

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS:**

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA UBICACIÓN DE UN  
POZO TUBULAR PARA MEJORAR EL SERVICIO DE AGUA  
POTABLE EN EL SECTOR DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA,  
PROVINCIA DE SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

- Bach. Ing. HUAMAN MORALES, Miguel Angel Daniel.

**ASESOR:**

MS. LEÓN BOBADILLA, Abner.

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ  
2017**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**CIVIL**

**“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA UBICACIÓN DE POZO  
TUBULAR PARA MEJORAR EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL  
SECTOR DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE SANTA –  
DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
**INGENIERO CIVIL**

Tesista:

*Bach. Ing. Miguel Angel Daniel Huamán  
Morales.*

**Asesorado por:**

---

Ms. Abner León Bobadilla  
Asesor de Tesis



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA UBICACIÓN DE POZO  
TUBULAR PARA MEJORAR EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL  
SECTOR DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE SANTA –  
DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
**INGENIERO CIVIL**

Tesista:

*Bach. Ing. Miguel Angel Daniel Huaman  
Morales.*

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

---

Ms María Díaz Hernández

---

Ms Abner León Bobadilla

---

Ms. Atilio López Carranza

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseamos expresar reconocimiento a las personas que me ayudaron a lo largo de todo este proceso académico.

A la Universidad Nacional del Santa: que me dio la oportunidad de ser parte de ella, por educarme como profesional.

A mi asesor Ing. Abner León Bobadilla, por aportar sus ideas y profesionalismo al desarrollo de esta tesis de graduación.

Miguel Ángel Daniel Huamán Morales



## DEDICATORIA

A MIS PADRES: Lucía Morales y Daniel Huamán por brindarme su amor y apoyo incondicional durante toda esta travesía.

A MI MÁS GRANDE TESORO, por ser la bendición más grande que Dios me ha regalado, Isabella Daniela quien se ha convertido en la razón de mí ser y me impulsa a ser mejor cada día.

Miguel Ángel Daniel Huamán Morales.

# INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4 FORMULACION DE LA HIPOTESIS.....	5
1.4.1 VARIABLES.....	5
1.4.1.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	5
1.4.1.2 VARIABLE DEPENDIENTE .....	5
1.4.2 HIPOTESIS.....	5
1.5 JUSTIFICACION Y LÍMITES DEL TRABAJO .....	6
1.5.1 JUSTIFICACION.....	6
1.5.2 LIMITACIONES DEL TRABAJO .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS:.....	7
2.1.1 ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. ....	7
2.1.1.1 FORMACIÓN DE ACUÍFEROS. ....	21
2.2 PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS.....	28
2.3 GENERALIDADES DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA .....	31
2.3.1 APLICACIÓN DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA A LA INGENIERÍA CIVIL .....	31
2.4 MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	32
2.4.1 MÉTODOS ELÉCTRICOS.....	32
2.4.1.1 CALICATAS ELÉCTRICAS.....	33
2.4.1.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES .....	34
2.4.1.2.1 MÉTODO DIPOLO-DIPOLO.....	36

2.4.1.2.2	MÉTODO WENNER.....	37
2.4.1.2.3	MÉTODO SCHLUMBERGER.....	39
2.4.2	MÉTODO GRAVIMÉTRICO .....	43
2.4.3	MÉTODO MAGNÉTICO .....	44
2.4.4	MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO .....	46
2.4.5	MÉTODOS SÍSMICOS .....	47
2.4.5.1	MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA .....	48
2.4.5.2	MÉTODO DE REFLEXIÓN SÍSMICA.....	51
2.4.6	RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO E HIDROGEOLÓGICO DE LOS MATERIALES DEL SUBSUELO .....	53
2.4.7	VOLUMEN DE TRABAJO.....	55
2.4.8	EQUIPO UTILIZADO .....	56
2.4.9	PROCEDIMIENTO DE CADA SONDEO ELÉCTRECTRICO ...	56
2.4.10	PROCEDIMIENTO DE DATOS.....	58
2.5	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS-GEOMORFOLÓGICAS .....	59
2.5.1	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS .....	59
2.5.2	FORMACIONES GEOLÓGICAS: .....	61
2.5.3	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS:.....	63
2.6	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA EN EL SECTOR SAN LUIS.....	63
2.7	ACUÍFERO .....	69
2.7.1	GEOLOGÍA DEL ACUÍFERO.....	69
2.7.2	PROFUNDIDAD DE LA NAPA.....	70
2.7.3	HIDROGEOQUÍCA.....	70
2.7.4	HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA .....	71
	MARCO NORMATIVO:.....	72
	CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	76
3.1	METODO DE ESTUDIO .....	76



3.1.1 POBLACIÓN.....	76
3.1.2 MUESTRA .....	76
3.2 MATERIALES .....	76
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
4.1 POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEMANDA DE AGUA.....	78
4.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO .....	79
4.3 RESULTADOS GEOFÍSICOS - REPRESENTACIÓN GRÁFICA .....	79
4.2.1 SECCIÓN GEOELÉCTRICA (SECTOR SAN LUIS) .....	80
4.4 RESULTADO ACUÍFERO – POBLACIÓN Y DEMANDA DE AGUA .	84
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
5.1 CONCLUSIONES .....	84
5.2 RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA .....	87
ANEXO.....	88

## INDICE DE TABLAS

Cuadro N° 1: Distribución del agua lluvia en distintos terrenos y sus características.....	20
Cuadro N° 2: Muestra la resistividad de algunos minerales y rocas	30
Cuadro N° 3: Resistividades de las aguas según el medio en que se encuentre.....	30
Cuadro N° 4: Resumen de los métodos de prospección geofísica ...	53
Cuadro N° 5: Resistividades Del Agua Y Rocas.....	55
Cuadro N° 6: Coordenadas UTM De Los SEV .....	55
Cuadro N° 7: Formaciones Geológicas.....	60
Cuadro N° 8: Formaciones Geomorfológicas. ....	63
Cuadro N° 9: Parámetros de Relieve del Cauce Principal.....	65
Cuadro N° 10: Parámetros del Relieve de la Cuenca .....	66
Cuadro N° 11: hidrogeoquímica sector San Luis .....	71
Cuadro N° 12: Tiempo de bombeo y caudal de bombeo.....	78
Cuadro N° 13: Interpretación Cuantitativa de los Sondeos Eléctricos Verticales – SEV sector SAN LUIS.....	79

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Corrientes influentes y corrientes efluentes .....	17
Figura N° 2: Acuífero libre.....	23
Figura N° 3: Acuífero semiconfinado .....	23
Figura N° 4: Acuíferos colgados .....	24
Figura N° 5: Relación entre acuíferos.....	25
Figura N° 6: Acuíferos Acuicludos .....	26
Figura N° 7: Acuífero Acuitardo .....	27
Figura N° 8: Acuífero Acuifugo .....	28
Figura N° 9: Arreglo Calicatas Eléctricas.....	33
Figura N° 10 Arreglo sondeo eléctrico vertical.....	36
Figura N° 11 Arreglo dipolo – dipolo .....	37
Figura N° 12: Arreglo Wenner.....	38
Figura N° 13: Arreglo Schlumberger.....	40
Figura N° 14: Muestra el Esquema de Instalación del Equipo.....	56
Figura N° 15: muestra el diagrama de flujo utilizado para recolectar datos58	
Figura N° 16 Ficha de recolección de datos en campo .....	59
Figura N° 17: Mapa de Ubicación de los Sondeos Electroverticales	80
Figura N° 18: Sección estratigráfica longitudinal .....	82

## RESUMEN

En la presente investigación, se analizó las propiedades químicas – eléctricas de las muestras del terreno para obtener datos como la resistividad y la constante dieléctrica de los estratos que conforman el Sector San Luis, luego realizar los sondeos electromagnéticos verticales obteniendo como resultado en campo y procesarlo en gabinete haciendo uso del software IPI2WIN; obteniendo la formación de estratos geo eléctricos que se utilizaran como puntos de referencia para la ubicación del acuífero, dándose también un análisis para el cálculo del caudal del pozo y compararlo con la necesidad de demanda de agua potable del Centro Poblado de San Luis y así elaborar un Proyecto que pueda cubrir las necesidades de servicio de agua potable

## **ABSTRACT**

In the present investigation, the chemical - electrical properties of the soil samples were analyzed to obtain data such as the resistivity and the dielectric constant of the strata that make up the San Luis Sector, then perform the vertical electromagnetic soundings obtaining as a result in the field and process it in the cabinet using the IPI2WIN software; obtaining the formation of geoelectric strata that will be used as reference points for the location of the aquifer, also giving an analysis for the calculation of the flow of the well and compare it with the need for potable water demand of the San Luis Sector and so to elaborate a Project that can cover the needs of potable water service.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

# CAPÍTULO I



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En muchos lugares de nuestro Perú la falta de agua potable o una fuente superficial de agua potabilizable es determinante para el desarrollo y calidad de vida de un pueblo por lo que se recurre a realizar pozos con el fin de encontrar agua subterránea.

Es bien conocido que en el valle de Santa se construyan perforaciones para pozos tubulares. Siendo ésta una buena alternativa para reemplazar la capacitación de las aguas del río Santa que por el recorrido y la dificultad de captación y tratamiento resulta siendo muy costosa para algunos lugares de la zona.

Pese a esto, actualmente no se utiliza un criterio técnico para ubicar el pozo tubular, por eso el presente estudio presenta un criterio de prospección geofísica en la ubicación de un pozo para verificar la profundidad y composición estratigráfica de los horizontes que componen dicha ubicación.



## 1.1

### ANTECEDENTES

El presente trabajo de investigación se desarrolla ante la necesidad de resolver los problemas que vienen atravesando los usuarios de la sub cuenca del Rio Santa, específicamente en el Sector San Luis quienes no cuentan con el servicio de Agua Potable que satisfagan sus necesidades primarias y mejore su calidad de vida.

El valle de Santa, Centro Poblado de san Luis ha sido estudiado hidrogeológicamente en 1982 por el proyecto Especial CHINECAS. Así mismo la intendencia de recursos hídricos del INRENA desde el año 2002 viene realizando el monitoreo de las aguas subterráneas en el valle del Santa y centro poblado de San Luis, con el objetivo de Determinar el comportamiento de la Napa Freática y fluctuaciones, así como determinar las variaciones de los niveles estáticos y características físicas 1químicas de las fuentes de agua subterránea con respecto a los monitoreos realizados anteriormente.

Para la presente investigación se ha tomado información proporcionada por las municipalidad distrital del santa y por la Administración Técnica del Distrito de Riego Santa, correspondiente al informe final del primer monitoreo de las aguas realizado en el valle del Santa durante el año 2009





## 1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

El Sector de San Luis, Distrito de Santa no cuenta con el servicio de agua potable que satisfaga las necesidades primarias de su población y mejore su calidad de vida. Siendo ésta una situación a superar, surge la idea de realiza un estudio de prospección geofísica para la ubicación de un pozo tubular debido a que es un método más económico por no utilizar gran cantidad de personal y es más eficiente en cuanto a la exploración que se realiza.

La presente investigación está orientada a dar respuesta a la siguiente interrogante:

*¿Qué ventajas proporciona el estudio de prospección geofísica para un pozo tubular en el sector de San Luis, Distrito de Santa, Provincia de Santa – Departamento de Ancash?*



## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1.1 OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Realizar el estudio de prospección geofísica para ubicar el lugar donde perforar un pozo tubular, para mejorar el servicio de agua potable de San Luis, Distrito de Santa, Provincia de Santa – Ancash.

### **1.3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Evaluar las condiciones geo eléctricas geofísicas que conforman el subsuelo en el sector San Luis, distrito de Santa, Provincia de Santa – Ancash.
- ✓ Determinar el espesor y características geo eléctricas de cada uno de los horizontes que conforman el subsuelo en el sector San Luis, Distrito de Santa, Provincia de Santa – Ancash.
- ✓ Determinar la ubicación geográfica del pozo.
- ✓ Determinar la población a beneficiada en el sector San Luis, Distrito de Santa, Provincia de Santa – Ancash.



## **1.4 FORMULACION DE LA HIPOTESIS**

### **1.4.1 VARIABLES**

#### **1.4.1.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Carencia de un Sistema de agua potable en el sector San Luis, Distrito de Santa. Provincia de Santa – Ancash.

#### **1.4.1.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Estudio de Prospección Geofísica:

- Análisis detallado de los estratos geo eléctrico del subsuelo.
- Características geomorfológicas del suelo.
- Características geológicas del subsuelo.
- Características de la cuenca
- Características del acuífero.

### **1.4.2 HIPOTESIS**

“Si se realiza el estudio de prospección geofísica en la ubicación de un pozo tubular, entonces se mejorará el servicio de agua potable”



## 1.5 JUSTIFICACION Y LÍMITES DEL TRABAJO

### 1.5.1 JUSTIFICACION

La presente investigación se enfocara en estudiar los hábitos la características eléctricas de los estratos geológicos del subsuelo del Sector San Luis, obteniendo estos resultados podemos ubicar de manera eficiente la ubicación de un pozo tubular para y poder proyectar la infraestructura adecuada para brindar el servicio de agua potable a la población del Sector de San Luis.

### 1.5.2 LIMITACIONES DEL TRABAJO

La presente investigación está limitada Geográficamente por la ubicación del sector san Luis que sé que está comprendida entre las coordenadas UTM: 761682 N y 9003952 E, 761557 N y 9003794 E.

Administrativamente dependen de la Dirección Regional de Ancash.

Funcionalmente de la Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

## CAPÍTULO II



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta investigación proporcionará de forma clara y concisa conceptos básicos, complementarios y específicos, de procedimientos y teorías.

Este trabajo de investigación busca ayudar con las carencias del Sistema de agua potable, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas son fuentes críticas de agua potable para la población, así como el acceso a esos recursos, por ende el hombre siempre se ha interesado por comprender los fenómenos que ocurren en la tierra, de esta manera se han dedicado al estudio de método de prospección geofísica para obtener información detallada del subsuelo y sus condiciones para la ubicación de pozos tubulares.

### 2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS:

#### 2.1.1 ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

El origen de las aguas subterráneas es uno de los problemas que más han preocupado al hombre desde los tiempos más remotos. La teoría de la infiltración, que supone que todas las aguas subterráneas provienen bien de infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirecta de ríos o lagos, no ha sido aceptada universalmente, sino desde tiempos relativamente reciente. Por un explicable error colectivo, que duró decenas de siglos, los pensadores de la antigüedad aceptaban como axiomático que las precipitaciones atmosféricas no eran suficientes para mantener los grandes caudales subterráneos que emergían espontáneamente o



eran alumbrados por la mano del hombre en algunos puntos de la superficie terrestre. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

No se conservan datos sobre el pensamiento de las civilizaciones orientales antiguas en relación con los orígenes de las aguas subterráneas. Sólo a partir de los antiguos griegos se conocen sus teorías al respecto. Es sorprendente la falta de experimentación que acompaña a las teorías antiguas, algunas de ellas realmente inteligentes e imaginativas, pero que hubieran sido fácilmente abandonadas mediante alguna simple medición o experimentación directa. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

La mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica que cae como precipitación en forma de lluvia o nieve. Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas o escorrentía, el agua se infiltra en el terreno. Al principio ciertas cantidades de agua de precipitación que cae en el suelo seco se retienen fijamente como una película en la superficie y en el micro poros de las partículas del suelo. La mayoría de las rocas contienen un gran número de espacios abiertos llamados intersticios, aberturas o poros, en los cuales el agua puede ser almacenada y a través de los cuales puede moverse. El agua que llena parcialmente los intersticios es llamada agua superficial o vadosa y se encuentra en la zona de aireación. Inmediatamente por debajo de esta y donde los intersticios o aberturas se hallan completamente llenos de agua, está la zona de saturación. El agua contenida en esta zona es llamada agua subterránea.



La verdadera fuente de casi todas las reservas de agua dulce la constituye la precipitación que cae sobre el área terrestre. Parte del agua lluvia se percola por debajo de la zona radicular de las plantas y mediante la influencia de la gravedad continua su movimiento descendente hasta que llega al depósito subterráneo. Prácticamente toda el agua subterránea se origina como agua superficial. La ecuación básica del agua subterránea que permite una aproximación de la disponibilidad de agua subterránea, puede ser establecida considerando todos aquellos factores del ciclo hidrológico que tienen un efecto directo en el flujo y almacenamiento del agua en el acuífero. La ecuación puede ser formulada como sigue:

$$V = \text{RECARGA} - \text{DESCARGA}$$

Donde V es el cambio en el almacenamiento subterráneo durante un determinado periodo. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

El agua subterránea puede circular y almacenarse en el conjunto del estrato geológico: este es el caso de suelos porosos como arenosos, de piedra y aluvión. Puede circular y almacenarse en fisuras o fallas de las rocas compactas que no son en ellas mismas permeables, como la mayoría de rocas volcánicas y metamórficas. El agua corre a través de la roca y circula en fisuras localizadas y dispersas. Las rocas compactas de grandes fisuras o cavernas son típicamente calizas. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)





## **Factores que condicionan la presencia y el movimiento del agua subterránea:**

La presencia y el movimiento del agua subterránea están condicionados por ciertos factores entre los que se cuentan como más importantes.

- a) La precipitación,
- b) La forma del terreno,
- c) La geología,
- d) La presencia o ausencia de vegetación.

**La Precipitación:** Es importante considerar a la precipitación, si se toma en cuenta que la mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de la lluvia. Las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea, por lo que en las zonas secas el agua subterránea no proviene de la infiltración directa, procede de regiones lejanas o cercanas, en donde la lluvia se infiltra y llega lentamente hasta ellas. La precipitación es muy importante en dos aspectos, en su cantidad y en su duración.

**La forma del terreno:** Este aspecto interesa a la hidrología tanto superficial como subterránea, ya que el relieve da lugar a la formación de las cuencas hidrográficas, indicando así el camino que seguirá el agua al caer a la superficie.

Por lo que se refiere a la hidrogeología, la forma del terreno es importante, porque el agua tendrá mayor o menor oportunidad de infiltrarse y, además, porque el agua infiltrada va a seguir una



trayectoria determinada por dicho factor; así, en una región montañosa la pendiente del terreno por una parte, dará más facilidad al agua para escurrir que para infiltrarse y, por otra, el agua que llegue a la zona de saturación tendrá un movimiento hacia las zonas más bajas en donde el movimiento del agua será más lento y facilitará su acumulación, o también, según la constitución del terreno, el agua puede salir en forma de manantiales en las laderas de las montañas. En una zona más o menos plana el agua tendrá mayor oportunidad de infiltrarse y habrá más facilidad de encontrar depósitos mayores de agua subterránea, ya que ahí se tiene tanto el agua infiltrada localmente como la descarga de regiones montañosas vecinas. (Rascón, 2005)

La forma del terreno es fundamental, pues en general las partes altas constituyen zonas potenciales de recarga y las bajas de descarga del flujo de agua subterránea.

Las corrientes fluviales pueden influir en el aumento de agua del subsuelo, especialmente en la época de lluvia. Las zonas de descarga, además de manantiales, pueden estar representadas por cuerpos de agua, humedales, suelos salinos, entre otros.

**La Geología:** El aspecto geológico desempeña un papel muy importante en la hidrogeología, ya que la velocidad de movimiento depende de la estructura y composición litológica de las formaciones, para que el agua pueda transitar por el subsuelo. Las diferentes formaciones poseen ciertas propiedades que son definitivas para poder constituir buenos acuíferos. Estas propiedades



son la porosidad y la permeabilidad (o más estrictamente la conductividad hidráulica). (Rascón, 2005)

Materiales permeables:

- a) Muy permeables: Lavas cavernosas, Gravas, Arenas gruesas.
- b) Permeables: Arenas finas, Conglomerados, Areniscas, Calizas no muy fracturadas.
- c) Poco permeables: Gravas con arcillas, Margas, Calizas margosas.

La presencia o ausencia de Vegetación: Es un factor que en partes topográficamente altas influye en la infiltración y por lo tanto, contribuye a la recarga del agua subterránea. El suelo, hidrogeológicamente hablando está estrechamente ligado con la cubierta vegetal. Las raíces de las plantas y los animales propios del suelo lo horadan haciéndolo más poroso y dándole así oportunidad al agua para pasar a través de él. La vegetación puede facilitar la infiltración aun en los suelos duros y arcillosos. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

En lo que respecta a este factor, es interesante hacer alusión a la existencia de ciertos tipos de plantas que se alimentan de la descarga del agua subterránea, que no pertenecen a un género o familia en especial, sino que su única característica en común es que satisfacen sus necesidades extendiendo sus raíces hasta el manto freático. A este grupo peculiar de plantas se le ha dado el nombre de freatófitas, pueden servir como indicadoras de la presencia de agua subterránea e inclusive de la calidad de la misma. Suelen presentarse en las márgenes de los ríos y son propias de regiones semiáridas, donde el



agua subterránea aflora en forma permanente, no dependiendo de la precipitación directa en el área. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

### ***Movimiento o flujo del agua subterránea.***

Un sistema hidrológico en el que se considera que el agua subterránea fluye en forma horizontal, y en el cual normalmente la información hidrológica se utiliza para describir un sistema estático en un medio geológico considerado equivalente a un medio granular con propiedades (porosidad y permeabilidad), cuyo valor es igual en todas direcciones, rara vez se presenta en el medio natural. (Rascón, 2005)

Un sistema hidrológico subterráneo dinámico es más representativo de la realidad y las investigaciones en este campo toman en cuenta el movimiento vertical del agua subterránea. En acuíferos de gran espesor (1000 m o más), el flujo vertical controla el movimiento del agua subterránea, control que marca un comportamiento particular en las zonas de extracción por pozos, en especial en las zonas de recarga (hacia abajo) y en las de descarga (hacia arriba). (Rascón, 2005)

Si se detiene por un instante el flujo de agua subterránea, se puede estimar la forma de su movimiento en el plano horizontal y en el plano vertical, lo que resultará en la definición de áreas de recarga y áreas de descarga. Existen tres sistemas principales de flujo de agua subterránea que se establecen de acuerdo con la topografía y al marco geológico presente: local, intermedio y regional. Una topografía



abrupta producirá varios sistemas locales, en cada topografía el agua entra y sale en el mismo valle. En algunos casos parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor, esto definirá un sistema intermedio.

Todos estos flujos, en un ambiente natural, mantienen un recorrido separado, al igual que las corrientes marinas o las aguas de dos ríos antes de confluir para formar otra. Las zonas de recarga y descarga están estrictamente controladas por un flujo vertical con una componente de movimiento hacia abajo y hacia arriba, respectivamente. El despreciar estas componentes de flujo vertical del agua subterránea ha generado impactos ambientales serios y algunas veces irreversibles. (Rascón, 2005)

### **INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.**

La infiltración se produce en el terreno por la acción conjunta de dos fuerzas, en donde interactúa la gravedad y la atracción molecular, las que pueden actuar en un mismo sentido o bien en forma opuesta, según las circunstancias. La magnitud de la infiltración y por lo tanto de la alimentación de las aguas subterráneas, se ve influenciada por dos tipos de condiciones; las que indican relación con las precipitaciones, que constituyen la fuente misma de origen del agua, y las que indican relación con las condiciones del terreno, que son las responsables de las mayores o menores facilidades existentes para la infiltración y que determinan finalmente la proporción de las precipitaciones que pueden llegar a constituir una recarga de las aguas subterráneas. En este segundo tipo deben incluirse además las



condiciones geológicas del subsuelo que son las que fijan la existencia y potencia de rellenos permeables, es decir, determinan la capacidad del subsuelo para recibir y regular el agua proveniente de las infiltraciones. De acuerdo con los conocimientos que se tienen del ciclo hidrológico, las precipitaciones que caen sobre la tierra siguen distintos caminos, los que en rasgos muy generales pueden resumirse en: una parte no alcanza a llegar al suelo siendo retenida por el follaje de la vegetación, esta parte que recibe el nombre de intercepción, es devuelta nuevamente a la atmósfera por evaporación. La parte que llega al suelo se mueve a través de la superficie de éste en un proceso designado como infiltración. Si la intensidad de las precipitaciones sobrepasa la capacidad de infiltración del terreno, se produce un movimiento de agua por superficie, conocido con el nombre de escurrimiento superficial, cuyo caudal en cada instante es igual a la diferencia entre la intensidad de la precipitación y la capacidad de infiltración del suelo. (Marelli, 1983)

Del agua infiltrada en el terreno, una parte vuelve por capilaridad a la superficie donde se evapora, o bien es extraída por las raíces de las plantas y utilizada en su proceso de transpiración, del resto del agua infiltrada otra porción queda destinada a completar la capacidad de retención del suelo en la zona no saturada e incluso su capacidad capilar ubicada inmediatamente sobre el nivel de saturación, mientras el saldo continúa su descenso por acción de la gravedad pasando a constituir lo que ya hemos designado como la recarga de las aguas subterráneas.



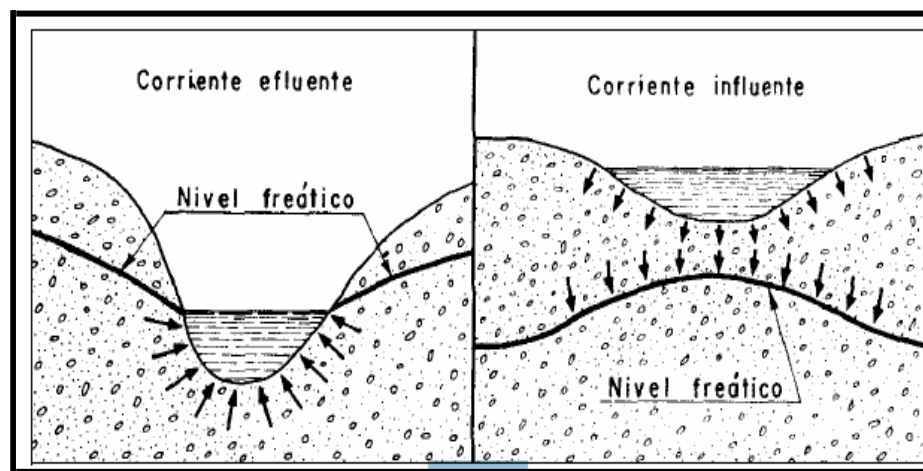
La recarga de la zona de saturación debida a la aportación de las precipitaciones atmosféricas puede descomponerse en tres etapas, que son:

- a) Infiltración del agua desde la superficie al terreno que yace inmediatamente bajo ella
- b) Movimiento descendente del agua a través de la zona de aireación o no saturada.
- c) Entrada del agua en la zona de saturación, donde pasa a formar parte de las propiamente llamadas aguas subterráneas.

Evidentemente, una parte del agua que entra en la zona de aireación vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración vegetal, perdiéndose así su incorporación a la zona de saturación.

***Infiltración de las Corrientes Superficiales:*** Las corrientes se clasifican en general en dos categorías: corrientes influentes y corrientes efluentes (FIGURA N° 1). En las primeras, el nivel de las aguas superficiales está por encima de la superficie freática libre y el agua pasa desde la corriente superficial a la zona de saturación. Por el contrario, una corriente se llama efluente si su nivel está por debajo del nivel freático y por tanto, recibe aportaciones de agua subterránea de los mantos de las laderas. En algunas regiones relativamente lluviosas, casi todas las corrientes de agua de flujo perenne o casi perenne son efluentes. En estas regiones, la recarga tiene lugar en las zonas existentes entre dos ríos o arroyos, de manera que las corrientes sirven como canales de drenaje natural que descargan el exceso de caudal de los almacenes subterráneos

de agua. La recarga tiene lugar principalmente por la penetración vertical de la lluvia y del agua de las nieves en la inmediata vecindad de su punto de precipitación. Sin embargo, cuando la intensidad de precipitación de lluvia o nieve es superior a la velocidad con que puede infiltrarse el agua a través de la superficie del terreno, este exceso de precipitación correrá sobre la superficie en la dirección de su máxima pendiente. (Armada, 2007)



**Figura N° 1:** Corrientes influentes y corrientes efluentes

### **Condiciones determinantes de la recarga:**

Las condiciones que determinan la velocidad y caudal de la recarga de aguas subterráneas pueden ser de dos categorías: aquellas relacionadas con la precipitación, como verdadera fuente de abastecimiento, y aquellas relacionadas con la facilidad de entrada del agua en el terreno, las cuales determinan la proporción de agua de lluvia o nieve que alcanza los depósitos subterráneos.

La precipitación varía grandemente en cantidad de unos sitios a otros y es también notablemente variable con el tiempo en cualquier sitio





determinado. La recarga de agua subterránea varía mucho también de un sitio a otro y de unas épocas a otras, no sólo porque las condiciones de entrada son también variables, sino también porque, incluso con las mismas condiciones de toma, la relación de la recarga a la precipitación varía grandemente con la cantidad y distribución de las precipitaciones y según tengan lugar como lluvia o como nieve.

En general, la proporción de precipitación que puede transformarse en aguas subterráneas aumenta con la precipitación, pero sólo hasta un cierto límite. Si las precipitaciones tienen lugar en forma de lluvias ligeras y dispersas pueden todas ellas ser absorbidas por el terreno. Las lluvias que tienen lugar después de que la falta de humedad del suelo ha sido satisfecha son precisamente las que tienen utilidad en la recarga del almacén de aguas subterráneas.

La cantidad de recarga en cada área determinada depende grandemente de la distribución de la precipitación. Una cantidad dada de precipitación durante la época de crecimiento vegetal producirá la máxima recarga si tiene lugar en un período de lluvia persistente de intensidad tal que se infiltre con la misma rapidez que va cayendo. Si por el contrario, cae distribuida en lluvias intermitentes a lo largo de un período de tiempo considerable, puede ser más beneficiosa para las cosechas, pero de esta agua muy poca o ninguna cantidad puede atravesar el terreno vegetal para llegar a la zona de saturación.



Por otra parte, si la precipitación tiene lugar en forma de aguacero de gran intensidad y corta duración, solamente una pequeña parte puede infiltrarse en el suelo y todavía otra menor puede alcanzar las zonas de saturación, ya que la mayor parte del agua correrá en forma de escorrentía directa hacia corrientes superficiales.

Una característica evidentemente decisiva en la recarga subterránea es la topografía del terreno.

En zonas con grandes pendientes, la escorrentía es máxima y por tanto, las infiltraciones mínimas. Las grandes llanuras de materiales sedimentarios permeables constituyen a este respecto las zonas de infiltración más eficaces.

La extensión de la cuenca receptora tiene también influencia decisiva en la cantidad de agua infiltrada en ella. La recarga aumentará si la cuenca directa de precipitación está aumentada con las aportaciones de corriente superficiales que recogen e infiltran las aguas recogidas en las montañas, en las cuales la intensidad de precipitación suele ser mayor.

La intensidad de la recarga debida a las corrientes superficiales influentes depende grandemente del estado del lecho de las corrientes. Aunque el terreno por el que transcurre un río sea muy permeable, la infiltración puede ser reducida, a causa de que el lecho se haya impermeabilizado por arrastres de limos arcillosos o por deposiciones calizas que cementen los materiales del fondo. Cuando el río está sujeto a crecidas fuertes, éstas suelen lavar los



depósitos impermeables y aumentar la capacidad de infiltración del lecho del río. Los embalses de regulación tienden a anular este efecto beneficioso de lavado, al suprimir las grandes avenidas.

Por otra parte, los embalses son favorables a la infiltración en cuanto decantan el agua de elementos arcillosos finos, de modo que las deposiciones impermeables limosas aguas abajo pueden ser más reducidas. (Armada, 2007)

**Cuadro N° 1:** Distribución del agua lluvia en distintos terrenos y sus características

DISTRIBUCION DE AGUA LLUVIA EN TERRENOS Y SUS CARACTERISTICAS				
	Naturaleza del terreno	Evaporación %	Escorrentía %	Infiltración%
1	Terreno arcilloso horizontal sin intercalaciones de bancos permeables	7 5	2 2	3
2	terreno arcilloso silíceo con algo de caliza horizontal	5 0	5	45
3	El mismo caso 1, pero con pendiente del terreno	5 3	4 5	2
4	El mismo caso 2, pero con pendiente del terreno	4 5	2 0	35
5	Terreno a base de areniscas compactas y poco fisuradas	5 0	2 0	30
6	Terrenos de areniscas deleznable con	3 5	5	60
7	Terrenos calizos horizontales y poco fisurados	6 5	1 5	20
8	Terrenos calizos horizontales, pero muy poco fisurados	4 5	5	50
9	Terrenos dolomíticos trituradas ( gravas miloníticas)	2 0	0	80
10	Terrenos calizos fisurados y en pendiente pronunciada	2 5	5	70



11	Terrenos graníticos y gnéisicos, no descompuestos en superficie	6 0	3 0	10
12	Terrenos graníticos no descompuestos en superficie, pero sin zona semidescompuesta	5 0	1 5	35
13	Terrenos graníticos, descompuestos en superficie y con zona inferior semidescompuesta	2 0	5	75
14	Terrenos pizarrosos no descompuestos	5 0	2 5	25
15	Terrenos pizarrosos, descompuestos o con predominio de pizarras arcillosas	5 0	4 0	10

#### 2.1.1.1 FORMACIÓN DE ACUÍFEROS.

Un acuífero es una formación geológica subterránea compuesta de grava, arena o piedra porosa, capaz de almacenar y rendir agua. Las condiciones geológicas e hidrológicas determinan su tipo y funcionamiento. Por ejemplo, se espera que mientras mayor sea la porosidad de las rocas (variante entre 5 y 20 por ciento), según el tipo de roca, más agua produzca el acuífero.

El agua subterránea se encuentra en forma de un solo cuerpo continuo o también en estratos separados. Puede encontrarse tanto en materiales rocosos Consolidados (roca dura) como en materiales sueltos no consolidados (roca suave).

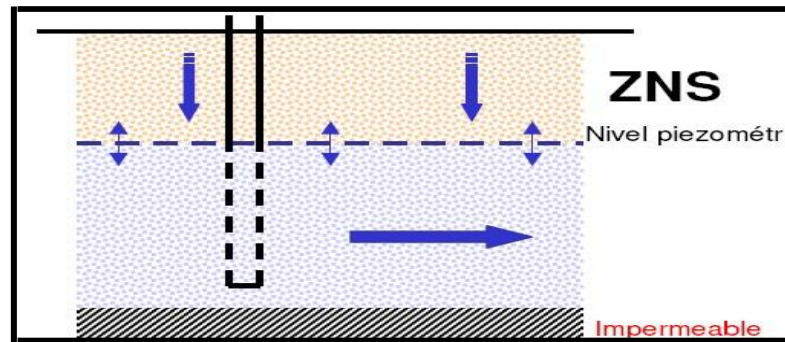
Cualquier tipo de esta, dura o suave, puede constituir un acuífero si es suficientemente poroso y permeable. Las



rocas sedimentarias aunque constituyen un 5% de la corteza terrestre, contienen alrededor del 95 % del agua subterránea. Se hallan ampliamente distribuidas y son poseedoras de excelentes propiedades acuíferas, mientras que las rocas ígneas y metamórficas poseen propiedades que limitan la formación de acuíferos de primer orden. De acuerdo con el grado de confinamiento de las aguas que contienen, los acuíferos pueden clasificarse en cuatro tipos:

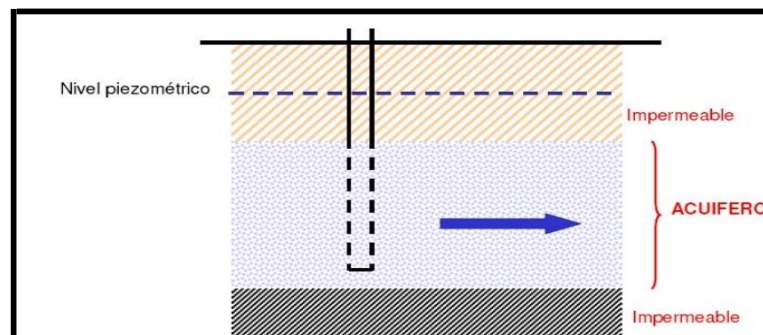
**Acuíferos libres.** También llamados no confinados o freáticos (Figura N° 2). Son formaciones geológicas en las cuales el agua satura los poros se encuentra descansando sobre un estrato impermeable y la superficie superior constituye el nivel freático; o bien puede descansar sobre un estrato semipermeable, con percolación vertical a un manto más profundo. El agua contenida en los poros en la superficie superior del acuífero se encuentra sometida a presión atmosférica, tal como si estuviera contenida en un recipiente abierto.

En cualquier nivel dentro de un acuífero libre, la presión hidrostática es equivalente a la profundidad desde la superficie libre hasta el punto en cuestión, y puede expresarse en metros de agua. El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas.



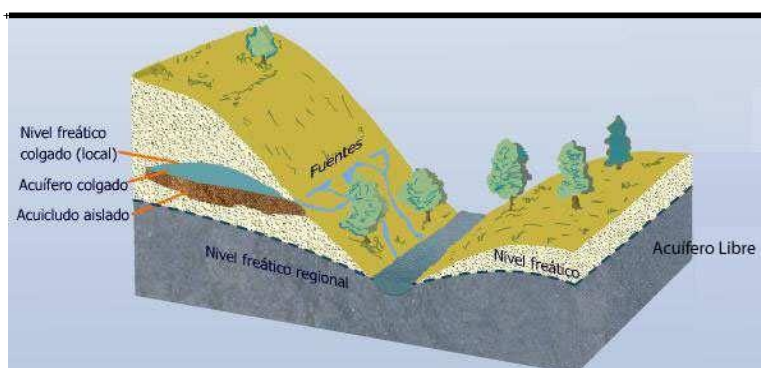
**Figura N° 2:** Acuífero libre

**Acuíferos confinados:** Son formaciones geológicas en las cuales el agua que satura los poros se encuentra sometida a una presión hidrostática superior a la presión atmosférica, por lo tanto al perforarles el agua fluye hacia afuera del mismo. En este caso el acuífero yace entre estratos impermeables situados por encima y debajo del acuífero (Figura N° 3), o sea se halla confinado y no existe zona no saturada. En muchos casos, las formaciones que confinan a un acuífero de este tipo poseen alguna permeabilidad de manera que cuando el nivel piezométrico cae por debajo del acuitardo, ocurre recarga por percolación vertical desde los acuíferos superiores.

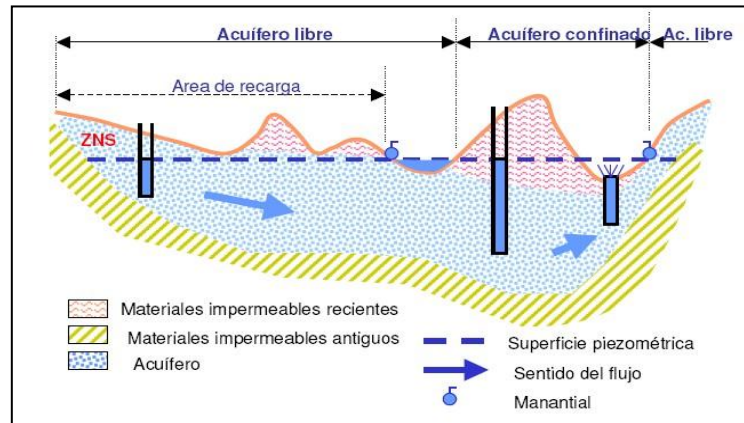


**Figura N° 3:** Acuífero semiconfinado

**Acuíferos colgados:** Se producen ocasionalmente cuando, por efecto de una fuerte recarga, asciende el nivel freático quedando retenida una porción de agua por un nivel inferior impermeable. Algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar un lentejón, que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima. Los acuíferos colgados son más comunes de lo que se pueda suponer, aunque quizá sólo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se alimenten después de una recarga muy excepcional. No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada (Figura N° 4)



**Figura N° 4:** Acuíferos colgados



**Figura N° 5:** Relación entre acuíferos.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS ACUÍFEROS.**

Los acuíferos son las formaciones de mayor interés bajo el punto de vista de la circulación subterránea de las aguas y desde luego, bajo la perspectiva del aprovechamiento humano. La importancia de las otras formaciones es diferente: por ejemplo un acuitardo puede suministrar, aunque sea muy lentamente, considerables volúmenes de agua a lo largo del tiempo a un acuífero infrayacente si la disposición de ambos lo permite, mientras que los acuicludos y acuífugos al obstaculizar o impedir el movimiento del agua a su través, son las formaciones que propician que las aguas se almacenen en el subsuelo y, con frecuencia, determinan la dirección en la que mueven. (Leboeuf, 2002)

Los materiales geológicos del subsuelo tienen muy distinta capacidad para almacenar y transmitir el agua



(Baena, 2005). En función de esta capacidad, una formación geológica puede ser clasificada como:

**Acuicludos:** Son formaciones que contienen agua en su interior pero que no la pueden transmitir. Esto sucede por ejemplo en las arcillas, que aunque pueden llegar a contener grandes cantidades de agua porque son materiales sumamente porosos (hasta un 50%), no la transmiten dado el pequeño tamaño de sus poros (Figura N° 6)



**Figura N° 6:** Acuíferos Acuicludos

**Acuitardos:** Son formaciones que también pueden almacenar agua, pero que la transmiten con lentitud. Como el agua fluye lentamente hacia los pozos, estos tardarán mucho tiempo en recuperar de nuevo su nivel después de una extracción. Por esto el caudal que se podría extraer es considerablemente menor que en el caso de un acuífero, de manera que resulta poco rentable para el abastecimiento humano, aunque podrían ser

suficientes para abastecimiento a pequeñas comunidades. Un ejemplo de este tipo serían los materiales detríticos mal clasificados, como una mezcla de arenas y arcillas (Figura N°7)



**Figura N° 7:** Acuífero Acuitardo

**Acuifugos:** Los Acuifugos (Figura N° 8), son aquellas formaciones geológicas absolutamente impermeable que no pueden almacenar agua, ni transmitirla, como ocurre por ejemplo en un macizo granítico no alterado, o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación. Los materiales que rodean el acuífero son desde semi impermeables a Semipermeables.



Figura N° 8: Acuífero Acuífugo

## 2.2 PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS ROCAS

Las propiedades eléctricas de las rocas más importantes para la investigación de agua subterránea son tres.

- a) Constante dieléctrica
- b) Actividad electroquímica
- c) Resistividad

**ACTIVIDAD ELÉCTROQUÍMICA.** Es la propiedad de las rocas de polarizarse al pasar por ellas la corriente eléctrica. Depende de la composición química de la roca y de la composición y concentración de los electrolitos disueltos en el agua subterránea, que está en contacto con las rocas. La actividad electroquímica determina la magnitud y el signo del voltaje desarrollado cuando la roca está en equilibrio con el electrolito. (Liajov, 1980)

**CONSTANTE DIELECTRICA.** El nombre proviene de los materiales dieléctricos, que son materiales aislantes o muy poco conductores por debajo de una cierta tensión eléctrica llamada tensión de rotura. El



efecto de la constante dieléctrica se manifiesta en la capacidad total de un condensador eléctrico o capacitor. (Liajov, 1980)

**RESISTIVIDAD.** La resistividad eléctrica de cualquier material se define como la resistencia, en menor o mayor grado al paso de la corriente eléctrica, por unidad de área y de longitud con una intensidad conocida. Se designa por la letra griega rho minúscula ( $\rho$ ), en unidades de ohmios por metro, ( $\Omega \cdot m$ ). Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de la corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor. (Fowler, 1994)

Una roca homogénea, independiente de su litología, responde eléctricamente como un material aislante (resistividades del orden de  $10^7$  [ $\Omega \cdot m$ ]), excepto en el caso de metales (resistividades del orden de  $10^{-7}$  [ $\Omega \cdot m$ ]). Esta habilidad de las rocas de poder conducir corriente está directamente ligada a factores intrínsecos del material (porosidad, permeabilidad), y factores externos (sistemas hídricos de recarga, zonas de entrapamiento). (Fowler, 1994)

Los factores, que determinan la resistividad eléctrica de una roca, son los siguientes:

- Conductividad de los granos minerales
- Porosidad
- Composición química del agua, que llena los espacios porosos de la roca, como su salinidad por ejemplo.



- % saturación (S)
- Temperatura
- Presión

## RESISTIVIDAD DE MINERALES Y ROCA

**Cuadro N° 2:** Muestra la resistividad de algunos minerales y rocas

<b>MINERALES Y ROCAS</b>	<b>RESISTIVIDAD (<math>\Omega</math>.m)</b>
Ígneas	2 a 4.8
Metamórficas	2 a 4
Areniscas	2.5 a 4
Calizas	2.5 a 4
Gravas	2.3 a 4
Arenas	2 a 3
Margas	0 a 1.7
Limos	1 a 2
Arcillas	0 a 1

**Cuadro N° 3:** Resistividades de las aguas según el medio en que se encuentre

<b>TIPO DE AGUA</b>	<b>RESISTIVIDAD (<math>\Omega</math>.m)</b>
Agua de lagos y arroyos de alta montaña	$10^3$ a $3 \times 10^3$
Aguas dulces superficiales	10 a $10^3$
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 20
Aguas de lagos de montañas	0,1 a 1
Aguas marinas	0,03 a 10



## 2.3 GENERALIDADES DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

### 2.3.1 APLICACIÓN DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA A LA INGENIERÍA CIVIL

La aplicación de la geofísica a la ingeniería civil está tomando cada día más importancia ya que son técnicas no destructivas y económicas de las cuales los ingenieros podemos valernos para la investigación de las características del suelo donde la estructura estará cimentada, los métodos geofísicos permiten determinar la profundidad a la que se encuentra el estrato de roca dura, adecuada que sirve como cimiento a obras firmes para fundaciones, embalses, túneles, carreteras, puentes, edificaciones. También permite definir zonas de alta peligrosidad (Zona sísmica). De igual manera para conocer las condiciones actuales a que se encuentra una obra civil, la geofísica proporciona métodos como el Georadar que brindan una buena resolución sobre el estado de la estructura, la presencia de huecos, fisuras, la localización de la armadura, el espesor, la presencia de humedad entre otros. (Rascón, 2005)

#### **Aplicaciones:**

- Determinación del espesor de recubrimiento y del basamento.
- Localización de huecos.
- Estado de las estructuras antrópicas (hormigones, pavimentos, inspección técnica de edificaciones)
- Estudios anteriores y posteriores a la construcción de túneles.



- Detección y evaluación de fracturas.
- Determinación de resistividades para tomas de tierra.
- Análisis de estabilidad de taludes.
- Reconocimiento de macizos rocosos.
- Localización de objetos féreos (depósitos, canalizaciones, servicios).
- Medida de propiedades físicas de muestras de terreno.
- Determinación del nivel freático de una zona determinada

## 2.4 MÉTODOS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

### 2.4.1 MÉTODOS ELÉCTRICOS

Los métodos eléctricos es una de las aplicaciones más importantes dentro de la prospección geofísica, por lo que se explicará cada uno de los arreglos que componen los métodos eléctricos.

Para lograr desarrollar esta metodología se utilizan cuatro electrodos, 2 de corriente (A y B), 2 de potencial (M y N) y la unidad resistiva (Trasmisor de corriente, receptor) al centro del arreglo. (Liajov, 1980)

Los métodos eléctricos de corriente continua se dividen en:

Calicatas eléctricas

Sondeos Eléctricos Verticales

- Arreglo Dipolo – Dipolo
- Arreglo Wenner
- Arreglo Schlumberger

### 2.4.1.1 CALICATAS ELÉCTRICAS

Las calicatas eléctricas son una aplicación más de los métodos eléctricos, para la realización de este arreglo se necesitan 2 electrodos de corriente (A y B), 2 de potencial (M y N) y la unidad resistivímetro al centro de la medición, que se encarga de enviar corriente y obtención de datos de potencial.

La finalidad de las calicatas eléctricas es el estudio de las variaciones laterales en la resistividad del subsuelo. Este método consiste en una investigación horizontal a profundidad aproximadamente constante. (Liajov, 1980)

Experimentalmente las calicatas eléctricas consisten en trasladar la misma vez los electrodos de corriente y potencial, manteniendo la separación entre ellos de manera constante, obteniéndose así un perfil de resistividades aparentes a lo largo del área seleccionada. (Liajov, 1980)

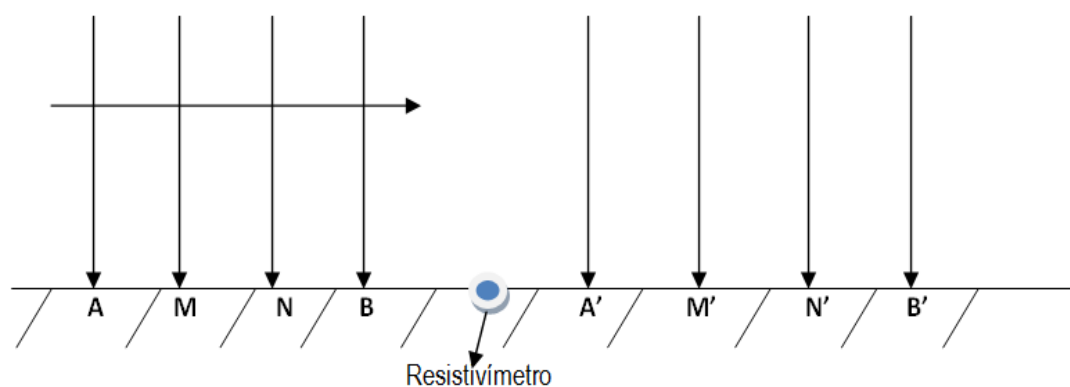


Figura N° 9: Arreglo Calicatas Eléctricas





### 2.4.1.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Dentro de los Métodos de Prospección Geofísica en general, los Sondeos Eléctricos Verticales son una herramienta de gran importancia en la investigación o exploración de acuíferos subterráneos, que es nuestro caso; sin embargo también se extiende al estudio de posibles plumas de contaminación en un área determinada, exploración para la búsqueda objetos arqueológicos, exploración de yacimientos geotérmicos, etc. (Márquez, 1991)

Los Sondeos Eléctricos Verticales nos permiten suministrar una información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo y se puede determinar aproximadamente la distribución vertical de su resistividad, por lo que la finalidad de esta metodología es la determinación de las capas del subsuelo y las resistividades o conductividades eléctricas de la misma, esto mediante mediciones realizadas en el lugar de estudio. (Liajov, 1980)

En términos generales los SEV son una serie de determinaciones de resistividad aparente y que son efectuadas mediante un mismo dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción de



corriente. Ya propiamente en el levantamiento se puede observar un arreglo en el cual incluyen 4 pares de electrodos, dos son utilizados para energizar o inyectar corriente al subsuelo y los otros dos para medir la diferencia de potencial, al centro se ubica la unidad resistiva que nos sirve como el centro de control para la inyección de la corriente y recepción de los datos del levantamiento geofísico. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

El producto final o lo que se busca obtener de un levantamiento utilizando el método SEV es el valor de resistividad aparente del sitio de exploración en función de la profundidad; la razón por la cual se denomina resistividad aparente es porque al realizar o aplicar un levantamiento utilizando SEV, la resistividad del subsuelo no es homogénea debido a que en este se puede encontrar, no solo un tipo de material, sino varios, y esto dependerá de la geología y profundidad. (Liajov, 1980)

Matemáticamente podemos definir a la resistividad aparente como

$$\rho = (V / I) K$$

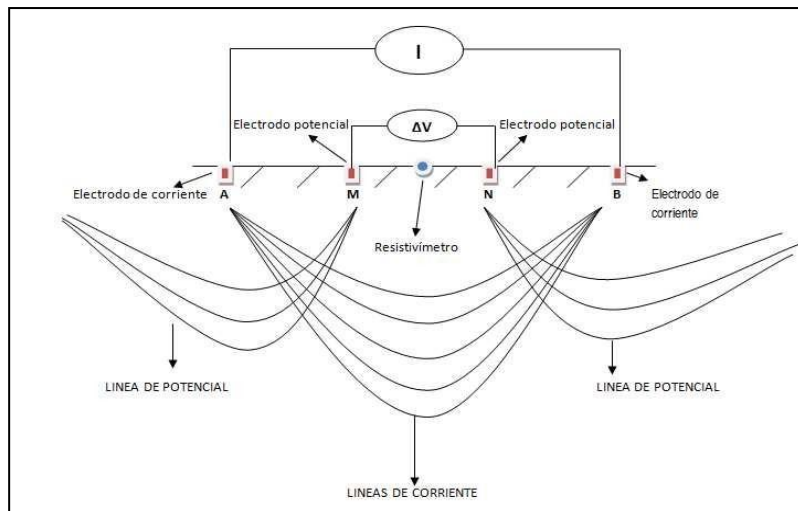
Donde:

$\Delta V$  = Diferencia de potencial obtenida de campo

I = Corriente aplicada al subsuelo

$K$  = Coeficiente geométrico del dispositivo

La constante  $K$  depende del arreglo a utilizar, por lo que esta variable está asociada a la distancia entre los electrodos a utilizar en el levantamiento.



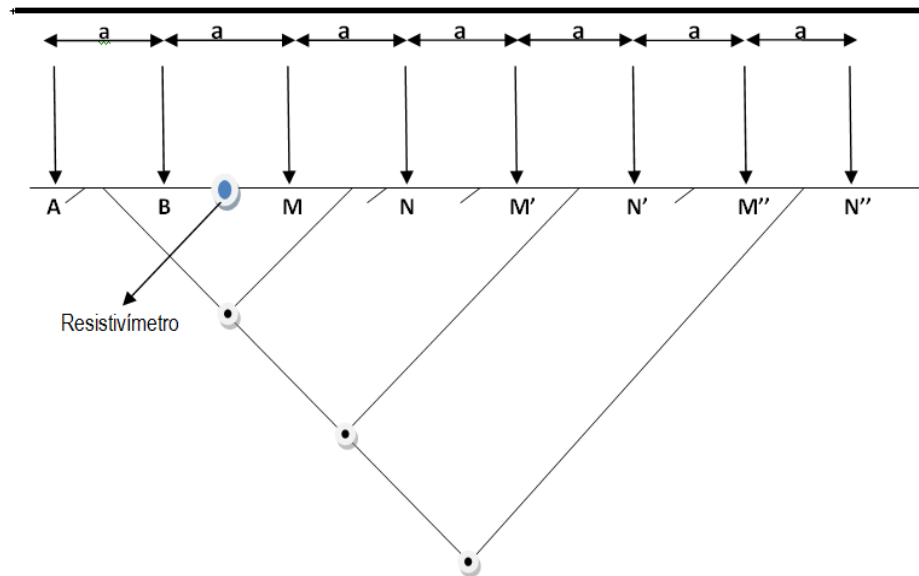
**Figura N° 10** Arreglo sondeo eléctrico vertical

#### 2.4.1.2.1 MÉTODO DIPOLO-DIPOLO

El sondeo Dipolo – Dipolo es una variante más que ofrecen los métodos de resistividad geo eléctrica, el cual consiste en emplear los mismos componentes mencionados anteriormente, como por ejemplo dos electrodos de corriente, dos electrodos de potencial y la unidad resistiva. (Liajov, 1980)

Este tipo de arreglo consiste en ubicar los electrodos de corriente (A y B) separados de los electrodos de potencial (M y N), por lo tanto la distancia entre A y B se mantiene constante al igual que entre M y N; la distancia que va

aumentando la llamaremos “a” y es la que va separando de una manera gradual los electrodos de corriente de los electrodos de potencial.



**Figura N° 11** Arreglo dipolo – dipolo

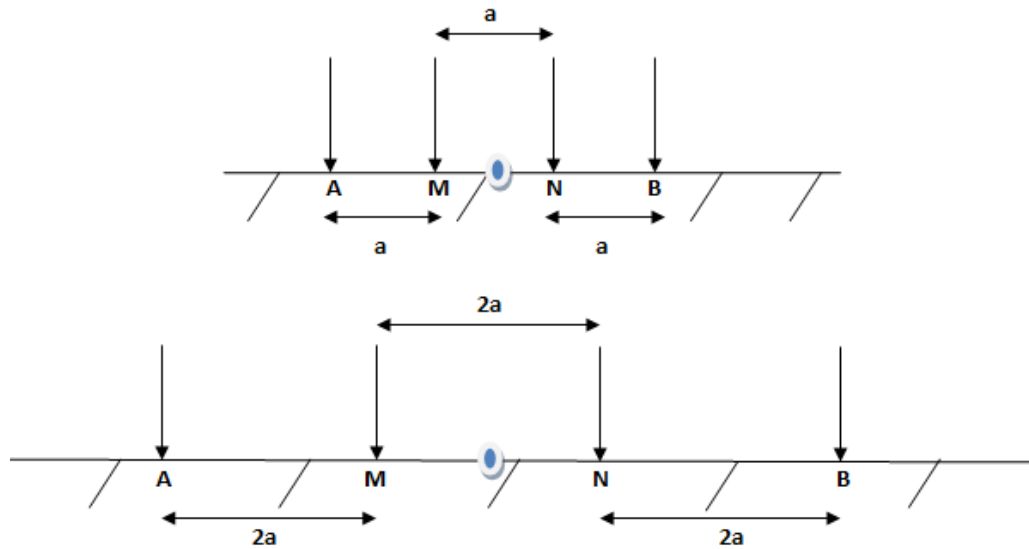
#### 2.4.1.2.2 MÉTODO WENNER

El arreglo Wenner consiste en la misma aplicación y principios de los SEV, pero la variante en esta metodología es el tipo de separación que existe entre sus electrodos AB, BM y MN ya que esta distancia varia por un  $fa$  (Juan Eduardo Gonzalez, 2013)ctor al que denominaremos “a” manteniéndola constante durante toda la medición. (Márquez, 1991)

La constante geométrica al utilizar el arreglo Wenner se calcula de la siguiente forma:

$$K = 2\pi an$$

$a$  = Separación entre los electrodos AB, BM y MN.



**Figura N° 12:** Arreglo Wenner

En la figura 2.12 podemos observar como la distancia “a” se va manteniendo constante entre los electrodos AM, MN y NB por cada medición.

Como en todo arreglo utilizando los SEV, siempre se tendrán que hacer uso de cuatro electrodos, dos de potencial y dos de corriente, dos pares de cables, agua con sal y la unidad resistiva para la inyección de la corriente y la recepción de los datos de resistividad aparente del sitio de exploración.

Una desventaja que posee el método Wenner es que a la hora de realizar el levantamiento, todos los electrodos tienen que modificarse por cada medida, por lo que se necesitará un mayor tiempo desarrollar este método.



### 2.4.1.2.3 MÉTODO SCHLUMBERGER

El método geofísico empleado para la obtención de la resistividad de los materiales del subsuelo es el eléctrico, en su modalidad de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), con arreglo Schlumberger, para lo cual se utilizan 4 electrodos de acero inoxidable, 2 electrodos de corriente A y B, que son los que transmiten la corriente eléctrica al terreno y el otro par son los electrodos denominados de potencial M y N, los cuales detectan la diferencia de potencial que surge al transmitirse la corriente eléctrica, y conectados al aparato, se procesan los datos presentando los valores de resistividad aparente, los cuales a su vez multiplicados por una constante de proporcionalidad de acuerdo al arreglo y espaciamiento utilizado, se grafican en papel doble logarítmico obteniendo una curva de resistividad en función de la profundidad de exploración. (Germán Moreno, 2007)

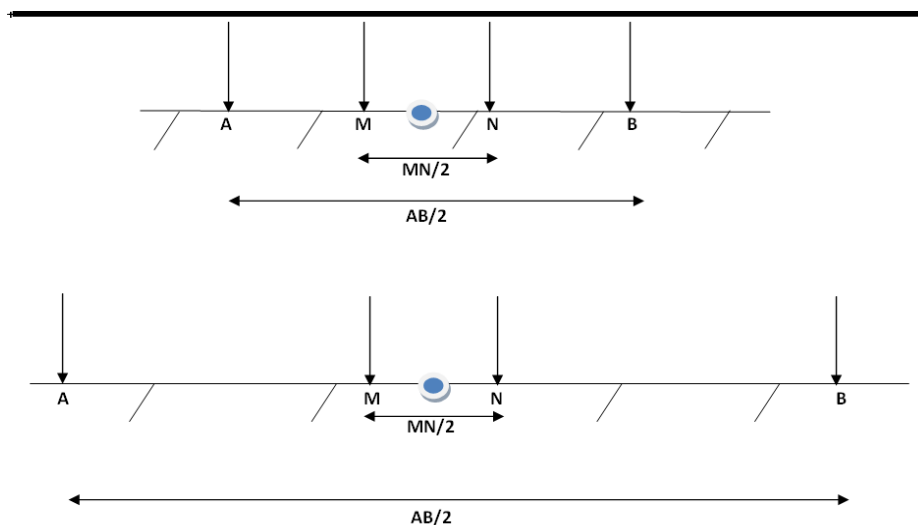
Una vez obtenida esta gráfica, se procesaron en nuestro caso los datos en la computadora utilizando el programa denominado "DCINV", en el cual hace una serie de iteraciones para estimar el modelo de capas iniciales, el cual se ajusta a la curva establecida para llegar a un modelo de capas final, por el método de inversión. (Juan Eduardo Gonzalez, 2013)

Al obtener este modelo de capas para cada SEV, se realiza una correlación entre éstos para construir las secciones geo

eléctricas, mismas que nos darán un panorama general de la estratigrafía del subsuelo.

Este arreglo no es aplicable en terrenos con excesiva pendiente, ni en terrenos cercanos a torres o plantas de energía eléctrica, ya que los datos obtenidos pueden llegar a tener un gran margen de error sobre el área de estudio.

La mayor ventaja que presenta este método es que al inyectar la corriente al subsuelo, se tiene mayor información de las variaciones verticales de las capas subterráneas en cuanto a las resistividades aparentes que se nos puedan presentar.



**Figura N° 13:** Arreglo Schlumberger

En la figura 2.12 podemos observar cómo se incrementa la distancia “ $AB/2$ ” entre A y B (electrodos de corriente), ya que al tener mayor distancia para inyectar corriente nos podemos introducir más en las capas del



subsuelo proporcionándonos así mayor información acerca de las características litológicas de la zona. Por otro lado se hace una comprobación de los datos que se van obteniendo, esto mediante un empalme que se realiza a cierta distancia de la medición. Este empalme consiste en aumentar la distancia entre MN/2, éste dato obtenido tiene que ser relativamente parecido al de la medición anterior en la que no se aplicó el empalme. (Juan Eduardo Gonzalez, 2013)

Un sondeo eléctrico vertical-SEV, consiste en introducir corriente continua a y al terreno mediante un par de electrodos llamadas de emisión o de corriente A y B, cuya respuesta o sea la diferencia de potencial producido por el campo eléctrico se mide en otro par de electrodos denominados de recepción o de potencial M y N.

Es posible calcular la resistividad del medio según:

$$\rho_a = k \cdot \Delta V / I$$

Donde:

$\rho_a$ = resistividad del medio, en ohm-m

$\Delta V$ = diferencia de potencial, en mV, medida en los electrodos M y N.

I=intensidad de corriente en mA, medida en los electrodos A y B.





$K$ = constante geométrica que depende de la distribución de los electrodos, m.

En los sondeos con configuración electródica Schlumberger, que es el que se utilizó en la presente trabajo, los electrodos están alineados y conservan simetría con respecto al punto central o punto SEV, debiendo cumplirse que  $MN$  sea menor que  $1/2 AB$ .

Al aumentar la distancia entre los electrodos de emisión de corriente, aumenta su profundidad de penetración y también va cambiando las resistividades aparentes.

Estos valores son ploteados inicialmente en papel bilogarítmico obteniéndose como resultado una curva, a partir de la cual, mediante diversas técnicas, es posible determinar las resistividades verdaderas y los espesores que las diferentes capas bajo el punto de investigación. De esta manera, se llega a conocer el corte geoelectrico del subsuelo.

En el SEV con configuración Schlumberger, los electrodos  $M$  y  $N$  permanecen fijos mientras  $A$  y  $B$  se aleja, hasta que el valor de la diferencia potencial ( $\Delta V$ ) sea tan pequeño que obligue a aumentar el  $MN$ .

Estos saltos se corrigen para la interpretación, así como también, a veces hay necesidades de suavizar la curva de resistividades aparentes obtenidas en campo.



El método ha sido ideado para estructuras constituidas por capas homogéneas paralelas con extensión lateral muy grande, lo cual no se cumple en la realidad, presentándose adelgazamientos o desapariciones de las capas, así como también se presenta variaciones laterales de resistividad.

Por ello y debido a otras limitaciones del método los resultados obtenidos presentan un margen de error que podría llegar normalmente más menos  $+ - 10\%$  del valor determinado en la interpretación.

Si la estructura es compleja este error aumenta y podría ser tan grande que se aleja mucho de lo real. Por ello, es necesario que los resultados obtenidos sean correlacionados con las investigaciones geológicas y datos de perforaciones establecer con mayor precisión la estructura del subsuelo en el área de estudio.

#### **2.4.2 MÉTODO GRAVIMÉTRICO**

El método gravimétrico de prospección se basa en la medida en superficie de las pequeñas variaciones o anomalías de la componente vertical del campo de la gravedad terrestre. Con éstas se puede llegar a interpretar la situación de las masas en el subsuelo, ya que son causadas por una distribución irregular en profundidad de masas de diferentes densidades, por lo que conociendo aquéllas se puede llegar a una interpretación más o menos probable de la situación de las masas en el subsuelo,



dependiendo del conocimiento geológico y de la distribución de densidades en profundidad. (Douglas A. Skoog, 2001)

Básicamente, el método por gravedad mide las variaciones laterales de la atracción gravitatoria del suelo que están asociadas a cambios de densidad próximos del subsuelo.

### **Instrumentos de Medición de Gravedad**

En los métodos de gravimetría se han utilizado tres tipos de instrumentos: La balanza de torsión, el péndulo y el gravímetro. El primero de estos, ideado en un principio con fines geodésicos hacia comienzos del siglo pasado, el péndulo tuvo un uso limitado para la exploración petrolífera, luego el gravímetro que desplazó a ambos, viene siendo utilizado casi desde entonces. (Douglas A. Skoog, 2001)

El gravímetro es un instrumento que mide directamente pequeñas (Armada, 2007) variaciones en la componente vertical de la gravedad. Este instrumento puede determinar diferencias de 0.1 miligales y aun menores.

### **2.4.3 MÉTODO MAGNÉTICO**

El método magnético es el método geofísico de prospección más antiguo aplicable en la prospección petrolífera, en las exploraciones mineras y de artefactos arqueológicos. (Armada, 2007)

En la prospección petrolífera el método magnético entrega informaciones acerca de la profundidad de las rocas



pertenecientes al basamento. A partir de estos conocimientos se puede localizar y definir la extensión de las cuencas sedimentarias ubicadas encima del basamento, que posiblemente contienen reservas de petróleo. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

En las exploraciones mineras se aplica el método magnético en la búsqueda directa de minerales magnéticos y en la búsqueda de minerales no magnéticos asociados con los minerales, que ejercen un efecto magnético mensurable en la superficie terrestre.

Además el método magnético se puede emplear en la búsqueda de agua subterránea. Por medio de estudios aeromagnéticos se puede también localizar zonas de fallas, de cizallamiento y de fracturas, que pueden albergar una variedad grande de minerales y dirigir a una mineralización.

El conocimiento de sistemas de fracturas y de acuíferos en rocas solidificadas cubiertas por una capa de depósitos aluviales puede facilitar la búsqueda y explotación de agua subterránea.

Hoy día en la prospección petrolífera se emplean magnetómetros instalados en aviones y en barcos. En los estudios de reconocimiento de depósitos minerales se emplean magnetómetros aeroportados.

### **Finalidad del Método Magnético**

Las anomalías magnéticas detectadas a través de estudios magnéticos en terreno se explican con variaciones en las

propiedades físicas de las rocas como la susceptibilidad magnética y/o la magnetización remanente de las rocas. Estas propiedades físicas solo existen a temperaturas debajo de la temperatura de Curie. En consecuencia los generadores de las anomalías magnéticas podemos hallar hasta una profundidad máxima de 30 a 40 km. (Douglas A. Skoog, 2001)

#### **2.4.4 MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO**

Los métodos electromagnéticos conocidos con la designación EM, utilizados en geofísica de exploración tienen como objetivo principal medir las variaciones de conductividad eléctrica aparente de la tierra en función de la profundidad y se fundamentan en el hecho de que un campo electromagnético producido por una antena o bobina por la que pasa una corriente alterna, se propaga a través del subsuelo, induciendo otras corrientes que se halle en su recorrido, cuando esto ocurre una fuerza electromotriz o un voltaje se genera dentro del conductor, según la Ley de Faraday. Las corrientes inducidas ocurren en las capas superficiales y las magnitudes y distribución están en función de la frecuencia del transmisor, energía, geometría y de las propiedades eléctricas del subsuelo o conductor. Por otra parte, Los EM constituyen el grupo de mayor diversidad tanto en metodologías como en instrumentos para llevar a cabo la toma de datos, resultando ser herramientas eficaces a la hora de abordar una gran variedad de problemas tales como: estudio de aguas



subterráneas, cartografía de la intrusión marina, detección de vertidos de contaminantes, localización de cavidades o fallas geológicas, exploración minera, investigación de recursos geotérmicos, etc. Siempre que éstos presenten cambios anómalos en conductividad eléctrica. (Cheng, 1993)

La versatilidad y gran resolución en la toma de datos, aspecto que permite el reconocer extensas áreas de terreno en un corto espacio de tiempo, son las dos principales virtudes de los métodos electromagnéticos en general. Además la no necesidad de contacto eléctrico con la superficie del terreno (no precisan electrodos), permiten incluso el realizar estudios tanto en barco como en avión.

Los métodos electromagnéticos proporcionan una gran variedad de técnicas para la investigación de aguas subterránea en el subsuelo, pero son los de campo próximo y artificial los de mayor importancia, dado que en éstos es el operador el que controla el dispositivo transmisor que genera el campo electromagnético primario, por tanto el hecho de poder definir las características de la onda primaria, nos permitirá controlar un parámetro tan importante como es la profundidad de investigación. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

#### **2.4.5 MÉTODOS SÍSMICOS**

Los métodos sísmicos representan una herramienta indispensable en la prospección geofísica. Esto debido a que



mediante estos se obtiene una mayor cantidad de información en relación a estructuras presentes en el subsuelo, que en comparación con cualquier otro método de prospección geofísica. Entre los métodos sísmicos de la geofísica aplicada se distinguen dos principalmente, los de refracción y los de reflexión sísmica. La base de estos métodos es la medición del tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre el sitio donde se generan las ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Cada uno de estos métodos se emplea dependiendo del objetivo, y la profundidad que se desee alcanzar en subsuelo.

Produciendo artificialmente unas ondas sísmicas y detectando los tiempos de llegada de las ondas producidas, una vez reflejadas o refractadas en las distintas formaciones geológicas, se puede obtener una imagen muy aproximada de las discontinuidades sísmicas. Estas discontinuidades coinciden generalmente con las discontinuidades estratigráficas. (Márquez, 1991)

#### **2.4.5.1 MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA**

Estudia la respuesta del terreno cuando se propaga a través de él una onda de compresión (onda P) producida por medios mecánicos en la superficie. El método de refracción sísmica, es un método de reconocimiento general especialmente en trabajos de ingeniería civil, exploración petrolera, y estudios hidrogeológicos. Permite



la localización de los acuíferos (profundidad del estrato), la posición y tamaño del acuífero. Este método es particularmente usado en reconocimiento de áreas donde prácticamente no se cuenta con información geológica de la zona. El parámetro que se analiza es la velocidad de propagación de la onda a través de los materiales del subsuelo en función de la compacidad de los mismos. (Fowler, 1994)

La sísmica de refracción resulta ser uno de los métodos de mayor utilidad en la prospección geofísica y la geotecnia, debido a que permite obtener información sobre las estructuras geológicas presentes en el subsuelo.

Adicionalmente, la sísmica de refracción permite obtener información somera del subsuelo para generar modelos de velocidades y determinar el espesor y la profundidad de la roca. Este método estudia básicamente la propagación de las ondas en el subsuelo a partir de impulsos sísmicos, generados mediante el uso de una fuente, y geófonos colocados en el terreno, con el fin de adquirir registros sísmicos a través de los cuales se generan curvas distancia versus tiempo. Con estas curvas se logran generar modelos de capas con sus velocidades respectivas. (Mirónov, 1977)





En conjunto con los datos geológicos de campo, este modelo sísmico permite generar en profundidad un modelo tectónico y estratigráfico en áreas con poca información de superficie. Aunque dicho método posee poca resolución en escala vertical, es una importante herramienta cuando se requiere conocer las propiedades del subsuelo a poca profundidad ya que posee una gran resolución horizontal. (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

### **Principios básicos de sísmica de refracción**

En un levantamiento de sísmica de refracción, una fuente que genera una perturbación sísmica la cual se propaga dentro del subsuelo; esta perturbación viaja pasando por puntos donde cambian las propiedades elásticas del medio. En esas interfaces, ocurre un proceso de partición de la energía, por lo cual una porción de la energía continúa su propagación hacia el interior de la tierra, mientras que la otra porción regresa a la superficie, donde es registrada por dispositivos detectores (geófonos). (JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, 2011)

Estas perturbaciones sísmicas, originan los diferentes tipos de ondas que conocemos entre las cuales destacamos las ondas Love, ondas Rayleigh, ondas S y ondas P. Estas últimas son también conocidas como ondas longitudinales las cuales resultan de interés fundamental en la prospección con sísmica de refracción.



### **Equipos de Medición de refracción sísmica:**

El equipo de medición de refracción sísmica se compone básicamente por una fuente generadora de ondas sísmicas, sensores que detectan las ondas (geófonos) y el equipo de adquisición y almacenamiento (sismógrafo).

#### **2.4.5.2 MÉTODO DE REFLEXIÓN SÍSMICA**

El método de reflexión sísmica se basa en las reflexiones del frente de ondas sísmicas sobre las distintas interfaces del subsuelo. Estas interfaces (reflectores) responden, al igual que en la refracción, a contrastes de impedancia que posteriormente se relacionaran con las distintas capas geológicas. Las reflexiones son detectadas por los receptores (geófonos) que se ubican en superficie y que están alineados con la fuente emisora. Dado que las distancias entre la fuente y los geófonos son pequeñas respecto a la profundidad de penetración que se alcanza. (Paredes, 2007)

Este método es el más empleado en prospección petrolífera ya que permite obtener información de capas muy profundas. Permite definir los límites del acuífero hasta una profundidad de 100 metros, su saturación (contenido de agua), su porosidad. Permite también la localización de los saltos de falla.

La sísmica de refracción y la sísmica de reflexión se diferencian particularmente por un elemento de geometría,



es decir la refracción usa principalmente grandes distancias entre fuente receptor de tal manera que la onda sísmica viaje principalmente de manera horizontal, a lo largo del subsuelo, en vez de manera vertical.

**Fuente Sísmica:** Principalmente lo que se desea es generar ondas sísmicas a través de una fuente controlada, es decir que pueda controlarse la localización y el tiempo. Entre las que podemos mencionar. (Cheng, 1993)

**Fuentes de impacto:** Generalmente mandarrias o martillos; la energía transmitida al suelo por este método no es muy grande, por lo cual se deben apilar varias veces los impactos al suelo, con el fin mejorar la señal de llegada y suprimir el ruido. Existen varias fuentes de impactos, medios mecánicos, por ejemplo dejando caer un gran peso de una altura de 2 a 3 metros. (Paredes, 2007)

**Cargas explosivas:** Representa un tipo de fuente que genera mayor energía; son usadas por lo general en prospección petrolera. La explosión puede ocurrir en un tiempo corto, de micro a milisegundos, dependiendo de la naturaleza y cantidad del explosivo como del material que rodea el sitio de explosión.

**Disparos:** Se utilizan balas o cartuchos; la energía generada es mayor que la producida por la fuente de



impacto y por lo general menor al producido por las cargas explosivas.

**Cuadro N° 4:** Resumen de los métodos de prospección geofísica

<b>METODOS</b>	<b>PRINCIPIOS</b>	<b>PARAMETROS OBTENIDOS</b>
Geoelectrico	Conductividad o resistividad eléctrica	Geometría del acuífero (profundidad de formaciones impermeables y estructura del subsuelo), extensión lateral, propiedades de las formaciones (arena-arcilla), salinidad del agua, plumas de contaminación
Sísmica de refracción	Velocidad de propagación de un esfuerzo mecánico	Depósitos secos-saturados, espesores de diferentes estratos y detección de zonas de fracturamiento
Sísmica de reflexión	Velocidad de propagación de un esfuerzo mecánico	Zonas de fallas, cartografías de estructuras de recubrimiento
Gravimetría	Densidad	Relleno-basamento
Magnetometría	Susceptibilidad magnética	Geometría del acuífero (profundidad de formaciones impermeables y estructura del subsuelo), extensión lateral
Electromagnetismo	Conductividad o resistividad eléctrica y magnetismo	Localización de las áreas más conductivas, detección de fracturas que no afloran en superficie.

#### **2.4.6 RELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO E HIDROGEOLÓGICO DE LOS MATERIALES DEL SUBSUELO**

La aplicación del método de resistividades eléctricas permiten conocer los espesores y la resistividad verdadera de las



formaciones y a partir de esta última y de acuerdo con testificaciones eléctricas directas (superficiales o en perforaciones) o experiencia de la zona, predecir el tipo de materiales que la integran.

Las características hidrogeológicas de los materiales o rocas no consolidadas, vienen determinados por su granulometría, existiendo una dependencia entre la permeabilidad y el tamaño del grano.

Dentro de estos materiales distinguiremos toda una gama que va desde los más finos tales como arcillas, impermeables; a los más gruesos, especialmente permeables como gravas y arenas.

Consecuentemente, existe una correspondencia entre la permeabilidad y la resistividad en las rocas o terrenos no consolidados, de manera que será tanto más permeable cuanto mayor sea su valor resistivo.

Por otro lado es necesario tener en cuenta que la producción de los acuíferos subterráneos está determinada por el gradiente hidráulico, el volumen total de agua en movimiento y por la permeabilidad local.

De estas propiedades solo la última puede ser obtenida a partir de los datos geofísicos, ya que las características hidrodinámicas deberán ser investigadas a partir de los pozos mediante pruebas de bombeo.



### Cuadro N° 5: Resistividades Del Agua Y Rocas.

TIPO DE AGUA Y ROCA	RESISTIVIDAD (Ohm-m)
Agua de mar	0.2
Agua de acuíferos aluviales	10-30
Agua de fuentes	50-100
Arenas y gravas secas	1,000-10,000
Arenas y gravas con agua dulce	50-500
Arenas y grava con agua salada	0,5-5
Arcillas	2-20
Margas	20-100
Calizas	300-10,000
Areniscas arcillosas	50-300
Areniscas cuarcíticas	300-10,000
Cineritas y tobas volcánicas	50-300
Lavas	300-10,000
Esquitos grafitosos	0,5-5
Esquitos arcillosos o alterados	100-300
Esquitos sanos	300-3,000
Gneis, granito alterados	100-1,000
Gneis, granitos sanos	1,000-10,000

#### 2.4.7 VOLUMEN DE TRABAJO

En el área investigada se han realizado tres (03) Sondeos Eléctricos Verticales – SEV, con tendidos de líneas de emisión AB/2 hasta 3000.00 m.

Las coordenadas UTM (WGS 84) de los sondeos SEVs se muestran en el Cuadro N°.

### Cuadro N° 6: Coordenadas UTM De Los SEV

SEV	coordenadas UTM GWS 84	
	Este (m)	Norte (m)
1	761,682	9'003,952
2	761,625	9'003,870

3	761,557	9'003,794
---	---------	-----------

#### 2.4.8 EQUIPO UTILIZADO

En la ejecución de los SEVs se utilizó un Georesistivímetro conformado por dos multímetros digitales que funcionan como receptores del amperaje y voltaje. Un transmisor de corriente continua que tiene una potencia de salida de 200 watts y un voltaje hasta 600 voltios. Como accesorios se utilizó 2 bobinas con cables MN de 200.00 m cada uno, un GPS, 10 electrodos acerados y 4 radios.

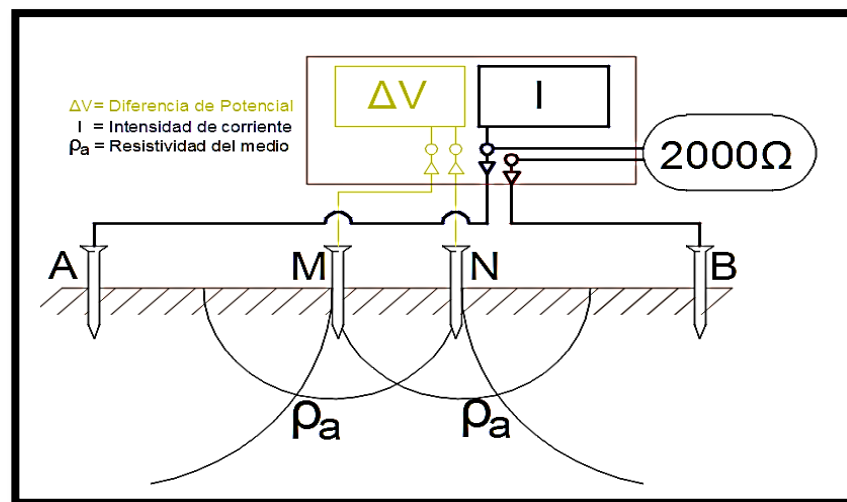


Figura N° 14: Muestra el Esquema de Instalación del Equipo

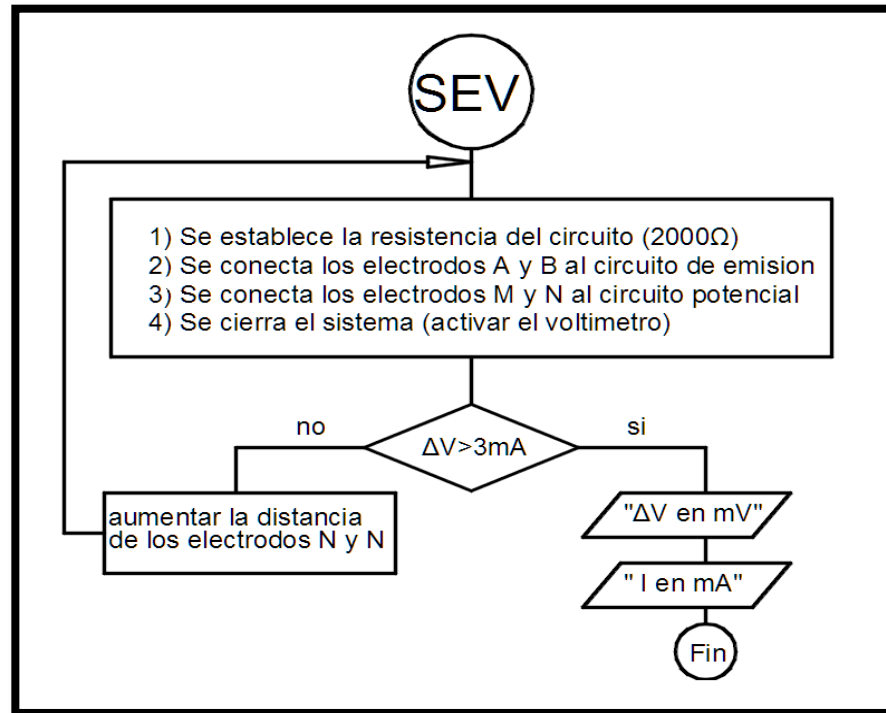
#### 2.4.9 PROCEDIMIENTO DE CADA SONDEO ELÉCTRECTRICO

1.- Se inspeccionó del lugar previo a la ubicación de los puntos de sondeo, para delimitar geográficamente el estudio y para tener mejor criterio a la hora de ubicar el eje de los sondeos a la vez de decidir el número de sondeos a utilizarse en el estudio realizado.



- 2.- Se Decidió realizar 3 Sondeos Eléctricos a lo largo del camino principal del Centro Poblado de San Luis donde se ubicó los puntos de los Sondeos Eléctrico (ver anexo 1 y cuadro N°3.2)
- 3.- se colocó una estaca en el punto donde se inició la prospección y se instaló el georesistivímetro y el transmisor de corriente continua.
- 4.- Mediante cables de cobre se conecta los dos electrodos acerados que serán los puntos fijos M y N al geo resistivímetro.
- 5.- Mediante dos bobinas de cables de cobre ubicadas adyacentes a la estaca, una opuesta a la otra; cada bobina unió el geo resistivímetro a los electrodos acerado emisores de corriente continua.
- 6.- Se realizó mediciones del geo resistivímetro cada vez que se variaba la longitud  $AB/2$  alejando los electrodos de la estaca en la siguiente progresión:  
2m, 3m, 4m, 5m, 6m, 8m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 40m, 50m, 60m, 80m, 100m, 125m, 150m, 200m, 250m, 300m a lo largo de todo el eje formando línea recta, la figura 3.02 muestra el diagrama de flujo para cada medición del instrumento
- 7.- luego se llevó los datos obtenidos del geo resistivímetro y se procesó en el software IPI2win para el análisis y obtención de la resistividad eléctrica del suelo para emitir conclusiones del estudio.





**Figura N° 15:** muestra el diagrama de flujo utilizado para recolectar datos

#### 2.4.10 PROCEDIMIENTO DE DATOS

1.- Los datos obtenidos se almacenan en una plantilla llevada a campo (Figura N° 16) cada vez que se realiza una medición del geo resistímetro debido al aumento de la distancia AB.

2.- Se calcula la resistividad  $\rho_a$  ( $\Omega.m$ ) utilizando la siguiente formula, el cual utilizaremos los datos recolectados en campo (Figura N° 16).

$$\rho_a = \frac{\pi(AB^2 - MN^2)}{4 * MN} * \frac{\Delta V}{I}$$

<b>recoleccion de datos en campo</b>				
<b>AB/2</b> (m)	<b>MN</b> (m)	<b>I</b> (mA)	<b><math>\Delta v</math></b> (mV)	<b><math>\rho_a</math></b> ( $\Omega.m$ )

**Figura N° 16** Ficha de recolección de datos en campo

3.- Cada SEV se procesó por aparte, en el software IPI2Win y se logró el ajuste entre la los datos observados y calculados, lo cual se indica por medio del valor de error medio cuadrático. Por último se unieron todos los SEV pertenecientes a una misma línea geofísica de tal manera que se formara el perfil en el software Ipi2win, el cual es el encargado de ajustar las curvas utilizando el algoritmo de O 'Neil (1975) para el cálculo de la resistividad real en medios estratificados.

## **2.5 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS-GEOMORFOLÓGICAS**

### **2.5.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS**

La fuente geológica, Fue íntegramente extraída de la base de datos de recursos naturales e infraestructura – departamento de Ancash – “primera aproximación” desarrollada por la Oficina de Gestión Ambiental, Transectorial, Evaluación e Información de Recursos Naturales INRENA en Junio del 2005.

La secuencia estratigráfica en la cuenca del rio Santa – Sector San Luis presenta 14 formaciones geológicas, siendo la formación grupo Calipuy en la zona alta la que ocupa la mayor área de la cuenca con 33.3%



El siguiente cuadro muestra la distribución de las formaciones geológicas en cada unidad hidrográfica menor de la cuenca del río santa sector San Luis.

**Cuadro N° 7: Formaciones Geológicas.**

ERA	SISTEMA	SERIE	FORMACION GEOMORFOLOGICA	SIMBOLO	UNIDAD HIDROGRAFICA MENOR CUENCA / INTERCUENCA										UNIDAD HIDROGRAFICA MAYOR	
					bajo santa	rio santa	medio bajo santa	rio santa	medio santa	rio santa	medio santa	rio santa	alto santa	Rio Santa		
					Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	%
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	Depósitos Glaciales	Qp-g	0.1										0.1	0.0
		RECIENTE	Depósitos aluvial reciente	Qr-al	187.0	130.4	126.8	12.3	9.9						466.4	15.6
			Depósitos eólico reciente	Qr-e	36.4		47.4								83.8	2.8
	TERCIARIO	INFERIOR	Grupo Calipuy	Ti-ca		188.6	26.6	192.8	161.6	137.6		115.4	174.7	997.3	33.3	
MEZOZOICO	CRETACIO		Formación inca chlec. Paríatambo Paríahuanca	Ki-l/ch/p/p		1.1	3.8							4.9	0.2	
			Formación Junco	Ki-j	41.7	54.2	45.6							141.5	4.7	
			Formación la Zorra	Ki-z	27.7		0.1							27.8	0.9	
			Grupo Goyllarisquizga	Ki-g	9.2	42.1	42.4	35.3	71.7	24.5	0.0	31.6	1.3	258.1	8.6	
			Tonalita	Ki-to	65.8	16.0	77.1							158.9	5.3	
		SUPERIOR	Gabrodiorita	Ks-gbdi	1.0		5.5							6.5	0.2	
			Granodiorita	Ks-gb	31.5	116.1	19.3							166.9	5.6	
			Tonalita/granodiorita	Ks-to/gb	18.2	168.2	93.3	111.6	217.5					608.8	20.4	
		TERCIARIO		Granodiorita	T-gd		12.9							12.9	0.4	
			Granodiorita/tonalita	T-gd/to					31.7	1.6	4	17.7	1.8	56.8	1.9	
TOTAL					418.6	729.6	487.9	352.0	492.4	163.7	4.0	164.7	177.8	2990.7	100.0	

En la cuenca del río santa, Centro poblado San Luis aflora algunas rocas de diferente composición, cuyas edades van desde el Cenozoico al Mesozoico, estando compuestas mayormente por rocas sedimentarias y metamórficas cubiertas de depósitos inconsolidados modernos en el sector de la costa y extensos plutones intrusivos hacia la parte oriental.



## 2.5.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS:

### **Cenozoico:**

#### **Cuaternario pleistoceno**

##### **Depósitos glaciales (Q-g)**

Estos depósitos están constituidos por brechas inconsolidadas en matriz microbrechosa o arenácea con abundante material fino en superficie, formando laderas y colinas con pendientes moderadas. Se distribuyen extensamente entre Huaraz y la laguna Conococha, ocupando el margen derecho del río Santa, habiéndose depositado durante el pleistoceno.

### **Cuaternario reciente:**

#### **Deposito aluvial reciente (Qr-al)**

Estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por los ríos emplazados en las depresiones de los valles formando terrazas y conos aluviales defectivos, se puede observar a lo largo de los principales ríos de la costa y el río Santa, formando extensas terrazas fluviales, con presencia de arcillas y arenas finas con gravas arenosas bien clasificada, y en profundidad una mezcla de cantos rodados y arenas que en parte son utilizados para la agricultura.

#### **Deposito Eólico Reciente (Qr-e)**

Estos depósitos cobran rasgos prominentes si se tiene en cuenta la magnitud de su evolución y propagación regional, cuya actividad se desarrolla en forma de barcones en movimiento, dunas gigantescas o mantos delgados de arena. En algunos



lugares la migración de los barcones es retardada por la humedad del terreno ya que una parte de las arenas se funden y colmatan sobre un terreno húmedo salobre. Estos depósitos son recientes y se distribuyen en diferentes sectores de la costa

Las arenas que logran pasar obstáculos son detenidos por la vegetación de los valles y en algunos casos forman barcones o cerros de arena fósil.

### **Terciario Inferior:**

#### **Grupo Calipuy (Terciario Inferior)**

Cossio (1964) Le dio el nombre de volcánico Calipuy, posteriormente Wilson lo elevó al rango de grupo, estimando una potencia de más de 2000m. La secuencia consiste mayormente de tobas, piroclásticos gruesos, aglomerados, lavas ácidas o ignimbridas, dacíticas y cuerpos intrusivos subvolcánicos cuya composición varía de andesita – dacítica a riolita. Hacia el tope se destacan capas arenolutáceas de color rojizo con lechos de calcedonia, a la que se intercala una gruesa secuencia de aglomerados, brechas y piroclásticos. Esta unidad se extiende hacia el norte ocupando gran extensión en el departamento de la Libertad. El grupo –Calipuy se distribuye ampliamente a lo largo del departamento, ocupando gran parte de la cordillera Negra. De acuerdo a las evidencias paleontológicas encontradas, se estima que la acumulación volcánica de esta unidad tuvo lugar durante la parte tardía del Terciario Inferior.

### 2.5.3 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS:

La cuenca del río Santa tiene ocho formaciones geomorfológicas, siendo la formación que ocupa mayor extensión la formación Colina y montaña – Vertiente montañosa empinada as escarpada que abarca el 27.2% del área de la cuenca. (Cuadro N° 8)

**Cuadro N° 8:** Formaciones Geomorfológicas.

REGION	REGION FORMACION GEOMORFOLOGICA	SIMBOLO	UNIDAD HIDROGRAFICA MENOR CUENCA / INTERCUENCA									UNIDAD HIDROGRAFICA MAYOR		
			bajo santa	rio santa	medio bajo santa	rio santa	medio santa	rio santa	medio santa	rio santa	alto santa	Rio Santa		
			Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	%
costa	Planicie – valle y llanura irrigada	V-a	38.3	29.9	38.9	9.1	3.0						119.2	4.0
	Planicie ondulada a disectada-llanura disectada	Lld-c	87.5		38.1								125.6	4.2
	Colina y montaña - colina	C-d	39.6	1.3									4.9	1.4
	Planicie ondulada disectada- llanura ondulada	Lla-b	53.9	54.6	48.48								156.9	5.2
	Colina y montaña vertiente montañosa empinada a escarpada	Vc-e	168.0	187.3	281.8	39.6	135.9						812.6	27.2
	Planicie llanura	LI-a	18.3										18.3	0.6
Sierra – zona bajoandina	Montaña- vertiente montañosa empinada a escarpada	Vs3-e	12.9	241.5	54.9	62.3	218.8	21.5	3.4	18.0	5.7	639.0	21.4	
Sierra – zona mesoandina	Planicie ondulada disectada – vertiente allanada a disectada	Vso-c		2.1										
	Montaña – vertiente montañosa empinada a escarpada	Vs2-e			22.2	55.5	93.9	59.1	0.6	40.4	27.3	382.5		
	Montaña – vertiente montañosa empinada a escarpada	Vs2-d		83.5			4.3					4.3	0.1	
Sierra – zona altoandina	Colina y montaña - vertiente montañosa y colina empinada a escarpada	Vs1-e		129.2	3.5	179.0	36.5	62.5		106.1	136.4	653.2	21.8	
	Colina y montaña – vertiente montañosa y colina moderadamente empinada	Vs1-d										34.03	1.1	
	Lagunas	Lagunas		0.2		0.7		0.3		0.2	0.3	1.7	0.1	
<b>Total</b>			418.5	729.6	487.8	352.1	492.4	163.8	4.0	164.7	177.7	2990.6	100.0	

### 2.6 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA EN EL

#### SECTOR SAN LUIS

#### Parámetro de forma



La forma de la cuenca del Río Santa es cuantificada por los siguientes parámetros coeficientes de compacidad y factor de forma.

La cuenca del Río Santa tiene un coeficiente de compacidad de 1.46 y al comparar el coeficiente de compacidad entre las cuencas de nivel 7 se concluye que la cuenca del rio Santa presenta mayor posibilidad de presentar crecidas de menores tiempos de concentración ya que sus coeficientes son más cercanos a la unidad.

El factor de forma para la cuenca del Rio Santa es de 0.26 y al comparar este factor en las cuencas de nivel 7 se aprecia que la cuenca del Rio Santa tendría posibilidad de crecientes de menor magnitud al tener un factor de forma pequeño de 0.18.

La definición de parámetros de forma se presenta a continuación.

### **Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius(Kc)**

Se define como la relación entre el primero de la cuenca hidrográfica a la hidrográfica a la circunferencia de un circulo cuya área sea igual a la de la cuenca. Los valores de Kc próximos a la unidad nos indican que en la cuenca habrá mayores posibilidades de crecidas debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenta serán iguales.

Se debe cumplir

$$Kc = \frac{p}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:



P: perímetro de la cuenca en Km

A: área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

Factor de forma (Ft)

Es un índice establecido por Horton, que se define como la relación entre el ancho medio de la cuenca (A/Lb) y la longitud del curso de agua más largo. Una cuenca con factor de forma bajo está sujeta a crecientes de menor magnitud.

Se debe cumplir:

$$Ff = \frac{A}{Lb^2}$$

Donde:

Lb: Longitud del curso de agua más largo (Km)

### **Parámetros de relieve**

#### **Relieve del cauce principal**

El relieve del cauce principal se representa mediante el perfil longitudinal y puede ser cuantificado mediante parámetros que relacionan la altitud con la longitud del cauce principal. Los principales parámetros son la pendiente media del cauce y la pendiente equivalente constante. El cuadro siguiente muestra los parámetros de relieve del cauce principal de cada unidad hidrográfica menor.

**Cuadro N° 9:** Parámetros de Relieve del Cauce Principal.





NOMBRE DEL RIO	CARACTERISTICAS FISICAS				AREA DE LA CUENCA(Km <sup>2</sup> )
	Longitud Máxima (Km)	Caudal Promedio Anual (MMC)	Volumen Promedio Anual (MMC)	Pendiente del Rio (%)	
SANTA	98.41	179.86	5672.14	2.07	32383.18
LACRAMA RCA	67.90	0	0	6.87	814.48
NEPEÑA	80.90	3.24	102.02	6.12	1888.41

Para el rio santa la pendiente media es de 4.3% y su pendiente equivalente constante de 1.4%. El rio Santa tiene una pendiente equivalente constante que varía desde los 0.4% hasta los 8.4%.

### Relieve de la cuenca

Se representa mediante la cura hipsométrica y la distribución de frecuencia y puede ser cuantificado con parámetros que relacionan la altitud con la superficie y el perímetro de la cuenca. Los principales son el rectángulo equivalente, la altitud media de la cuenca, la pendiente media de la cuenca y el coeficiente de la masividad. A continuación el cuadro presenta los parámetros de relieve de cuenca para cada unidad hidrográfica menor.

**Cuadro N° 10:** Parámetros del Relieve de la Cuenca

<b>DISTRITO</b>	<b>SUBDISTRITOS DE RIEGO</b>
-----------------	------------------------------



TO DE RIEGO	NOMBRE	EXTENSIÓN (km <sup>2</sup> )	%	SEDE	CUENCA/INTERCUENCA HIDROGRÁFICAS	ÁREA (km <sup>2</sup> )	%
SANTA LACRAMARCA NEPEÑA	SANTA LACRAMARCA	5295.74	73.71	CABAÑA	INTERCUENCA GUADALUPITO	410.91	5.72
					CUENCAS RIO SAANTA	3283.18	45.7
					INTERCUENCA EL LOCO	339.38	4.72
					CUENCA DEL RIO LACRAMARCA	841.48	11.71
					INTERCUENCA BUENOS AIRES	421.6	5.87
	NEPEÑA	1889.24	26.29	NEPEÑA	CUENCA DEL RÍO NEPEÑA	1888.41	26.28
		2184.96	100			7184.96	100

La dimensión del rectángulo equivalente de la cuenca del Rio Santa es de L=116.1 km y l=25.8 km. Así mismo la altitud media de la cuenca es 2090.8 m. La pendiente media de la cuenca es 44.1% y el coeficiente de masividad es de 0.70 n/km<sup>2</sup>.

La definición de los parámetros de relieve se presenta a continuación.

#### **Pendiente Media del cauce.**

Es la diferencia total de elevación del lecho del río dividido por su longitud entre esos puntos.

Se tiene:

$$S = \frac{h1 - h2}{lb} \times 100\%$$

Donde:

h1: elevación correspondiente al extremo superior del cauce principal (m)



$h_2$ : elevación correspondiente al extremo inferior del cauce principal (m)

$l_b$ : longitud del curso de agua más largo (m).

### **Rectángulo Equivalente**

Este parámetro de relieve consiste en una transformación geométrica que determina la longitud mayor y menor que tienen los lados de un rectángulo cuya área y perímetro son los correspondientes al área y perímetro de la cuenca. En el rectángulo equivalente las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor.

Se debe cumplir:

$$L \cdot l = A \text{ (km}^2\text{)}$$

$$2(L+l) = P \text{ (km)}$$

Donde:

$L$  = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

$l$  = longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)

### **Altitud Media de la Cuenca**

Parámetro determinado por la ponderación de las áreas entre las curvas equidistantes. Se define como

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{A} \text{ (m)}$$

Donde:

$C_i$ : cota media del intervalo (m)

$A_i$ : área entre curvas del intervalo  $l$  (km<sup>2</sup>)

$A$ : área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

### **Pendiente media de la cuenca**

Se define como la media ponderada de las pendientes correspondientes a superficies elementales en las cuales las pendientes se pueden considerar constantes y se puede obtener multiplicando la longitud de todas las curvas de nivel por el intervalo entre ellas, y dividiendo por el área de la cuenca.

Se tiene

$$lp = \frac{lo\Delta h}{A} \left(\frac{m}{m}\right) \%$$

Donde:

Lo = longitud total de las curvas de nivel

$\Delta h$  = intervalo entre curvas de nivel

## **2.7 ACUÍFERO**

### **2.7.1 GEOLOGÍA DEL ACUÍFERO**

El acuífero del valle de Santa – Centro Poblado San Luis pertenece al cuaternario antiguo y reciente, por lo tanto los materiales que lo conforman están constituidos por depósitos fluviales no consolidados. Sus características hidráulicas varían dependiendo en gran medida del modo de superposición de las capas litológicas.

Entonces, el relleno aluvial que constituye el acuífero estudiado está definido por materiales gruesos (canto rodado, gravas, arena gruesas y medias) y materiales o elementos finos (arenas finas y algo de limos y arcillas) los cuales se encuentran formando las capas y lentes de diferente permeabilidad. Los materiales más



permeables están constituidos por los cantos rodados, gravas y arenas en cambio las arcillas o el basamento son impermeables

Un acuífero desde el punto de vista geológico puede presentar condiciones de confinamiento o de napa libre en función de los elementos que lo conforman permeables o impermeables. En la zona de estudio el acuífero es básicamente libre, no se han encontrado condiciones de confinamiento.

El acuífero del valle de Santa es irregular, alargado y estrechado, limitado por rocas pre cuaternarias que afloran a lo largo de casi todo el valle. En la zona estudiada, está limitado por rocas volcánicas del cretáceo interior y rocas intrusivas del batolito. Estas rocas a profundidad constituyen en basamento rocoso.

En el valle del santa el acuífero es de aproximadamente 2 kilómetros y con un lecho rocoso que varía entre los 120 y 150 de profundidad.

### **2.7.2 PROFUNDIDAD DE LA NAPA**

El monitoreo por la IRH ha permitido definir las actuales profundidades de la napa, en la zona de estudio, para la fecha en que se realizó la medición de los niveles estáticos en los pozos inventariados se encuentran entre los 4 y 7 metros aproximadamente (ver Anexo N° 1).

### **2.7.3 HIDROGEOQUÍCA**

Según estudios realizados por INRENA en el 2002 y 2005 en las fuentes de aguas subterráneas tanto naturales como artificiales del

sector San Luis se obtuvieron los siguientes resultados de acuerdo al estudio del agua (ver cuadro 3.7)

**Cuadro N° 11:** hidrogeoquímica sector San Luis

<b>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mmhos/cm</b>	<b>COMPOSICION QUIMICA lones ppm</b>	<b>PH (ph)</b>	<b>DUREZA (mg/L)</b>
<b>0.34 – 0.85 (mediana mineralización )</b>	<b>Carbonatadas cálcicas</b>	<b>6.93 (acida – ligeramente alcalina)</b>	<b>265.6 (dureza en baja proporción)</b>
<b>(aceptable)</b>	<b>(aceptable)</b>	<b>(aceptable)</b>	<b>(aceptable)</b>

#### **2.7.4 HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA**

##### **PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO**

La información del estudio del acuífero subterráneo para realizar el abastecimiento de agua en el Sector San Luis ha determinado los parámetros hidráulicos del acuífero en los pozos a tajo abierto donde se han calculado los valores en los ensayos de bombeo, transmisibilidad (T), permeabilidad (K) y el coeficiente de almacenamiento, nos indica que el acuífero en esta zona es libre y de regulares condiciones hidráulicas.

Q = Caudal de bombeo ( $m^3/seg$ )

T = Transmisividad ( $m^2/seg$ )

t = Tiempo transcurrido después del principio de bombeo (seg)

s = Coeficiente de almacenamiento (sin dimensiones)

r = Radio del Pozo o distancia pozo – piezométrico (m)



- 1) Para acuíferos libres, como el del sector de estudio, ella representa la producción específica del material desaguado durante el bombeo; por lo tanto el coeficiente de almacenamiento indica cuánta agua se encuentra almacenada en la formación con posibilidades de ser removidas por el bombeo. El coeficiente de almacenamiento estimado es del 10%, en base al análisis de la litología del sector.
- 2) Según estudios realizados por INRENA en el 2001 se determinó la transividad del terreno (0.03 a 0.5 m<sup>2</sup>/s) se tomara el valor máximo debido a las condiciones del lugar de estudio
- 3) El radio de influencia se calculó teniendo en cuenta 3 tiempos de bombeo de 4h 6h y 8h usando la fórmula de radio relativo o tolerable y esta expresado por:

$$r = \left( 2.25T \cdot \frac{t}{S} \right) - 5$$

- 4) Pruebas de bombeo a caudales variables

La determinación de los caudales óptimos, de explotación de la calidad constructiva y del estado de funcionamiento del pozo, es posible mediante la realización de las pruebas de bombeo a caudal variable denominadas también prueba de pozo, estimándose el rendimiento del pozo tubular proyectado de 25lt/s (según estudios de INRENA – 2001)

#### **MARCO NORMATIVO:**

Para perforar un pozo hay que obtener una licencia de uso Solicitado al ANA y aprobado mediante el **Reglamento de Procedimientos para el otorgamiento de licencias de uso de agua** mediante **Resolución de**



**Intendencia N°579-2010-ANA** establece que para llegar a obtener una licencia se debe cumplir con los siguientes pasos:

**A) Autorización para la ejecución de estudios hidrogeológicos, para aprovechamiento hídrico.**

- Documentos a presentar
  - Copia de creación de constitución de empresa
  - Copia de vigencia de Poder del representante Legal de la empresa.
  - Copia del DNI del representante legal de la empresa.
  - Copias de documentos que acredite la propiedad del terreno donde se ubica el pozo.
  - Se presentara una memoria descriptiva del pozo perforado, en original y dos copias y deberá contener lo indica el reglamento de derecho de uso de agua subterránea.
  - Adjuntar el Boucher de pago a la cuenta corriente del banco de la Nación, por concepto de derecho de trámite de inscripción.
- Requisitos
  - Una solicitud de autorización de ejecución de estudio hidrogeológico, adjuntando una memoria descriptiva.
  - La memoria descriptiva, deberá contener una breve descripción del proyecto que contenga la siguiente información





- Fin que pretende destinarse las aguas.
- Ubicación geográfica de la fuente de aguas en coordenadas UTM del probable punto de captación.
- Caudal requerido.
- Actividades principales
- Metodología de ejecución
- Duración de la ejecución de los trabajos previstos y beneficiarios.
- Plano de ubicación de la zona a estudiar en coordenadas.

## **B) Autorización para la ejecución de obra de perforación de pozos tubulares.**

- Una Solicitud de aprobación de estudios hidrogeológicos y autorización para la ejecución de obras de perforación de pozo con fines de alumbramiento de agua subterránea, debe indicarse la ubicación donde se va a perforar, el caudal aproximado a extraerse en l/s adjuntándose lo siguiente:
  - Copia de creación de constitución de empresa
  - Copia de vigencia de Poder del representante Legal de la empresa.
  - Copia del DNI del representante legal de la empresa.
  - Copias de documentos que acredite la propiedad del terreno donde se ubica el pozo.



- Adjuntar el Boucher de pago a la cuenta corriente del banco de la Nación, por concepto de derecho de trámite e inspección ocular.
- Adjuntar Estudio hidrogeológico realizado por consultor inscrito en la autoridad de aguas y el estudio deberá contener lo señalado en el anexo 06 de Reglamento mencionado.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

## CAPÍTULO III



## **CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 METODO DE ESTUDIO**

El presente trabajo está referido a la estudio de prospección geofísica en la ubicación de un pozo tubular para mejorar el servicio de agua potable en el sector de San Luis, distrito de Santa, provincia de SANTA – ANCASH, con fin de obtener los estudios de estratos del subsuelo, mediante el método de Prospección Geofísica para determinar la ubicación del pozo tubular.

Para obtener esta información se realizaron 03 sondeos eléctricos verticales en el sector de San Luis, los cuales fueron verificados posteriormente con el Software IPI 2 Win.

#### **3.1.1 POBLACIÓN**

Sector de San Luis en el Distrito de Santa, provincia de Santa – Ancash.

#### **3.1.2 MUESTRA**

El tamaño de la muestra donde se desarrolló el estudio fue sobre un área de 6 Hec aproximadamente.

### **3.2 MATERIALES**

- Materiales
  - 02 millares de papel bond Atlas A4 de 80 gr.
  - 01 kit de útiles de escritorio.
  - 01 Calculadoras científicas CASIO FX – 83 GT.
  - 01 memoria USB



- Equipos
  - 01 Laptop TOSHIBA INTEL® CORE™ i5
  - 01 Impresora Canon MG 3510 Color y Negro
  - 01 Cámara digital marca Canon
  - 01 Georesistivímetro WARG POWER Mod. G1110
  - 01 Grupo Electrónico
  - 04 Radios Intercomunicadores
- Servicios
  - Servicio de personal técnico para el uso del Georesistivímetro y dos ayudantes para la colocación de las estadas.
  - Típeo e impresiones.
  - Fotocopiado y empastado.
  - Movilidad y viático.
  - Internet y correo electrónico.
  - Desarrollo, asesoría y co-asesoría del Proyecto.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

## CAPÍTULO IV



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEMANDA DE AGUA

CALCULO DE POBLACION MEDIANTE EL METODO RACIONAL PARA  
UN PERIODO DE 20 AÑOS

COEFICIENTE DE CRECIMIENTO LINEAL (ANCASH) 25‰

$$Pf_{20} = 651 \text{ hab.} \left( 1 + \frac{20 \times 25}{1000} \right)$$

$$Pf_{20} = 976.5 \text{ hab.} \approx 977 \text{ hab.}$$

DOTACION DE AGUA PARA UNA POBLACION ENTRE 500 -  
1000(60l/hab.)

CONSUMO PROMEDIO ANUAL (Qm)

$$Qm = \frac{Pf \times \text{DOTACIÓN}}{86,400}$$

$$Qm = 1.13 \text{ l/s}$$

CAUDAL MAXIMO DIARIO = 1.3 \* 1.13 l/s = 1.248 l/s

CAUDAL MAXIMO HORARIO = 2.5 \* 1.13 l/s = 2.4 l/s

VOLUMEN DE RESERVORIO = 977 x 100 x 0.25 (1+.0.3)

$$= 31,752 \text{ m}^3 \approx 32,000\text{m}^3$$

CAUDAL DE BOMBEO DEL POZO para abastecer el reservorio

**Cuadro N° 12:** Tiempo de bombeo y caudal de bombeo.

t(s)	V(litros)	Q(litros/s)
3600	32000	8.9
14400	32000	2.2
21600	32000	1.5
28800	32000	1.1

## 4.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO

El radio de influencia se calculó teniendo en cuenta 3 tiempos de bombeo de 4h 6h y 8h usando la fórmula de radio relativo o tolerable y esta expresado por:

$$r = \left( 2.25T \cdot \frac{t}{S} \right)^{0.5}$$

$$S = 0.10$$

$$T = 5 \times 10^{-2} \text{ (0.05)}$$

$$t = 4 \text{ horas, } 8 \text{ horas y } 12 \text{ horas}$$

El radio de influencia calculado para un bombeo cíclico de 4 horas es de 157 mts, para 6 horas de 238 mts. y para 8 horas de 319 mts; Se tomara el menor valor debido a la ausencia de pozos vecinos alrededor del lugar de estudio.

## 4.3 RESULTADOS GEOFÍSICOS - REPRESENTACIÓN GRÁFICA

**Cuadro N° 13:** Interpretación Cuantitativa de los Sondeos Eléctricos Verticales – SEV sector SAN LUIS

SEV	UNIDADES	CORTES GEOELECTRICOS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	R=resistividad (Ohm.m)	101	208	33.9	213	21	331		
	H= espesor (m)	0.61	10	7.93	25.2	77			
	Σ=profundidad (m)	0.61	10.61	18.54	43.74	120.74			
2	R=resistividad (Ohm.m)	11.4	520	9.47	259	24.4	2849		
	H= espesor (m)	0.84	1.21	3.7	21.2	98.4			
	Σ=profundidad (m)	0.84	2.05	5.75	26.95	125.35			
3	R=resistividad (Ohm.m)	254	44	24.1	148	36.1	141		
	H= espesor (m)	1.04	3	7.44	22.8	129			
	Σ=profundidad (m)	1.04	4.04	11.48	34.28	166.28			



#### 4.2.1 SECCIÓN GEOELÉCTRICA (SECTOR SAN LUIS)

Con los resultados de la interpretación de los sondeos eléctricos verticales-SEV, se ha elaborado una (01) sección geo eléctrica, cuyo análisis permitirá inferir y conocer las características y condiciones geo eléctricas de los diferentes horizontes que conforman el subsuelo en el área investigada.

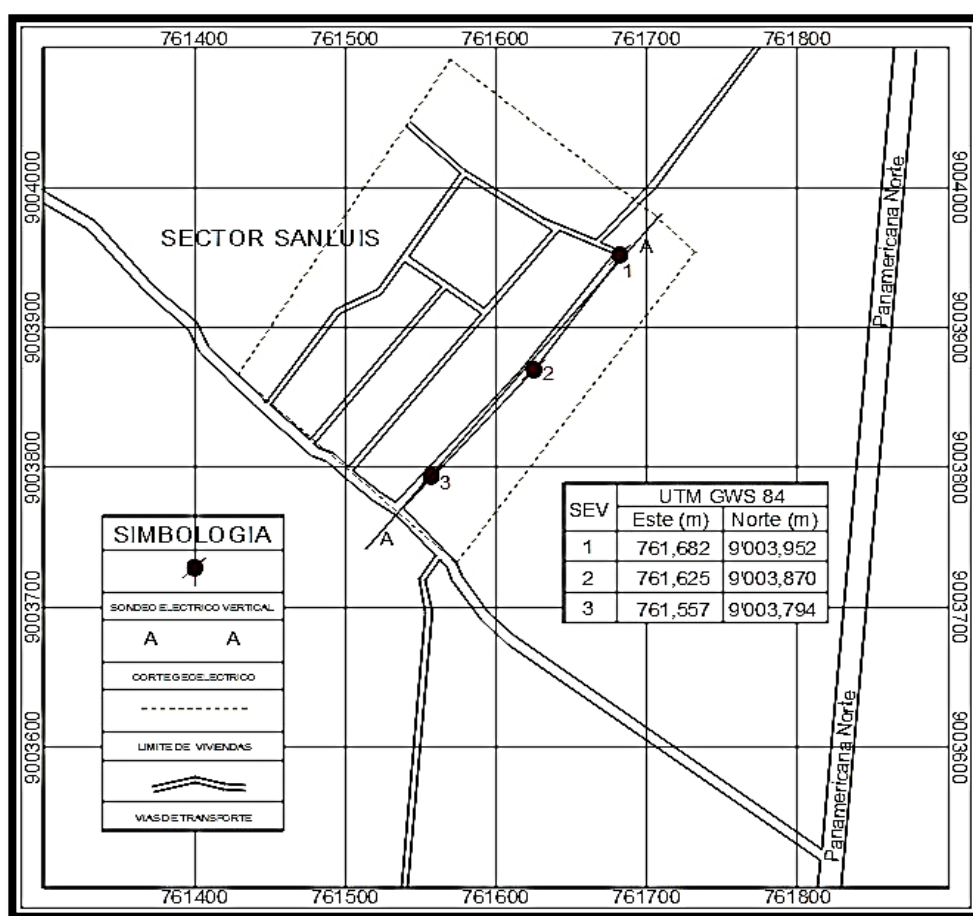


Figura N° 17: Mapa de Ubicación de los Sondeos Electroverticales

##### a) Sección geoelectrico longitudinal A-A

Para la elaboración de esta sección se ha utilizado 3 sondeos SEV y tiene una longitud de 201 m. Ver Figura N° 18.



La correlación de los SEV permitió identificar que el subsuelo en este sector está conformado por 04 horizontes geo eléctricos que se describen a continuación:

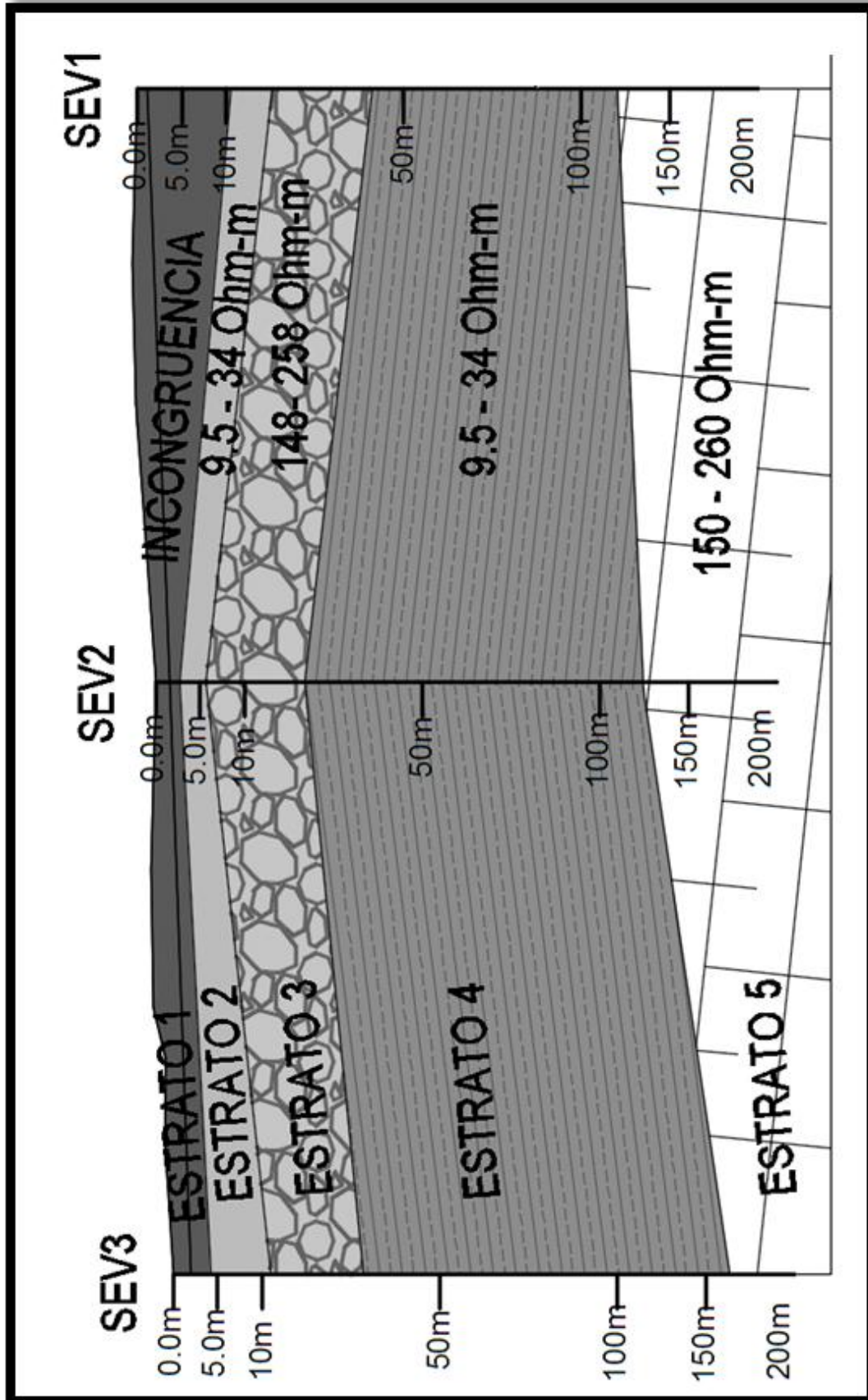


Figura N° 18: Sección estratigráfica longitudinal

### ***ESTRATO 1 (capas geoelectricas 1 y 2)***

Ubicado en la parte superior del corte vertical del subsuelo, con espesores entre 2.05 y 10.6 m. pero en estado no saturado. En su conjunto no cumple con las condiciones geo eléctricas debido a la incongruencia de medidas.

### ***Estrato 2 (capa geoelectricas 3):***

Subyace al anterior y se puede encontrar suelo formada por capas de gravas arenas y finos en estado saturado cuyo espesor varía entre 3.7 m y 11.5m con resistividad que fluctúan entre 9.5 y 33.9 Ohm-m.

### ***Estrato 3 (capa geoelectricas 4)***

Este estrato varia su espesor entre 21.2m. – 25.2 m y posee un resistividad que fluctúan entre 148 y 258 Ohm-m valores que indican que está conformado por una sucesión de capas de clastos medios a gruesos, permeables y en estado saturado en su tramo medio a inferior.

### ***Estrato 4 (capa geoelectricas 5)***

Varía su espesor entre 77m y 129 m y posee una resistividad que fluctúa entre 21 y 36.1Ohm-m lo cual nos indica que está formado por una sucesión de capas de clastos mayormente finos, permeables y en estado saturado con agua mineralizada.

### ***Estrato 5 (capa geoelectricas 6)***

Es el más profundo y se ubica entre los 121 y 163 m de profundidad y por sus resistividades muy altas representa al macizo rocoso, impermeable. No cumple con las condiciones geo eléctricas.



#### 4.4 RESULTADO ACUÍFERO – POBLACIÓN Y DEMANDA DE AGUA

- Según los parámetros hidrodinámicos del sector de estudio obtuvo un caudal de 24l/s y un radio de influencia de 157 metros para un periodo de bombeo de 4horas
- Según la población proyectada se necesita 8.9 l/s para cumplir la demanda en un tiempo de bombeo de 1hora, 2.2 l/s para cumplir la demanda en un tiempo de bombeo de 4horas, 1.5 l/s para cumplir la demanda en un tiempo de bombeo de 6hora, 1.1 l/s para cumplir la demanda en un tiempo de bombeo de 8hora.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

## CAPÍTULO V



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Los resultados del presente estudio han permitido comprobar que el acuífero de la zona evaluada (Centro Poblado San Luis), presenta buenas condiciones hidráulicas para la perforación de un pozo tubular, con posibilidad de extraer caudales de hasta 25 lts/seg.
- La recarga del acuífero investigado se efectúa a través de los flujos laterales provenientes del Rio Santa y también por filtraciones de agua utilizada en riego en cultivos de las zonas aledañas.
- En el área de estudio se han efectuado 03 sondeos eléctricos verticales – SEV cuyo análisis e interpretación permitió obtener lo siguiente: que el subsuelo está conformado por 5 estratos geo eléctricos, presentando el estrato 4 permeable y en estado saturado con agua con cierta mineralización. A una profundidad que varía entre 34 y 43 metros
- El relleno cuaternario suelto en el primer sector varía entre 15.90 y 17.80 m, mientras que en el segundo sector fluctúa entre 121 y 163 m.
- Tanto en los sondeos N° 1 y 3, son factibles de ser explorados y explotados mediante una obra de captación, con profundidades de hasta 50 m.



- El caudal requerido para abastecer a la población proyectada del Sector San Luis es de 8.9 l/s en un periodo de bombeo de 1 hora; debido a que el caudal de bombeo para pozos es de 25l/s según estudios realizados a pozos con las mismas características geo eléctricas existente del sector Santa – Coishco, entonces el pozo si puede abastecer al sector San Luis y a su población proyectada en un periodo de 20 años.





## 5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable los estudios de Sondeo Eléctrico Vertical SEV se realicen en otras regiones del Perú, para garantizar la ubicación y el diseño de los pozos tubulares y así disponer con la servicio de agua potable mejorando la calidad de vida de la población.
- Se recomienda que al realizar la construcción del pozo tubular y reservorio elevado, así como las demás infraestructura para su correcto funcionamiento, en las coordenadas UTM 761682 y 9003952 N dentro del Lote C (destinado como área pública) sea perforado a una profundidad de 40.00 ml (lugar más conveniente para perforar un Pozo Tubular por sus condiciones hídricas y estratigráficas).
- Se recomienda la construcción de un reservorio de 32m<sup>3</sup> de volumen para almacenar el agua que va abastecer a la población.
- Es remendable tener en cuenta los estratos Geoeléctricas al momento de realizar el Proyecto de Agua Potable.
- Por la topografía llana del terreno, se recomienda cuidar las alturas y fondo de excavación en una futura construcción; para cuidar la pendiente de diseño, puesto que una variación podría perjudicar el funcionamiento óptimo de las estructuras hidráulicas que componen el Sistema de Red de Agua.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

# BIBLIOGRAFÍA



## BIBLIOGRAFÍA

- Antonio, L. G. (2008). *Investigación y Gestión de los Recursos*. Inst. TECNOLÓGICO GEOMINERO.
- Armada, U. N. (01 de Julio de 2007). *HIDRÁULICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS*. Obtenido de *HIDRÁULICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS*: <http://acve14.blogspot.pe/2007/07/hidrulica-de-aguas-subterrneas.html>
- Baena, C. L. (2005). *Hidrología de Acuíferos Carbonatados en la Unidad Yunquera- Nieves (Malaga)*. España.
- Cheng, D. K. (1993). *Fundamentals de Electroagnetismo Para Ingeniería*. México.
- Dobrin, M. B. (1975). *Introducción a la Prospección Geofísica*. OMEGA.
- Douglas A. Skoog, D. M. (2001). *Fundamentos de Química Análisis*. Barcelona: REVERTÉ.
- Fowler, R. j. (1994). *Electricidad Principios y Aplicaciones*. Barcelona: REVERTÉ.
- Germán Moreno, J. A. (2007). *Fundamentos e Ingeniería de las Puestas a Tierra Respuestas ante Fallas Eléctricas y Rayos*. Colombia: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.
- Holler, S. W. (1997). *Fundamentos de Química Análisis*. Barcelona: REVERTÉ.
- JOSE ISIDRO GARCIA GALDAMEZ, N. B. (Abril de 2011). *APLICACIÓN DE LA PROSPECCION GEOFISICA UTILIZANDO EL METODO SCHLUMBERGER PARA LA EXPLORACION DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN CANTON LOS MAGUEYES, COLONIA SANTA LUCIA, MUNICIPIO DE AHUACHAPAN*. San Salvador.
- Juan Eduardo Gonzalez, M. P. (2013). *Instalaciones de Ditrribución*. España: EDITEX.
- Leboeuf, P. A. (2002). *Contribución al Conocimiento de Acuífero Costeño Complejos. Caso de Catell de Ferro*. ALMERÍA.
- Liajov, I. V. (1980). *Exploración Electrica*. España: REVERTÉ.
- Marelli, G. (1983). *Evaluacion del escurrimiento y de la infiltracion del agua en el suelo con lluvia simulada*.
- Márquez, R. G. (1991). *La Puesta a Tierra de Instalaciones electricas y el R.A.T*. Barcelona (España): MARCOMBO.
- Mirónov, V. S. (1977). *Curso de Prospección Gravimétrica*. España: REVERTÉ.
- Paredes, I. S. (2007). *Prospección Geofisica Métodos*. Perú.
- Rascón, L. E. (2005). *Principios de HODroleográfica Estudio del Ciclo Hidrologico*. México: GEOGRAFIA.
- Siñeriz, J. G. (1928). *Los Métodos Geofísicos de Propección y sus aplicaciones*. España.
- Vargas, J. R. (1987). *Manejo Integrado de Aguas Subterraneas un Reto para el Futuro*. Costa Rica: EUNED.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

# ANEXOS



## **ANEXO**

- **ANEXO 1 - CUADRO**
- **ANEXO 2 – PANEL FOTOGRAFICO**
- **ANEXO 3 – GRAFICO DE SONDEOS**
- **ANEXO 4 – PROYECTO**
- **ANEXO 5 – GUÍA**



**ANEXOS 1 – CUADROS  
TABLA  
VARIACION DE LOS NIVELES  
ESTADICOS DE LA RED  
PIEZOMETRICAS EN EL VALLE  
DEL SANTA**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

## ANEXO 2 – PANEL FOTOGRAFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

## ANEXO 3 – GRAFICO DE SONDEOS





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

# ANEXO 4 – PROYECTO EL VALLE DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL  
SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA  
E.A.P. DE INGENIERÍA CIVIL

“ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LA  
UBICACIÓN DE UN POZO TUBULAR PARA MEJORAR  
EL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR  
DE SAN LUIS, DISTRITO DE SANTA, PROVINCIA DE  
SANTA – DEPARTAMENTO DE ANCASH”

---

# ANEXO 5 – GUÍA DE USUARIO IPI 2 WIN