobertura de material suelto es poco significativa, permitiendo el afloramiento de la roca base en muchos lugares. Estas quebradas sirven de colectores de las aguas pluviales que caen periódicamente en la temporada de lluvias, con entregas hacia el cauce del río Santa y que pasan por la ciudad a través de alcantarillas o en forma de pequeños colectores superficiales.

BASAMENTO ROCOSO

El basamento rocoso en este flanco está constituido principalmente por Rocas Volcánicas: Representadas, básicamente, por los “Volcánicos Calipuy”, cuyo emplazamiento es prominente, particularmente a lo largo de la Cordillera Negra, con prolongaciones importantes hacia la


LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP: 74282
TDRLAR GERENTI

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

Condillera Blanca. Están constituidas por una secuencia de piroclastos, derrames, brechas y tafos, de espesor variable. Sobreyacen (secuencialmente) a las rocas sedimentarias cretáceas por una fuerte discordancia angular.

MATERIAL DE COBERTURA

El material de cobertura particularmente en la zona de estudio está conformada por relleno no clasificado en la parte superior y exterior, que posiblemente fue emplazado en el proceso de construcción de la actual infraestructura del colegio e infrayacendo encontramos la secuencia natural de deposición de sedimentos que está conformado secuencialmente hacia abajo por material Aluvial (Q-a): Son los materiales sueltos que se encuentran a ambas márgenes del río Santa donde conforman un conjunto de terrazas importantes, particularmente en la zona del colegio corresponde a la terraza superior. Esta deposición de materiales demarca el proceso evolutivo que tienen los ríos, en este caso particular el Santa, que en la profundización de su cauce va dejando materiales lateralmente. También encontramos Material Fluvial (Q-f), que posiblemente corresponde al cauce prehistórico del río Santa o de los riachuelos que bajan como afluentes del río Santa, en todos los estratos también se encuentran trazas de material coluvial que son parte del proceso geomorfológico y climático de la zona, teniendo como proceso principal al gravitatorio producto del relieve empinado de la zona.

Las terrazas donde se ubica Recuay están, lateralmente, en contacto directo con afloramientos de rocas (volcánicas), y que, bajo ellas, estas rocas pueden estar a poca profundidad.

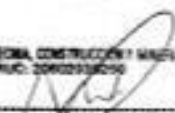
Ver anexos.

3.2 SISMICIDAD

El área de estudio se encuentra comprendida en la zona 3 de la nueva zonificación sísmica del territorio peruano, según el RNC y acorde a la norma técnica de edificación E – 030 Diseño sísmo resistente actualizada.

De lo anterior se concluye que, de acuerdo al área de la zona de estudio, existe la posibilidad de que ocurran sismos de intensidades alta a media.

La ocurrencia del basamento rocoso a poca profundidad en la ciudad de Recuay, permite que el efecto de los sismos no sea tan destructivo, como si ocurrió en la ciudad de Huaraz y Catac, donde el basamento rocoso es profundo.

CARRERA, OFICINA, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO
RUC: 20602936010

LUIS FRANCISCO DÍAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRÍA EN GEOTECNIA
LSP- 76282
TITULAR GERENTE

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTÍN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

3.3 GEODINAMICA EXTERNA

La geodinámica externa de la zona en estudio presenta peligro de huaycos, deslizamientos de escombros o inundaciones en su parte baja.

4 INVESTIGACION DE CAMPO

4.1 EXPLORACIÓN Y ENSAYOS

Con el objeto de determinar las características del subsuelo, se realizó su exploración mediante la ejecución de 10 calicatas dentro del Lote en la modalidad "a cielo abierto" y con maquinaria pesada, las mismas que fueron ubicadas convenientemente y con profundidades suficientes de acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia.

Este sistema de exploración nos permite analizar directamente los diferentes estratos encontrados, así como sus principales características físicas y mecánicas, tales como: granulometría, color, humedad, plasticidad, compacidad, etc.

Las excavaciones alcanzaron las siguientes profundidades:

CUADRO N° 01

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE LAS CALICATAS

CUADRO DE CALICATAS	
CALICATA N°	PROFUNDIDAD (m)
C-01	3.50
C-02	3.00
C-03	3.50
C-04	5.00
C-05	3.00
C-06	3.50
C-07	5.00
C-08	3.50
C-09	5.00
C-10	3.50

CARRERA: INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO
RUC: 20602032000

LUIS FRANCISCO DRAZ PADILLA
ING. CIVIL - MAESTRÍA EN GEOTECNIA
(SP: 7528)
TÍTULO EN GERENTE

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTIN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

GRAFICO N° 3: Ubicación de Calcatas en el terreno del proyecto



4.2 NIVEL FREÁTICO

Tras la realización de todas las excavaciones de las calcatas no se halló nivel freático.

5 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos CANTERA – Geotecnia, Construcción y Minería E.I.R.L., siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM).

(Ver Resultados de los Ensayos de Laboratorio en el Anexo I).

5.1 ENSAYOS ESTÁNDAR

Con las muestras representativas extraídas se realizaron los siguientes ensayos:

- Peso volumétrico de masa (NTP 339.136)
- Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-4 222).

CANTERA GEOTECNIA, CONSTRUCCIÓN Y MINERIA E.I.R.L.
RUC: 2009030000

LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL / MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP: 70902
TITULO DE INGENIERO

7

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTÍN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

- Límite Líquido (ASTM D-4318).
- Límite Plástico (ASTM D4318).
- Contenido de Humedad (ASTM D-2216).

5.2 ENSAYOS ESPECIALES:

Se realizaron los siguientes ensayos:

- Corte Directo (ASTM D-3080)

6 PERFIL ESTRATIGRAFICO:

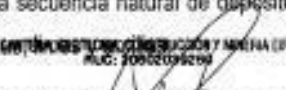
Se han elaborado los perfiles representativos del terreno, utilizando la información tomada de las 10 calcatas ejecutadas (VER ANEXO), en el fondo de cada una de las calcatas predomina el material arenoso, arcilloso y limoso, como indica en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 02: Perfil Estratigráfico del Terreno

CALICATA	Límite Líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice Plástico (%)	Clasificación SUCS	ϕ (°)	C (kPa)	Peso unitario (g/cm ³)	Q _{des} (kg/cm ²)
C-1	28.98	22.37	6.6	SM-SC	29.21	11.98	1.94	3.54
C-2	25.61	19.47	6.14	GC	31.26	11.93	2.14	4.76
C-3	22.14	16.93	5.21	SM-SC	32.29	4.01	1.91	3.98
C-4	23.66	21.35	2.3	SM	30.96	4.96	2.07	3.74
C-5	21.12	N.P.	N.P.	SM	31.30	5.10	1.91	3.65
C-6	25.40	20.25	5.15	SM-SC	30.96	9.94	1.93	4.06
C-7	24.92	N.P.	N.P.	GW	32.00	4.00	2.06	4.11
C-8	21.50	N.P.	N.P.	SM	33.02	5.51	1.7	4.14
C-9	29.24	20.19	9.05	SC	32.98	6.00	1.97	4.72
C-10	23.31	17.29	6.03	SM-SC	30.58	7.30	1.97	3.89

La profundidad explorada promedio fluctuó entre 3.00m. y 5.00m.

La mayoría de calcatas presenta una capa superficial de material de relleno, que fue emplazado posiblemente durante la construcción de la actual infraestructura del Colegio, luego encontramos tierra de cultivo o suelo orgánico seguido de la secuencia natural de depósitos aluviales y fluviales compuestos por mezclas de gravas, arenas, limos y arcillas.


 LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
 ING. CIVIL - MAESTRÍA EN GEOTECNIA
 CIP: 76283
 TITULO AR 6696777

"EMPLEO DEL MÉTODO NO CONVENCIONAL WENNER DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LIBERTADOR SAN MARTÍN", DISTRITO DE RECUAY, PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH"

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al resultado de los Cálculos, Características Físico – Mecánicas de los Suelos, se establecen las siguientes consideraciones finales:

1. Los Trabajos de campo han consistido en la excavación de 10 calicatas ubicadas convenientemente en el área del terreno para así poder contar con la información y resultados correctos. Cabe indicar que el plano de ubicación de calicatas fue otorgado por el solicitante tras un estudio topográfico. De las calicatas se extrajeron muestras alteradas para realizar ensayos Análisis Granulométrico por tamizado, Límites de Consistencia, Humedad natural, Pesos Unitarios, Pesos Específicos, Clasificación de Suelos SUCS y Ensayos de Corte Directo; y muestras inalteradas para la determinación del peso volumétrico del suelo, información que posteriormente se utilizó en el ensayo de corte directo.
2. No se ha encontrado agua subterránea en ninguna de las calicatas.
3. En general la capacidad portante es buena, por lo que no será necesario usar cimentaciones especiales.
4. No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte, relleno sanitario o relleno artificial y estos materiales inadecuados deberán ser removidos en su totalidad, antes de construir la edificación y ser reemplazados con materiales adecuados debidamente compactados.
5. Para evitar situaciones de inestabilidad derivadas principalmente de la condición suelta en que pueden quedar los suelos de apoyo de las zapatas durante el proceso de construcción que altera totalmente sus propiedades naturales, es necesario densificar convenientemente el fondo de la excavación.
6. Se deberá contar con un drenaje apropiado, de tal forma de mantener la humedad a la cual se realizaron los ensayos de este estudio y no variar las condiciones mecánicas del suelo de cimentación.
7. Se recomienda, que en el caso poco probable que durante la construcción se observen suelos con características diferentes a las indicadas en este informe, se notifique de inmediato al Proyectista para efectuar los ajustes necesarios.
8. Se recomienda en el proceso constructivo, tomar las precauciones necesarias para proteger las paredes de las excavaciones de los dos primeros metros y cimentaciones en general, mediante sistemas de bombeo, entibaciones con la finalidad de proteger a los trabajadores y evitar daños a terceros conforme lo indica la Norma E.050.

NOTA:

Las conclusiones y recomendaciones establecidas en el presente informe técnico son solo aplicables para el área estudiada. De ninguna manera se puede aplicar a otros sectores u otros fines.

CENTRA REGIONAL CONSTRUCCIÓN Y MANEJO DEL
RUC/20042009000
LUIS FRANCISCO DIAZ PADILLA
ING. CIVIL MAESTRIA EN GEOTECNIA
CIP. 78022
TITULO AB GERENTE