



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

CORRELACION EMPIRICA ENTRE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS S (V_S) Y EL RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, APLICADO A LOS SUELOS DEPARTAMENTO DEL HUILA, PUTUMAYO Y CASANARE- COLOMBIA.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: *INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y GEOMECÁNICA APLICADA EN MINERÍA.*

PRESENTADO POR:

BACH. MARIO TRUJILLO CALDERON.

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN:
INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y GEOMECÁNICA APLICADA EN MINERÍA.**

HUANCVELICA – PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: **Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo, Msc. CANTA CARLOS Paul Percy y Dr. HUAMANCAJA ESPINOZA Rodrigo**

Asesor: MSc. ACHARTE LUME Luz Marina

De conformidad al Reglamento para Optar el Grado Académico de Maestro y Doctor, de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 207-2018-CU-UNH

El Candidato al **GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y GEOMECÁNICA APLICADA EN MINERÍA.**

Don, **Mario TRUJILLO CALDERON**, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado **"CORRELACIÓN EMPÍRICA ENTRE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS s (VS) Y EL RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, APLICADO A LOS SUELOS DEPARTAMENTO DEL HUILA, PUTUMAYO Y CASANARE-COLOMBIA"**

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

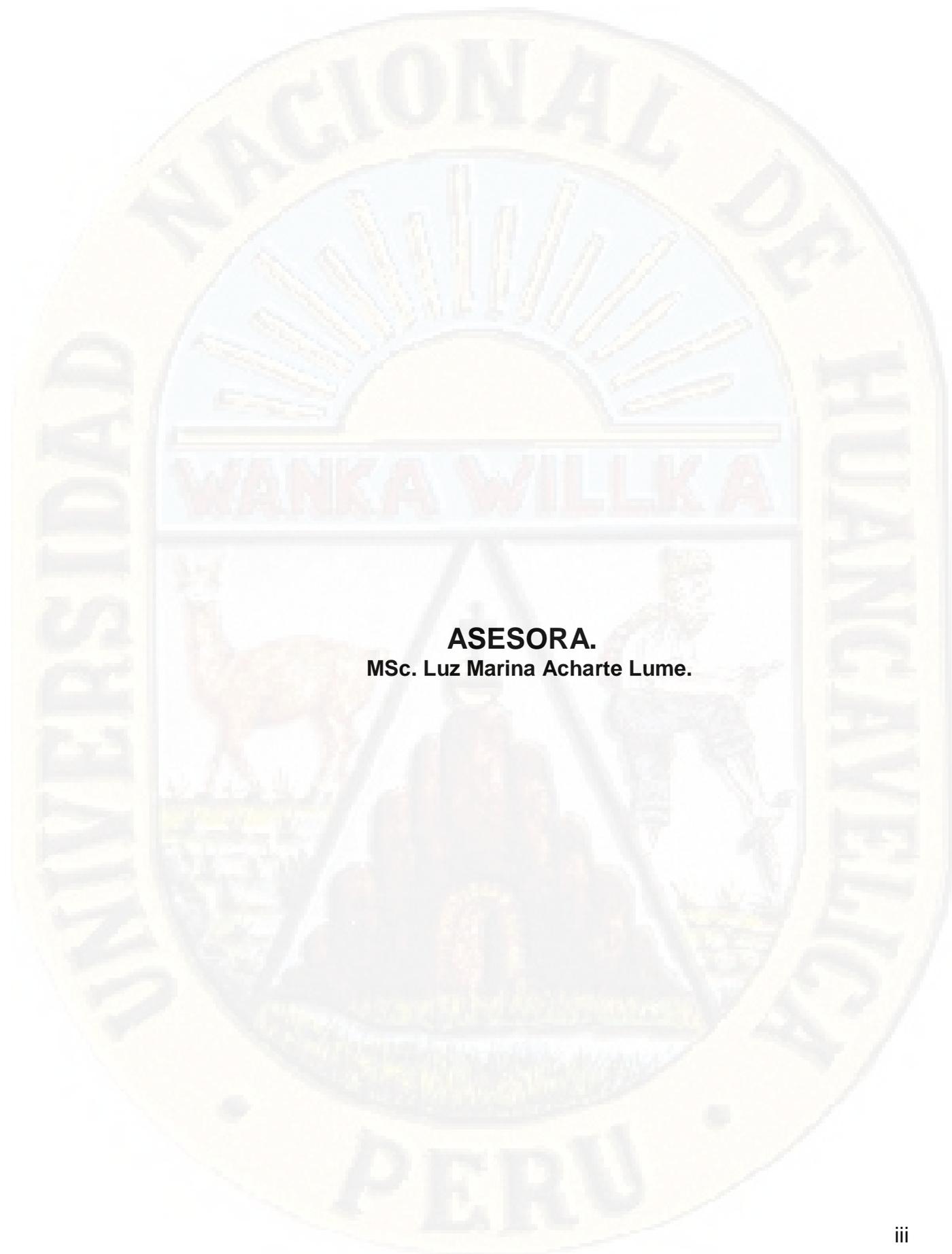
Con el calificativo: Aprobado Por: UNANIMIDAD
Desaprobado

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veintinueve días del mes de octubre del año 2018.

.....
Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo
Presidente del Jurado.

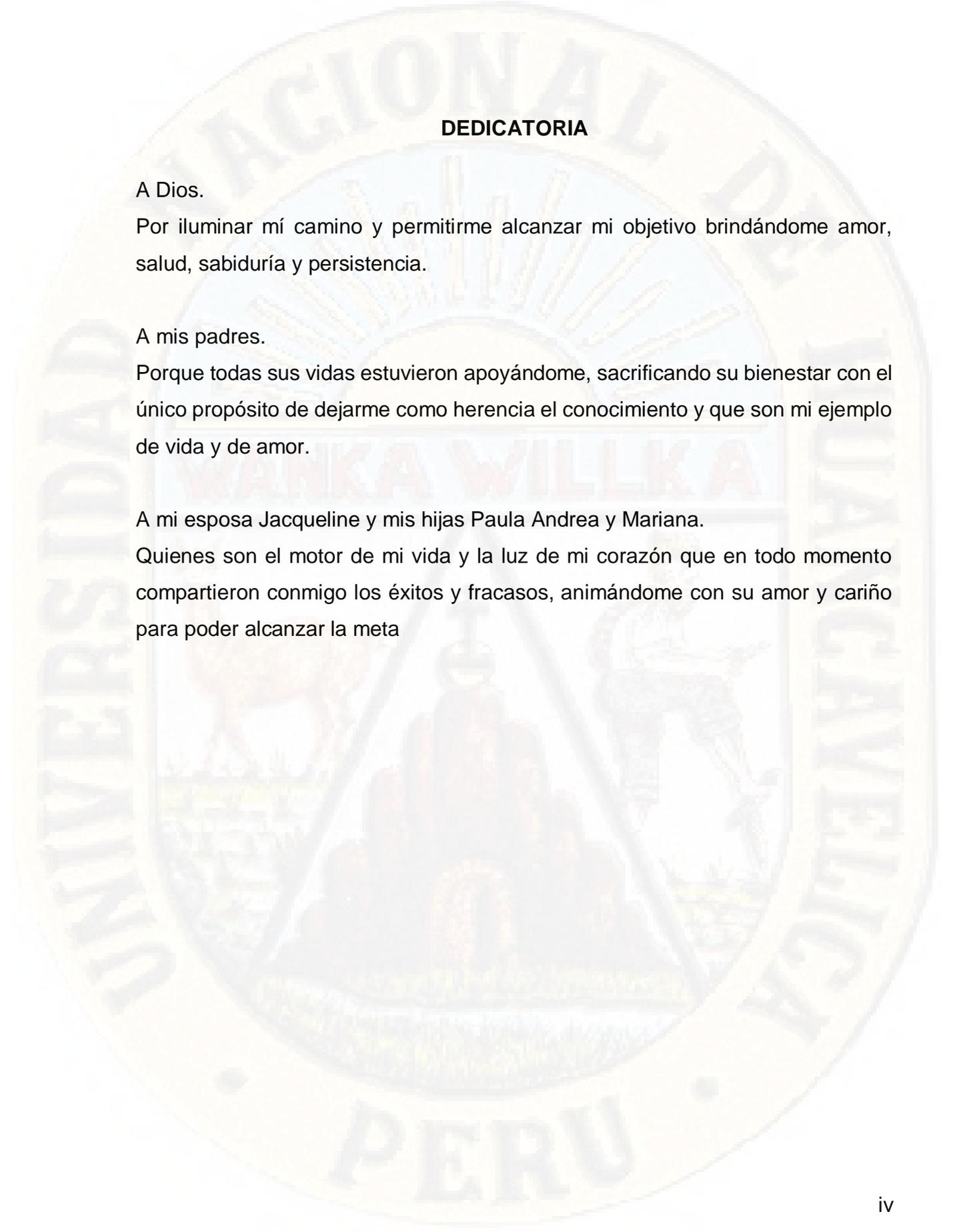
.....
MSc. CANTA CARLOS Paul Percy
Secretario del Jurado

.....
Dr. HUAMANCAJA ESPINOZA Rodrigo
Vocal del Jurado



ASESORA.

MSc. Luz Marina Acharte Lume.



DEDICATORIA

A Dios.

Por iluminar mí camino y permitirme alcanzar mi objetivo brindándome amor, salud, sabiduría y persistencia.

A mis padres.

Porque todas sus vidas estuvieron apoyándome, sacrificando su bienestar con el único propósito de dejarme como herencia el conocimiento y que son mi ejemplo de vida y de amor.

A mi esposa Jacqueline y mis hijas Paula Andrea y Mariana.

Quienes son el motor de mi vida y la luz de mi corazón que en todo momento compartieron conmigo los éxitos y fracasos, animándome con su amor y cariño para poder alcanzar la meta

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora que de forma generosa ha compartido su conocimiento conmigo, permitiendo mejorar mi competencia siendo una persona más útil para la sociedad.

Gracias a la empresa Ingesuelos de Colombia Ltda., que compartió conmigo información valiosa de sus pruebas de campo y experiencias con lo cual he podido fundamentar esta tesis.

A todas las personas que de una u otra forma intervinieron en este trabajo de tesis y que han sido clave para la construcción del conocimiento y la demostración de las teorías que aquí se pretenden exponer.

INDICE

RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPITULO I	1
1. EL PROBLEMA	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.5. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	5
CAPITULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. Ensayo de refracción sísmica.....	10
2.2.2. Ensayo de penetración estándar SPT	16
2.2.3. Ondas sísmicas.....	19
2.2.3.1. Elementos de una onda.....	20
2.2.4. Tipos de ondas sísmicas.....	21

2.2.5. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)	25
2.2.5.1 Análisis de la señal con técnica MASW	26
2.2.5.2 Modelo	27
2.2.5.3 Modos de vibración	28
2.2.5.4 Profundidad del estudio.....	28
2.2.5.5 Procedimiento ensayo MASW:.....	28
2.2.5. Velocidad de onda de corte	31
2.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	32
2.3.1. Hipótesis general.....	32
2.3.2. Hipótesis específicos	33
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	33
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	35
2.5.1. Variable independiente.....	35
2.5.2. Variable dependiente	35
2.5.3. Definición operativa de variables e indicadores	35
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	36
CAPITULO III	39
3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	39
3.1. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	40
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	41
3.5. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	41
3.5.1. Población	41

3.5.2. Muestra.....	41
3.5.3. Muestreo.....	42
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.6.1 Técnicas de recolección de datos	43
3.6.2 Instrumentos de recolección de datos	43
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	46
3.7.1 Correlación de datos	46
3.7.2 Determinación ecuación Ingesuelos.....	47
3.7.3 Análisis de datos	48
3.8. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	49
3.8.1 Planteamiento de la hipótesis.....	49
CAPITULO IV.....	50
4. PRSENTACION DE RESULTADOS.....	50
4.1. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS	50
4.1.1 Presentación de datos.....	50
4.1.1.1 Datos puente Pencil	51
4.1.1.2 Datos puente hacienda.....	54
4.1.1.3 Datos puente Quinchana.....	57
4.1.1.4 Datos Puente Palmito.....	60
4.1.1.5 Datos puente potrerillos.....	63
4.1.1.6 Datos intercambiador Cándido	66
4.1.1.7 Datos locación Vonu.....	69
4.1.1.8 Datos campamento Moqueta 4.....	72
4.1.1.9 Datos locación Prosperidad.....	76

4.1.1.10 Datos conjunto Volterra	79
4.1.1.11 Datos zodme Siriri	83
4.1.1.12 Datos vía acceso Amerisur	86
4.1.2 Interpretación de datos	91
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
4.3 PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS	98
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	106
ANEXOS	111
VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE EN FUNCIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO	113
MATRIZ DE CORRELACION EMPIRICA ENTRE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS s (v_s) Y EL RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, APLICADO A LOS SUELOS DEPARTAMENTO DEL HUILA, PUTUMAYO Y CASANARE- COLOMBIA. ..	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de ejecución del ensayo de Refracción Sísmica... 11	11
Figura 2. Diagrama de trayectorias de ondas directas, reflejadas y refractadas (ángulo crítico) generadas a partir de una fuente..... 12	12
Figura 3. Esquema general de ejecución del ensayo de Refracción Sísmica... 14	14
Figura 4. Tubo partido y sus dimensiones. 17	17
Figura 5. Muestra de sondeo / Sacamuestras. 17	17
Figura 6. Refracción de onda en dos medios..... 19	19
Figura 7. Elementos de una onda 21	21
Figura 8. Tipos de ondas sísmicas. 21	21
Figura 9. Ondas P y sus característicos Movimientos 22	22
Figura 10. Ondas S y sus característicos Movimientos 23	23
Figura 11. Ondas L y sus característicos Movimientos..... 24	24
Figura 12. Ondas Rayleigh y sus característicos Movimientos 25	25
Figura 13. Configuración Ensayo MASW 26	26
Figura 14. Sismógrafo y Adquisición de datos 30	30
Figura 15. Software de procesamiento de ensayo MASW 30	30
Figura 16. Diagrama de Procesos 40	40
Figura 17. Graficas obtenidas MASW 45	45
Figura 18. Correlación de datos..... 94	94
Figura 19. Comparación ecuaciones 100	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tiempos de arribo de ondas P en los diferentes geófonos	13
Tabla 2 Velocidad de las ondas P en las litologías más comunes.....	15
Tabla 3 Definición Operativa de variables.....	36
Tabla 4 Operacionalización de variables	36
Tabla 5 Características Técnico Instrumentales SONDA SPT	44
Tabla 6: Características Técnico del Análisis espectral.....	45
Tabla 7. Resultados SPT Puente Pencil.....	52
Tabla 8: Resultados Refracción Sísmica Puente Pencil.....	52
Tabla 9: SPT vs Refracción Sísmica Puente Pencil.....	53
Tabla 10: resultados SPT Puente Hacienda	55
Tabla 11: Resultados refracción sísmica Puente Hacienda.....	55
Tabla 12: SPT vs Refracción Sísmica Puente Hacienda	56
Tabla 13: resultados SPT Puente Quinchana	58
Tabla 14: Resultados refracción sísmica Puente Quinchana línea 1 traza 4	58
Tabla 15: Resultados refracción sísmica Puente Quinchana línea 2 traza 2	59
Tabla 16: SPT vs Refracción Sísmica Puente Quinchana	59
Tabla 17: resultados SPT Puente Palmito	61
Tabla 18: Resultados de refracción sísmica Puente Palmito	61
Tabla 19: SPT vs Refracción Sísmica Puente Palmito	62
Tabla 20: resultados SPT Puente Potrerillos	64
Tabla 21: Resultados de refracción sísmica Puente Potrerillos	64
Tabla 22: SPT vs Refracción Sísmica Puente Potrerillos.....	65
Tabla 23: resultados SPT Cándido	67
Tabla 24 Resultados de refracción sísmica Cándido	68
Tabla 25 SPT vs Refracción Sísmica Cándido	68
Tabla 26 Resultados SPT Vonu.....	70

Tabla 27 Resultados de refracción sísmica Vonu línea 1 traza 1	71
Tabla 28 Resultados de refracción sísmica Vonu línea 3 traza 2	71
Tabla 29 SPT vs Refracción Sísmica Vonu	71
Tabla 30 resultados SPT Moqueta 4.....	73
Tabla 31 Resultados de refracción sísmica Moqueta 4 línea 1 traza 9.....	74
Tabla 32 Resultados de refracción sísmica Maqueta 4 línea 2 traza 9.....	74
Tabla 33 Resultados de refracción sísmica Maqueta 4 línea 3 traza 8.....	74
Tabla 34 SPT vs Refracción Sísmica Maqueta 4.....	75
Tabla 35 resultados SPT Prosperidad	77
Tabla 36 Resultados de refracción sísmica Prosperidad línea 1 traza 9	78
Tabla 37 SPT vs refracción sísmica Prosperidad	78
Tabla 38 resultados SPT Volterra	80
Tabla 39 resultados de refracción sísmica Volterra línea 3 traza 6 sondeo 1 ...	81
Tabla 40 resultados de refracción sísmica Volterra línea 1 traza 8 sondeo 4 ...	81
Tabla 41 SPT vs refracción sísmica Volterra	82
Tabla 42 resultados SPT Zodme	84
Tabla 43 resultados refracción sísmica Zodme línea 1 traza 1	84
Tabla 44 SPT vs Refracción sísmica Zodme	85
Tabla 45 resultados SPT Amerisur	87
Tabla 46 resultados de refracción sísmica Amerisur línea 1 traza 6.....	90
Tabla 47 resultados de refracción sísmica Amerisur línea 3 traza 6.....	90
Tabla 48 resultados de refracción sísmica Amerisur línea 2 traza 7.....	90
Tabla 49 SPT vs refracción sísmica Amerisur	91
Tabla 50 Compilación de Resultados	91
Tabla 51 Análisis comparativo	95
Tabla 52 Compilación de Resultados	96
Tabla 53 Coeficiente de determinación para los modelos. SCE= Suma de Cuadrados del Error, SCR=Suma de cuadrados de la regresión (modelo)	99
Tabla 54. Velocidad de onda de corte para diferentes perfiles de suelo.....	113

RESUMEN

Con la implementación de técnicas y equipos geofísicos se crea la necesidad de establecer una correlación empírica entre la velocidad de propagación de las ondas (V_s) bajo la propiedad de la velocidad de onda “Rayleigh” de acuerdo al método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) y el resultado del Ensayo de Penetración Estándar –SPT, para el cálculo de parámetros como la capacidad portante, cohesión, ángulo de fricción, entre otros.

La recolección de datos en campo se realizó principalmente de estudios de suelos en los departamentos de Huila, Putumayo y Casanare donde se ejecutaron pruebas de para determinar el N_{SPT} y paralelamente líneas de refracción sísmica para el cálculo de velocidades de onda V_s .

Se realizó análisis de los resultados obtenidos contra fuentes externas correspondientes a investigaciones adelantadas por otros autores con propósitos afines. De igual forma se realizó comparación y análisis de resultados obtenidos empleando la ecuación obtenida en este trabajo y las de otros autores.

Se estableció que existe correlación entre las velocidades de las ondas V_s y los valores obtenidos entre las pruebas N_{SPT} y se pudo determinar que el coeficiente de correlación entre el N_{SPT} y V_s es de 0.8792.

Palabras clave: Onda “Rayleigh”, Ensayo de Penetración Estándar, refracción sísmica.

ABSTRACT

The implementation of geophysical techniques and equipment creates the need to establish an empirical correlation between the wave propagation speed (VS) under the property of the "Rayleigh" wave velocity according to the Multichannel Surface Wave Analysis method (MASW) and the result of the Standard Penetration Test -SPT, for the calculation of parameters such as bearing capacity, cohesion, friction angle, among others.

Data collection in the field was carried out mainly from soil studies in the departments of Huila, Putumayo and Casanare where tests were carried out to determine the NSPT and parallel seismic refraction lines for the calculation of VS wave velocities.

Analysis of the results obtained against external sources corresponding to investigations carried out by other authors with related purposes was carried out. Likewise, a comparison and analysis of results obtained using the equation obtained in this work and those of other authors were carried out.

It was established that there is a correlation between the velocities of the VS waves and the values obtained between the NSPT tests and it was determined that the correlation coefficient between the NSPT and VS is 0.8792.

Key words: Wave "Rayleigh", Standard Penetration Test, seismic refraction.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones del subsuelo en un terreno dado son el resultado de una combinación de procesos naturales en los que intervienen factores topográficos, geológicos, climáticos y antrópicos. El objetivo de la investigación del subsuelo es identificar, localizar y delimitar, tanto horizontal como verticalmente, los diferentes tipos de suelos y rocas en un área dada, relevantes para un proyecto determinado, y caracterizar sus condiciones de ocurrencia, con el objeto de definir las propiedades geotécnicas de los materiales en el subsuelo por muestreo y ensayos de campo y de laboratorio.

En el campo de la geotecnia se han desarrollado e implementado diversos métodos para la caracterización de suelos, recurriendo a pruebas de campo, dentro de las que se destacan el ensayo Down Hole y Cross Hole entre otros, así como las pruebas de laboratorio como el ensayo de Columna Resonante RC. También se ha recurrido a la realización de Ensayo de Penetración Estándar – SPT.

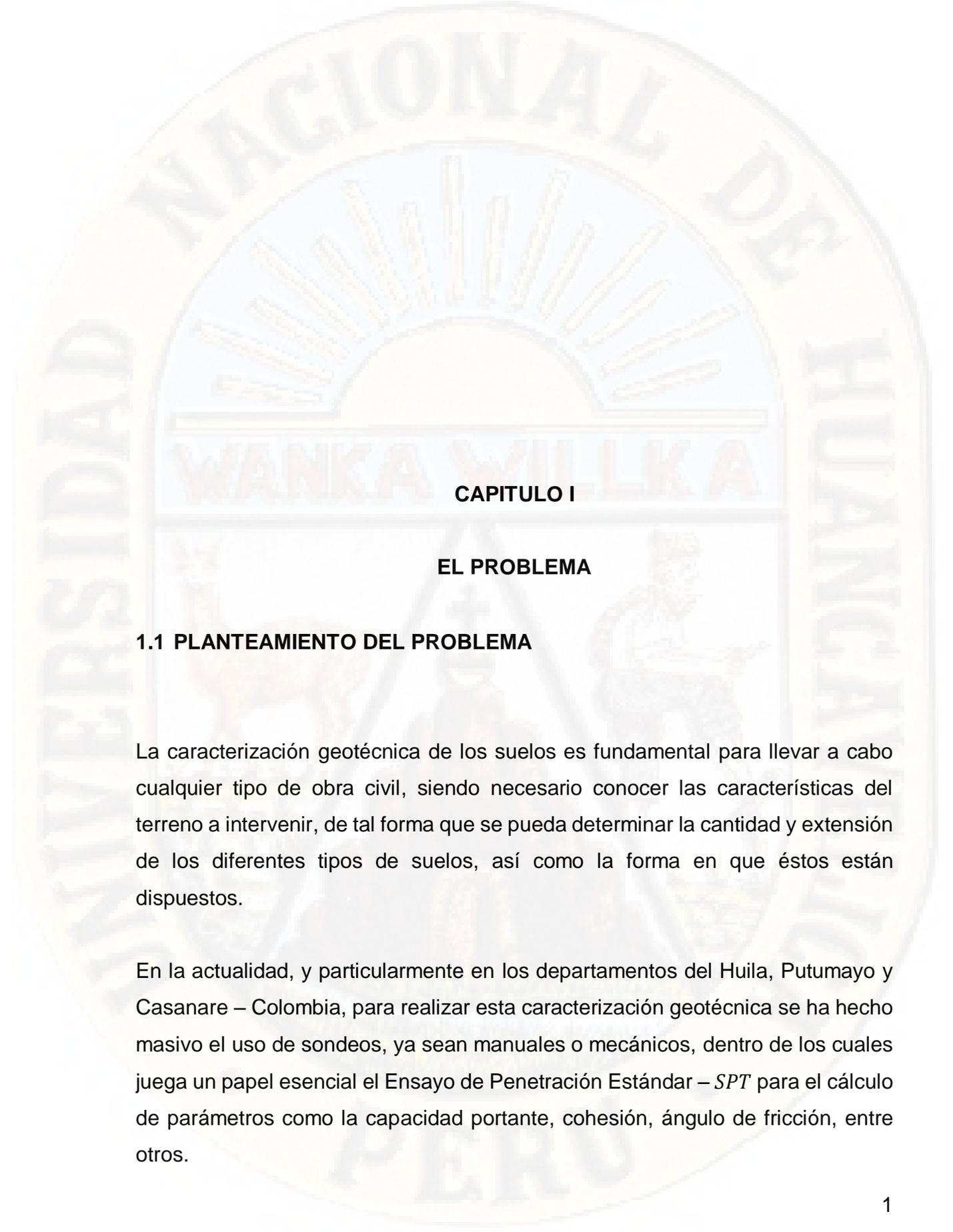
La principal desventaja de los métodos mencionados es la invasión al suelo mediante perforaciones, pues estas aumentan el costo total del estudio, son dispendiosas en presencia de materiales granulares, por lo que presentan profundidad de exploración limitada y la información solo se puede conocer en sitios puntuales, obligando a la interpolación entre diversos puntos de exploración, dando a veces una percepción errónea del suelo.

Adicionalmente, para el caso de los métodos de laboratorio, se requiere de la recuperación de muestras, las cuales son llevadas a dichas instalaciones para ser analizadas y practicarles los procedimientos requeridos, lo cual implica procesos de manipulación y alteración de las condiciones naturales e in situ.

Los métodos geofísicos para exploración geotécnica se dividen o clasifican según el parámetro físico investigado, están los ensayos de gravimetría, los ensayos magnéticos, los ensayos eléctricos, los ensayos radiactivos, los ensayos electromagnéticos y finalmente los sísmicos, como el ensayo de refracción sísmica, donde se estudia la velocidad de propagación de las ondas sísmica.

De esta forma, los métodos geofísicos se plantean como una solución a las problemáticas y dificultades que se presentan tras la aplicación de los métodos tradicionales, teniendo en cuenta que estas prácticas usan técnicas no destructivas y de investigación extensiva, garantizando mayor cobertura y representatividad de los ensayos.

En nuestro caso particular, partimos de los estudios geofísicos realizados por la empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA en zonas de los Departamentos de Huila, Putumayo y Casanare – Colombia, que han sido de exploración directa implementando el Ensayo de Refracción Sísmica y Ensayo SPT de toma de muestra por perforación, abriendo una ventana de estudio y análisis para obtener una correlación empírica entre la velocidad de propagación de las ondas (V_S) bajo la propiedad de la velocidad de onda “Rayleigh” de acuerdo al método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) y el resultado del Ensayo de Penetración Estándar –SPT, para el cálculo de parámetros como la capacidad portante, cohesión, ángulo de fricción, entre otros; aportando un modelo a la Geotecnia Colombiana.



CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La caracterización geotécnica de los suelos es fundamental para llevar a cabo cualquier tipo de obra civil, siendo necesario conocer las características del terreno a intervenir, de tal forma que se pueda determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelos, así como la forma en que éstos están dispuestos.

En la actualidad, y particularmente en los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare – Colombia, para realizar esta caracterización geotécnica se ha hecho masivo el uso de sondeos, ya sean manuales o mecánicos, dentro de los cuales juega un papel esencial el Ensayo de Penetración Estándar – *SPT* para el cálculo de parámetros como la capacidad portante, cohesión, ángulo de fricción, entre otros.

Si bien el *SPT* es el ensayo más utilizado en la realización de sondeos para la caracterización de los suelos, éste presenta limitaciones tales como:

- Al ser un ensayo puntual, tan solo permite la caracterización del espesor de suelo ensayado.
- Requiere de la ejecución de múltiples ensayos a diferentes profundidades para caracterizar los suelos encontrados en un sondeo.
- La prospección geotécnica realizada mediante sondeos y por consiguiente *SPT*, requiere múltiples sondeos para determinar la extensión y características de los suelos presentes en la zona de estudio.
- Cuando el suelo presente en la zona de estudio es de características aluviales, el *SPT* se vuelve poco fiable al mostrar rechazo si se encuentra con un sobre – tamaño, requiriendo la realización de un nuevo sondeo y descartando el existente.

Todas estas limitaciones hacen que la caracterización de estos suelos mediante sondeos y ensayo *SPT* sea demorada, dispendiosa, costosa y en ocasiones poco fiable.

No obstante, los resultados obtenidos a partir del Ensayo de Penetración Estándar – *SPT*, son aceptados a nivel mundial, por lo que se hace necesario realizar la prospección geotécnica mediante métodos más eficientes, como los geofísicos por medio de Refracción Sísmica, que supriman las limitaciones mencionadas en el *SPT*, pero que obtengan resultados igual de confiables y que no generen traumatismos en los métodos de diseño geotécnico establecidos actualmente.

Por ello, nuestro estudio se enfocó en realizar un análisis comparativo del ensayo de Penetración Estándar *SPT* y el estudio de Refracción Sísmica en los

Departamento del Huila, Putumayo y Casanare - Colombia donde la empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA tiene mayor campo de acción laboral para la obtención de una correlación empírica de la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) bajo la propiedad de la Velocidad de onda Rayleigh de acuerdo al Método MASW “ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES”; aportando un modelo a la Geotecnia Colombiana.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema general

¿Cómo obtener una correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia a la penetración estándar, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son los resultados obtenidos del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar SPT , aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?
- b) ¿Cómo se evaluaría desde el punto de vista técnico y económico las ventajas y desventajas del uso del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar SPT , aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?
- c) ¿Cómo se obtendrían las propiedades mecánicas de los suelos de manera indirecta mediante la correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) y $NSPT$, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Obtener una correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia a la Penetración Estándar NSPT, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Analizar y comparar los resultados obtenidos del Ensayo de Penetración Estándar SPT y del Ensayo de Refracción Sísmica aplicando el Método MASW, logrados en diferentes estudios realizados por INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA, para la caracterización de los suelos en los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare - Colombia.
- b. Evaluar desde el punto de vista técnico y económico las ventajas y desventajas del uso del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar – N_{SPT} , V_s la Velocidad de Propagación de onda S (V_s).
- c. Obtener las propiedades mecánicas de los suelos de manera indirecta mediante la correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) y $NSPT$ en los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los estudios de prospección geotécnica y caracterización del suelo en los Departamentos del Huila, Putumayo y Casanare– Colombia, se distingue por ser invasivos (sondeos manuales o mecánicos), mediante el uso del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar - N_{SPT} y Ensayo de Penetración con Cono – CPT entre otros, no obstante, cuando las zonas de estudio son amplias, este

método de prospección pierde eficacia, tornándose lento y dispendioso al requerir de un número importante de sondeos para poder determinar los tipos de suelos de la zona de estudio.

Por otro lado, los métodos de diseño geotécnico empleados actualmente muestran gran aceptación respecto a los resultados obtenidos a partir del N_{SPT} , por lo que se hace necesario la implementación de una metodología que pueda correlacionar métodos de prospección geotécnica más eficientes, como la Refracción Sísmica con los resultados obtenidos a partir del SPT , para volver más eficaz y exacta la obtención de datos en campo.

Existen correlaciones empíricas de Velocidad de propagación de onda S (V_S) y de Ensayo Resistencia a la Penetración Estándar N_{SPT} que han sido obtenidas en suelos nativos donde la Geomorfología difiere a la existente en Colombia, de esta necesidad, nace nuestra investigación que desea obtener una correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (V_S) bajo la propiedad de la Velocidad de onda Rayleigh de acuerdo al Método MASW y el Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar N_{SPT} , logrando parámetros fiables y representativos de los suelos que se desean caracterizar, validando un perfil estratigráfico de una forma más confiable y rápida; disminuyen los costos y el margen de error en los resultados obtenidos por la fase de laboratorio en la captación y/o alteración de la muestra (AGUAY & DRANICHNIKOV, 2012).

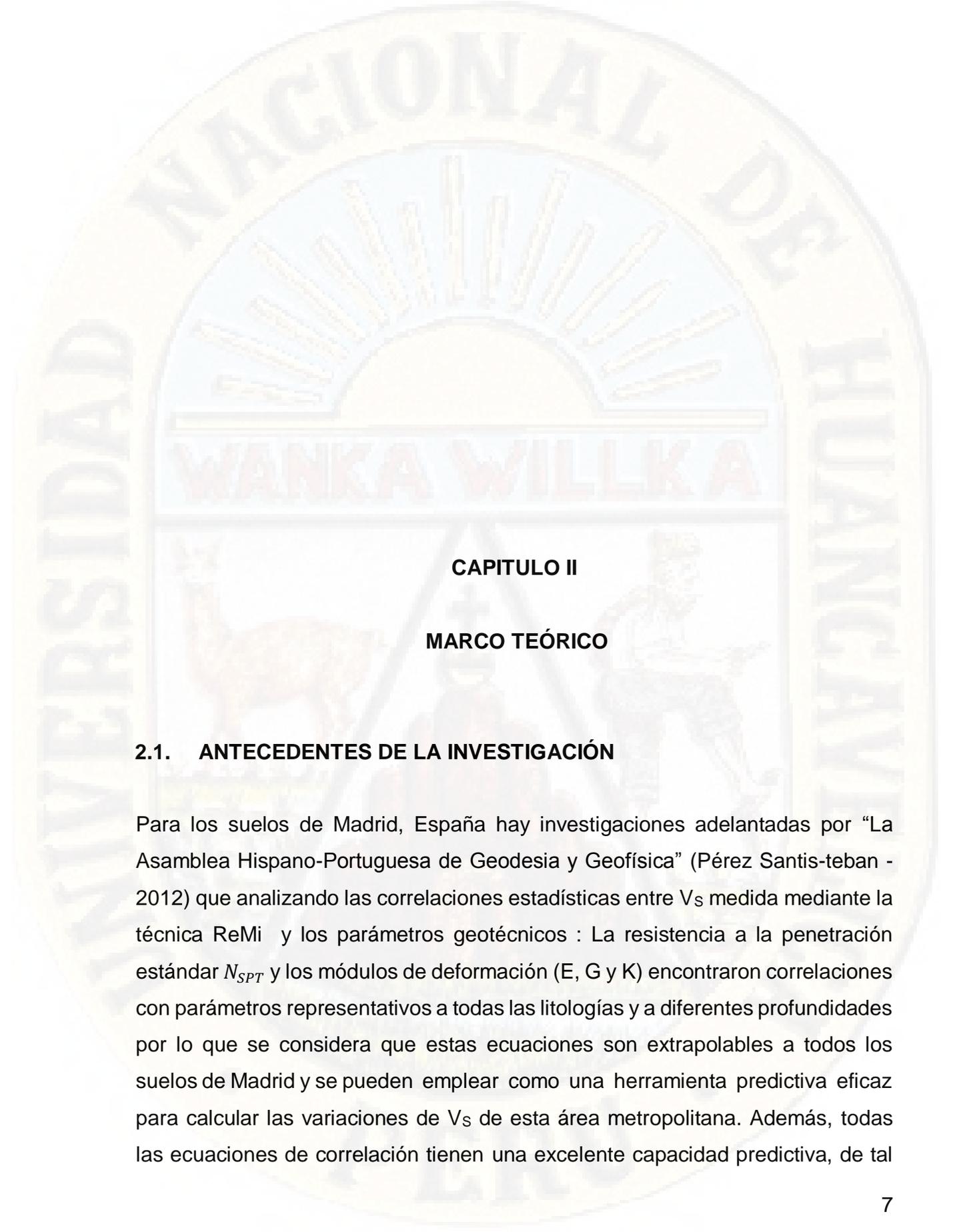
1.5. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

En Colombia, se cuenta con regulaciones normativas para los diferentes escenarios de la ingeniería civil que son de obligatorio cumplimiento, es el caso de la Norma sismorresistente (NSR-10) para diseño de estructuras en donde sus títulos A y H caracterizan los suelos dependiendo de la velocidad de ondas, siendo parámetro de gran importancia, pero muy poco común que se realice dado

a los costos que representa. Por tanto, se recurre a las correlaciones desarrolladas en diferentes partes del mundo y para obtener una correlación propia que se ajuste a los suelos del Huila, Putumayo y Casanare.

Existen evidencia de estudios geotécnicos realizados en los Departamentos del Huila, Putumayo y Casanare – Colombia, que permiten analizar y comparar, desde el punto de vista técnico y económico, los resultados obtenidos de Velocidad de Propagación de onda S (V_s) bajo la propiedad de la Velocidad de onda Rayleigh de acuerdo al Método MASW a partir del Ensayos de Refracción Sísmica y el Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar N_{SPT} realizados al mismo suelo, facilitando la adquisición de información base que permita la elaboración de una fórmula matemática que correlacione la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) con el Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar – N_{SPT} para los suelos presentes.

Por otro lado, se cuenta con el apoyo económico y profesional de la empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA., quienes buscan estar a la vanguardia tecnológica en métodos de prospección y diseño geotécnico aplicado al desarrollo de la infraestructura colombiana.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para los suelos de Madrid, España hay investigaciones adelantadas por “La Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica” (Pérez Santis-teban - 2012) que analizando las correlaciones estadísticas entre V_s medida mediante la técnica ReMi y los parámetros geotécnicos : La resistencia a la penetración estándar N_{SPT} y los módulos de deformación (E, G y K) encontraron correlaciones con parámetros representativos a todas las litologías y a diferentes profundidades por lo que se considera que estas ecuaciones son extrapolables a todos los suelos de Madrid y se pueden emplear como una herramienta predictiva eficaz para calcular las variaciones de V_s de esta área metropolitana. Además, todas las ecuaciones de correlación tienen una excelente capacidad predictiva, de tal

modo que más del 70% de los parámetros calculados tienen menos de un 20% de error respecto a los medidos in situ.

También en la ciudad de Guayaquil, Ecuador llevaron a cabo una campaña de medición de las ondas de superficie generadas por una fuente activa (martillos, bulldozers) de vibraciones aleatorias de alta y baja frecuencia respectivamente. La dispersión de onda de superficie en 14 sitios previamente seleccionados fue registrada con la técnica SASW. Adicionalmente, en los mismos 14 sitios ejecutaron ensayos “in Situ”, como: CPT, DPT, VST, y SPT. De esta manera mediante ecuaciones de correlación pudieron caracterizar dinámicamente el subsuelo de Guayaquil por medio de ecuaciones semiempíricas estimadas logrando estimar la variabilidad espacial de las propiedades dinámicas (tales como el módulo de rigidez máxima $G_{m\acute{a}x} = \rho V_S^2$) del suelo de Guayaquil por medio de ecuaciones calibradas al medio. (Jenny Ramírez Calderón, Eddie Tandazo Ortega y Xavier Vera – 2006).

En el ámbito de la Ingeniería Civil y la minería es indispensable conocer el tipo de suelo sobre el cual se ha de proyectar una estructura o sobre el cual se prevé el desarrollo de actividad minera, pues la experiencia ha demostrado que existen diferencias sustanciales en la conformación, disposición, estratificación, propiedades físicas y mecánicas de los suelos, aun estando en un mismo terreno.

En Colombia, a nivel nacional y departamental han surgido iniciativas que proponen la caracterización geológica y geotécnica de los suelos, mediante la identificación de métodos geofísicos que incrementen el manejo de la información, reduciendo costos y garantizando un correcto conocimiento de las características del terreno.

Como producto de este ambicioso plan, en la actualidad, cada uno de los departamentos del territorio colombiano cuenta con estudios que han permitido dividir cada una de las ciudades y regiones en micro zonas que tienen comportamientos relativamente homogéneos frente a la respuesta sísmica, ofreciendo así una línea base para el desarrollo de estudios de campo.

Las principales pruebas geofísicas de campo empleadas actualmente son de Refracción Sísmica - Reflexión Sísmica, *Down Hole-Up Hole*, *Cross Hole* y diversos métodos de onda de superficie. Las tres primeras se han usado desde la década de 1970, mientras que las ondas de superficie a partir de 1980.

En cuanto a correlaciones con velocidades de onda de corte V_s , para la determinación de perfiles de V_s es relativamente factible y que los costos resultan marginales comparados con las perforaciones tradicionales, su ejecución no se ha extendido en el país. Debido a ello, se acude a la utilización de correlaciones empíricas desarrolladas en diferentes partes del mundo.

Algunos de los autores de estas correlaciones existentes son Imai, T. and Yoshimura, Y. (1970), calcularon la velocidad de propagación en suelos blandos; Imai, 1977 para Arcillas (Holoceno y Pleistoceno) y Arenas (Holoceno y Pleistoceno); Ohta y Goto, 1978; por su parte formularon una correlación empírica para todo tipo de suelos y Japan Road Association, 2002, para Arenas y Arcillas, entre otros autores.

Hoy por hoy existe gran interés por evaluar el comportamiento sísmico de los terrenos en un entorno urbano, lo que resulta esencial para aspectos de reglamentación urbana, y para los parámetros específicos de diseño y construcción sismo resistente. Incluso la legislación así lo estipula para ciudades según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

En la actualidad, la empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA viene realizando diseños de obras en Ingeniería Civil y estudios Geotécnicos desde 1989, siendo una empresa pionera a la vanguardia de nuevas tecnologías, promoviendo el uso del Método de Refracción Sísmica y Análisis de Penetración Estándar a nivel nacional y centrando su interés por su incidencia laboral en los Departamentos del Huila, Putumayo y Casanare.

A nivel nacional, se realizó un estudio para Arcillas en la ciudad de Bogotá DC donde se obtuvo una correlación empírica, por parte de (ALFARO CASTILLO, 2007), a nivel Internacional se conoce la correlación para suelos de Madrid por parte de (Pérez-Santisteban, Muñoz, Carbó Gorosabel, & Ruiz Fonticiella, 2012), entre otras correlaciones empíricas formuladas entre la velocidad de Onda S resultante de métodos de refracción sísmica y el N número de golpes por parte del Ensayo de penetración estándar para el conocimiento de las características del suelo.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Ensayo de refracción sísmica

Estos métodos miden el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y su llegada a diferentes puntos de observación. Para esto se dispone una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción o reflexión sísmica.

“A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas, (con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos), las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas

por cada uno de los sensores en el tendido de acuerdo a la Ley de Refracción Sísmica y el Principio de Huygens & Fermat” (APONTE G., 2011).

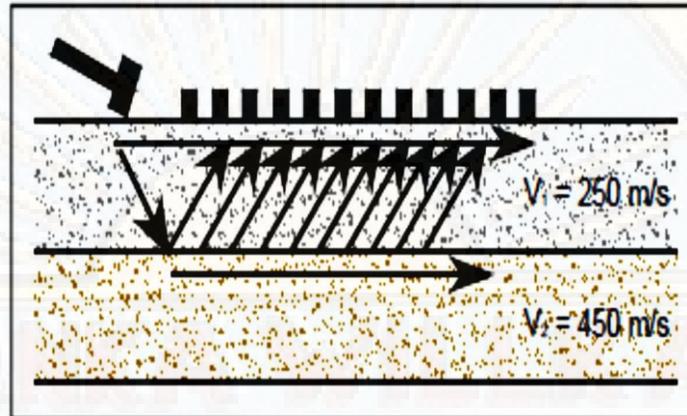


Figura 1. Esquema general de ejecución del ensayo de Refracción Sísmica

El equipo básico consiste de los sensores; la unidad de adquisición, en donde se almacenan los movimientos del terreno detectados por cada sensor; los cables de conexión entre los sensores y la unidad de adquisición, así como el cable del trigger, que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición.

“Los registros de cada sensor tienen información de los movimientos del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas. Estos son analizados en la refracción sísmica para obtener el tiempo de llegada de las primeras ondas a cada sensor desde el punto de disparo, y en la reflexión para obtener información de las ondas que son reflejadas en las diferentes interfaces de suelo, para lo cual se estudia el sismograma completo” (APONTE G., 2011).

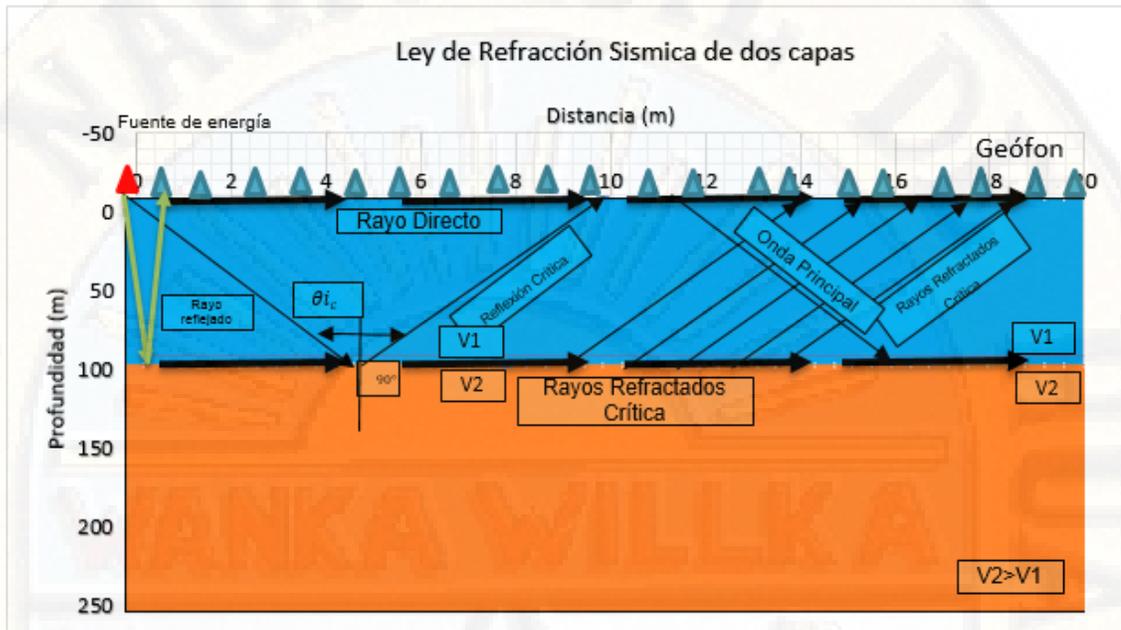


Figura 2. Diagrama de trayectorias de ondas directas, reflejadas y refractadas (ángulo crítico) generadas a partir de una fuente.

“La representación gráfica de los tiempos que tardan las ondas en alcanzar los geófonos, en función de las distancias al origen de la fuente, se denomina “Dromocrona”. Esta gráfica está compuesta a su vez de varias gráficas (al menos dos rectas y una parábola), que representa cada una a una onda distinta (ARLANDI RODRIGUEZ, 2013)”:

- La parábola representa la **onda reflejada**, que es la última en llegar. Su ecuación es $t_2 = t_0^2 + \frac{x_2^2}{v_1^2}$, donde t_0 es la ordenada de la curva reflejada en el origen.
- La segunda recta representa la **onda refractada** en la interface entre la primera y la segunda capa. Su ecuación es $t = T_1 + \frac{x}{v_2}$, donde v_2 es la velocidad de la segunda capa y T_1 es el tiempo en el origen de la primera

capa. Así mismo, según la Ley de Snell, se verifica que $\text{sen } ic = \frac{v_1}{v_2}$, donde ic es el ángulo de incidencia.

Tabla 1 Tiempos de arribo de ondas P en los diferentes geófonos

Tiros Geófonos	Distancia (m)	Tiempo para T1 (milisegundos)	Tiempo para T2 (milisegundos)
T1	0		
1	3	6	35
2	9	10	34
3	15	13	33
4	21	16	31
5	27	20	30
6	33	23	29
7	39	27	26
8	45	30	23
9	51	31	19
10	57	33	15
11	63	35	10
12	63	36	5
T2	72		

Fuente: PÉREZ, S. (2013). Velocidades sísmicas de las unidades aflorantes en el flanco occidental de la Sierra de la Invernada, precordillera de San Juan.

En la tabla 1 se observa un ejemplo de los tiempos de arribo de ondas P (columnas 3 y 4) en los diferentes geófonos indicados en la columna 1 y ubicados según indica la progresiva (columna 2) para las posiciones de los puntos de emisión de energía T_1, T_2 .

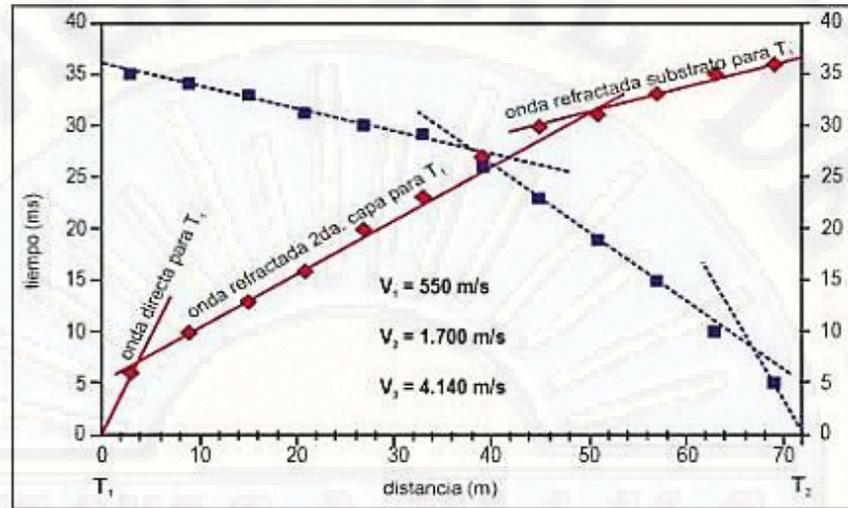


Figura 3. Esquema general de ejecución del ensayo de Refracción Sísmica.

Las velocidades de las distintas capas se obtienen como la inversa de las pendientes de las rectas de la onda directa y la refractada. El espesor de la primera capa se obtiene a partir de la siguiente ecuación, derivada de sencillas relaciones geométricas:

$$H = \frac{X_B}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Donde:

H = Espesor de la primera capa

X_B = Abscisa del primer codo de la dromocronica (*Cross-Over Point*)

V_1 Y V_2 = Velocidades respectivas de la primera y segunda capa

Para determinar el tipo de terreno presente en las capas del subsuelo, es muy útil valorar la velocidad de propagación de onda longitudinal de las mismas. A continuación, se incluye una tabla con los valores característicos de las litologías más estudiadas:

Tabla 2 Velocidad de las ondas *P* en las litologías más comunes.

Tierra suelta	250 – 400 m/s	Pizarras	2500 – 4500 m/s
Limos y arenas flojas	350 – 500 m/s	Margas	2500 – 4500 m/s
Arenas y gravas sueltas	400 – 900 m/s	Calizas	3000 – 5500 m/s
Arenas y gravas sueltas saturadas	1500 – 1800 m/s	Areniscas	2000 – 4500 m/s
Agua	1450 – 1600 m/s	Granitos	3500 – 5500 m/s
Arcillas	900 – 2500 m/s	Sal	4000 – 5000 m/s

Fuente: GARCÍA, A. (2003). Temas de Geología Aplicada a las Obras Públicas.

Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

La refracción sísmica se utiliza generalmente para encontrar la profundidad de la roca y para estimar el proceso de excavación de suelos y rocas. Entre las limitaciones de este método se destaca el contraste entre la facilidad para determinar la velocidad de ondas primarias o de compresión (V_p) en relación con la dificultad para evaluar la velocidad de ondas secundarias o de corte (V_s). Además, sólo es posible detectar con confiabilidad estratos con rigideces progresivamente mayores con la profundidad que tengan un contraste de velocidad bien definido.

Para el caso de investigaciones urbanas, el método está limitado por la disponibilidad de zonas descubiertas con suficiente extensión, y las limitaciones que producen vibraciones ambientales (ruido) para la adecuada identificación del tiempo de arribo de las señales. La longitud del tendido en superficie está directamente relacionada con el alcance de la exploración en profundidad.

En función del tipo de fuente emisora utilizada en la generación de las ondas sísmicas, el contenido en ondas *P* y *S* es diferente. Por ejemplo, para explosivos

el contenido en ondas P es mayor particularmente cuando se utilizan grandes cantidades y se detona cerca de la superficie del suelo. Las fuentes de tipo mecánico son impactos verticales y cargas torsionales en la base del sondeo. Los impactos verticales también tienen un contenido elevado en ondas P , por ello se recomienda utilizar impactos horizontales en la superficie del suelo que generan mayor contenido en ondas S y ondas Rayleigh (APONTE G., 2011)".

2.2.2. Ensayo de penetración estándar SPT

El ensayo de penetración estándar (Standard Penetration Test) SPT , determina las propiedades ingenieriles de los suelos y su aplicación a los problemas geotécnicos. Su metodología incluye la penetración dinámica de un elemento captor (cuchara partida), el cual normalizado y debidamente calibrado permite cuantificar algunas propiedades mecánicas del suelo debido a la sencillez de su ejecución este ensayo es el más económico y usado en la exploración de suelos pero con la desventaja de alterar la muestra in situ del suelo. Ver Figura No. 4.

El ensayo consiste en hincar un toma muestras o cuchara partida (Imagen No. 1), de 0,45 m (18 in) de largo colocado al extremo de una varilla de acero macizo que se utiliza para transmitir la energía de golpeo, por medio de un peso (martillo) de 63,5 kg (140 lb) que se deja caer libremente desde una altura de 0,76 m (30 in). Todo el procedimiento se contabiliza y se anota el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los primeros 15 cm, N entre 0 y 15 cm.

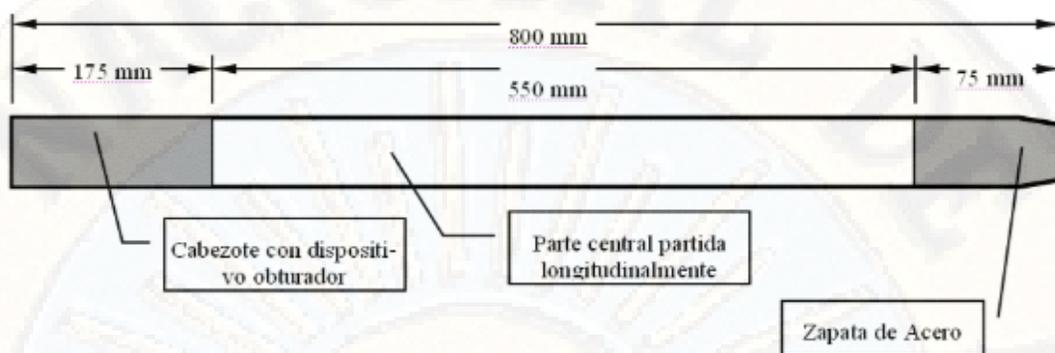


Figura 4. Tubo partido y sus dimensiones.



Figura 5. Muestra de sondeo / Sacamuestras.

Seguidamente se realiza la prueba en sí, introduciendo otros 30 cm, anotando el número de golpes requerido para la hincia en cada intervalo de 15 cm de penetración N entre 15 y 30 cm y N entre 30 y 45 cm.

El resultado del ensayo es el golpeo SPT o resistencia a la penetración estándar:

$$N_{SPT} = N_{15-30} + N_{30-45}$$

El conteo para los primeros 15 cm es tomado para propósitos de referencia, pero no es usado para el cálculo de N , dado que el suelo podría estar alterado por

efectos del proceso utilizado durante la ejecución del sondeo originando suelo suelto en la superficie.

Si el número de golpes requerido para profundizar en cualquiera de estos intervalos de 15 cm, supera los 50, el resultado del ensayo deja de ser la suma anteriormente indicada, para convertirse en rechazo (R), debiéndose anotar también la longitud hincada en el tramo en el que se han alcanzado los 50 golpes.

La cuchara SPT suele tener una longitud interior de 60 cm, por ello es frecuente hincar mediante golpeo hasta llegar a esta longitud, por lo que se tiene un resultado adicional que es el número de golpes N entre 45 y 60 cm. Proporcionar este valor no está normalizado, no constituye un resultado del ensayo, solo tiene una función indicativa.

Para poder utilizar el ensayo SPT se necesita realizar una serie de correcciones las que no se toman en cuenta en la mayoría de los casos al ejecutar el ensayo.

Estas correcciones que en definitiva son de eficiencia de los sistemas relativos en el proceso, pueden resumirse como:

$$N_{60} = (N * ER)(E_C * E_I * E_D * E_S)$$

Donde:

N_{60} = se interpreta como la energía que llega a la cabeza de golpeo cuando $ER = 60\%$.

ER = Relación de energía a la barra.

E_C = Relación de energía debido al peso de la cabeza de golpeo.

E_I = Relación de energía por reflexión de la onda de compresión en las barras.

E_D = Relación de energía que contempla el diámetro de la perforación.

E_s = Relación de energía que tiene en cuenta el diámetro interno del sacamuestras. (Método convencional basado en ensayo de penetración estándar SPT “Normas ASTM D 1586, INV 111”, 2013).

2.2.3. Ondas sísmicas

“Las ondas sísmicas consisten en un pequeño paquete de energía elástica de deformación que viaja desde la fuente sísmica hasta el subsuelo a velocidades que dependen del módulo de elasticidad y densidades en el medio en el cual viajan. El material se mantiene o no dentro del rango elástico dependiendo de factores como la magnitud y orientación del esfuerzo y el tiempo al cual es sometido el material (VILLAMIZAR, 2011)”.

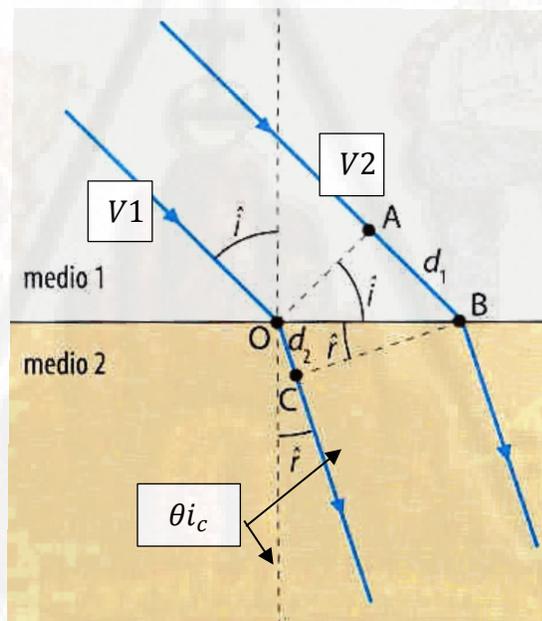


Figura 6. Refracción de onda en dos medios.

2.2.3.1. Elementos de una onda

Una onda consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, implicando un transporte de energía sin transporte de materia. El espacio perturbado puede contener materia (aire, agua, etc) o no (vacío), los elementos de una onda son:

- **Amplitud (A):** Altura alcanzada por la onda medida sobre el nivel de referencia.
- **Periodo (T):** Tiempo entre las repeticiones sucesivas de la onda, medida en segundos.
- **Frecuencia (f):** Número de onda por unidad de tiempo. Se define como el inverso de la frecuencia. Su unidad Hz .
- **Longitud de onda (λ):** Distancia entre sucesivas repeticiones de la onda. Medida en metros.
- **Número de onda K ($\frac{1}{\lambda}$):** Número de onda por unidad de distancia. Su unidad es $1/metros$.
- **Fase (θ):** Desplazamiento en fracciones de ciclos, de un punto dado sobre la onda.
- **Velocidad (V):** Número de ondas por unidad de tiempo que pasan por un mismo punto. $V = \lambda \times f$.

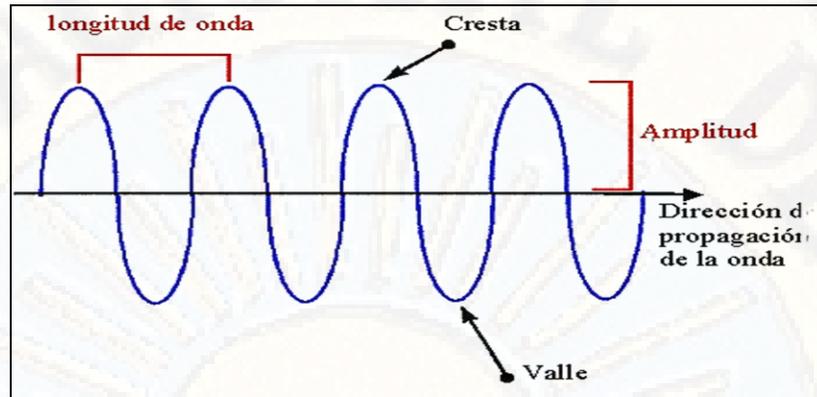


Figura 7. Elementos de una onda

2.2.4. Tipos de ondas sísmicas

“Existen dos tipos principales de ondas sísmicas, aquellas que viajan a través del medio propiamente dicho, llamadas ondas de cuerpo, y aquellas que viajan a lo largo de las interfaces, llamadas ondas de superficie (MONTENEGRO, 2005)”.

La señal sísmica se puede descomponer en varias fases, cada una de las cuales identifica el movimiento de las partículas embebidas por las ondas sísmicas. Las fases pueden ser (Geostru Software, 2015):

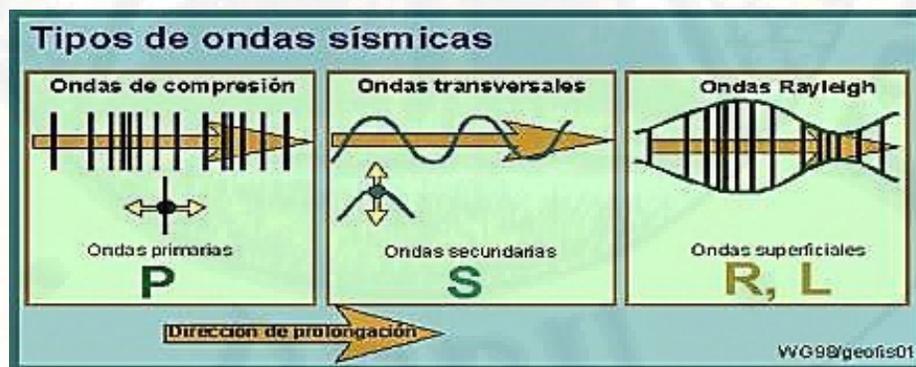


Figura 8. Tipos de ondas sísmicas.

a) **Ondas sísmicas corporales:** Son ondas elásticas que se propagan en el interior de la tierra. En prospección de reflexión y refracción, las ondas corporales son la fuente de información usada para representar el interior de la tierra, debido a la propagación en todas las direcciones lejos de la fuente. Las ondas corporales se pueden dividir en dos clases: Ondas *P* y Ondas *S* (MONTENEGRO, 2005).

- **Ondas *P*:** También llamadas longitudinales, primarias, de compresión o empuje. La generación de este tipo de ondas es a partir de la oscilación de partículas del suelo, por compresión y dilatación, con respecto a puntos fijos en la dirección de propagación, se propagan en el medio más rápido que los otros tipos de ondas, las partículas que constituyen el medio son desplazadas en la misma dirección que la propagación de la onda. Las ondas *P* son análogas a las ondas sonoras que se propagan en el aire (VILLAMIZAR, 2011).

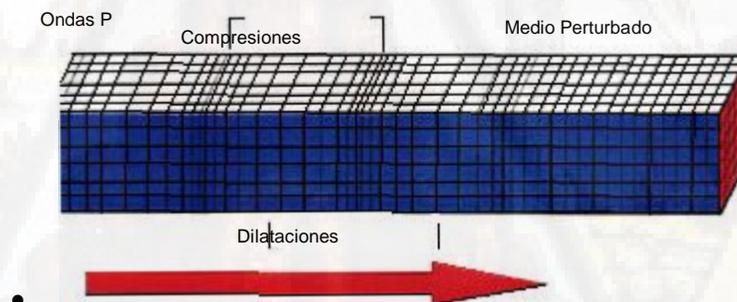


Figura 9. Ondas P y sus característicos Movimientos

- **Ondas *S*:** Conocidas también como ondas transversales secundarias o de corte. El movimiento de partículas en este caso ocurre perpendicular a la dirección de propagación por efecto de esfuerzo de corte. Las ondas *S* pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar

esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor de 58% de la de una onda P para cualquier material sólido (VILLAMIZAR, 2011).

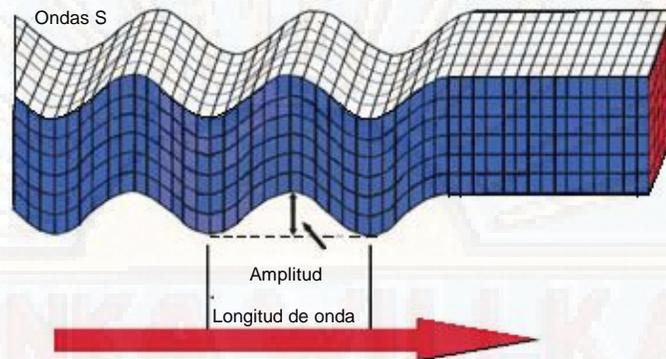


Figura 10. Ondas S y sus característicos Movimientos

b) Ondas Sísmicas Superficiales: Son Ondas que se propagan a lo largo de la superficie de la tierra. Sus amplitudes en la superficie de la Tierra pueden ser muy largas, sin embargo, decaen exponencialmente con la profundidad. Se propagan más lentamente que las ondas S , se generan con menor eficiencia por fuentes enterradas y tienen amplitudes que decaen más lentamente con la distancia desde la fuente, que las observadas en las ondas corporales (MONTENEGRO, 2005).

De estas ondas hay dos tipos, ondas Rayleigh y ondas love. Las ondas superficiales tienen la característica de que cambian de forma mientras viajan, debidos a que los diferentes componentes de las frecuencias que las constituyen se propagan a diferentes velocidades, lo cual se conoce como onda de dispersión. Los patrones de dispersión son indicativos de la estructura de velocidad a través de la cual viaja la onda (PUMA, 2013).

- **Ondas love:** Ocurren solo en donde un medio con ondas S de baja

velocidad suprayace a una capa con ondas S de mayor velocidad. El movimiento de partículas ocurre en la dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda, pero paralelo a la superficie (ARGUDO, 2011).

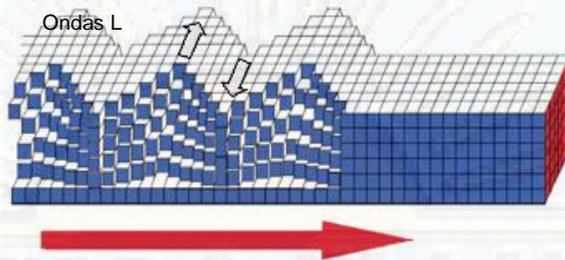


Figura 11. Ondas L y sus características Movimientos.

- **Ondas Rayleigh:** Viajan a lo largo de la superficie libre de la tierra con amplitudes que disminuyen exponencialmente con la profundidad. El movimiento de las partículas es en sentido elíptico retrogrado (en dirección de las agujas del reloj) en un plano vertical con respecto a la superficie, como contienen componentes de corte solo viajan a través de medios sólidos. Su velocidad de propagación que se define como velocidad de fase C_r , es determinada principalmente por la velocidad V_s de los materiales. La relación entre ambas se expresa como $C_r = 0.94 V_s$ (VILLAMIZAR, 2011).

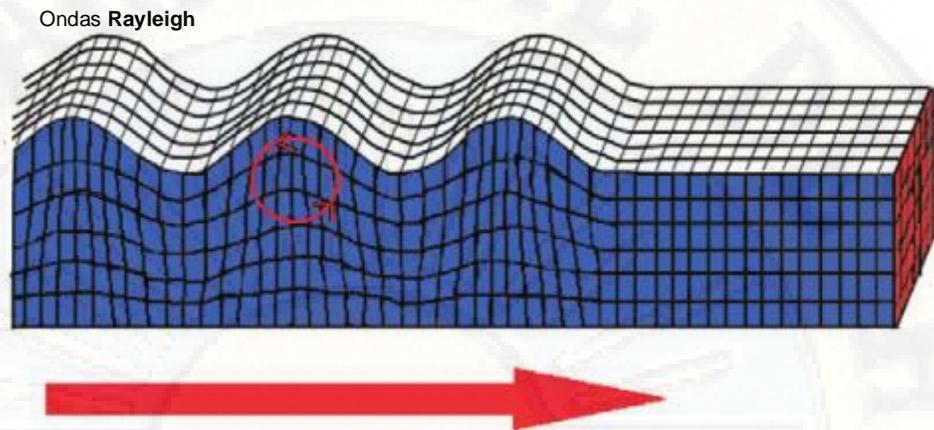


Figura 12. Ondas Rayleigh y sus característicos Movimientos

Se considera que estas ondas son las principales causantes de las sacudidas sentidas durante la ocurrencia de un terremoto, por lo tanto, son las principales responsables de los daños causados a las estructuras durante el desarrollo de estos fenómenos. El *ground roll* es un tipo particular de ondas Rayleigh y viaja a lo largo o cerca de la superficie del suelo. Aunque el *ground roll* es considerado ruido en estudios de ondas corporales (en reflexión y refracción), sus propiedades dispersivas son usadas para inferir propiedades elásticas cercanas a la superficie (VILLAMIZAR, 2011)".

La geofísica analiza el comportamiento de las ondas que se propagan al interno de un material. De hecho, las señales sísmicas se modifican en función de las características del medio que atraviesan. Dichas ondas se pueden generar artificialmente usando martillo, explosivo, etc (Geostru Software, 2015).

2.2.5. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), es un método no

destrutivo, se usa para evaluar la velocidad de onda de corte (V_s), vinculado al mismo módulo de corte (G). Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park et al., 1999).

Los registros se realizan con 12 o más geófonos en distancias cortas y largas desde una fuente impulsiva o vibratoria, que proporcionan una redundancia estadística para medir las velocidades de fase. Los datos multicanal permiten la identificación y rechazo de los modos no fundamentales de ondas Rayleigh, permiten también un proceso más efectivo para la eliminación del ruido y un proceso de recolección de Datos más rápido (Louie, J. 2001).

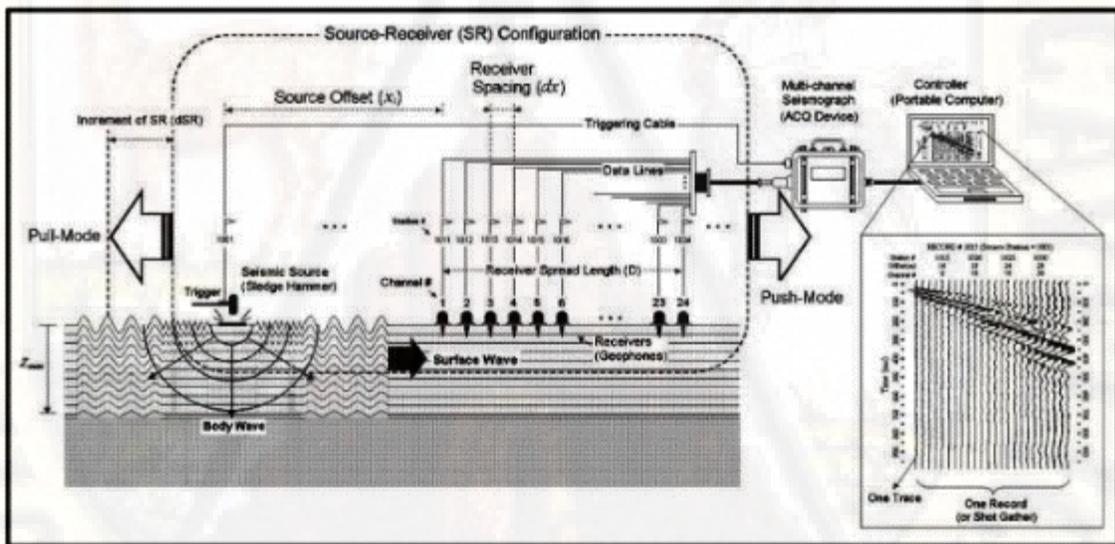


Figura 13. Configuración Ensayo MASW

2.2.5.1 Análisis de la señal con técnica MASW

Según la hipótesis fundamental de la física lineal (Teorema de Fourier), las señales se pueden representar como la suma de señales independientes,

llamadas armónicas de la señal. Dichos armónicos, por análisis monodimensional, son funciones trigonométricas seno y coseno y se comportan en modo independiente, sin interactuar entre sí. Concentrando la atención en cada componente armónico, el resultado final del análisis lineal será equivalente a la suma de los comportamientos parciales de cada armónico. El análisis de Fourier (Análisis espectral FFT) es el instrumento fundamental para la descomposición espectral de la señal.

El análisis de las ondas Rayleigh con la técnica MASW se lleva a cabo mediante un tratamiento espectral de la señal que hace posible identificar con bastante facilidad la señal de las ondas Rayleigh con respecto a otros tipos de señales, teniendo en cuenta que las ondas Rayleigh se propagan a una velocidad que está en función de la frecuencia. Esta relación velocidad-frecuencia, que se conoce como espectro de dispersión, queda caracterizada en la llamada curva de dispersión, la cual se extrae mediante la transformada f-k y se conoce como curva de dispersión experimental y representa las amplitudes máximas del espectro en ese dominio.

2.2.5.2 Modelo

A partir de un modelo geotécnico sintético caracterizado por espesor, densidad, coeficiente de Poisson, velocidad de las ondas *S* y velocidad de las ondas *P*, es posible simular la curva de dispersión teórica que liga la velocidad y la longitud de onda según la relación:

$$V = \lambda * F$$

Modificando los parámetros del modelo geotécnico sintético, se puede obtener una superposición de la curva de dispersión teórica con la experimental: esta

fase se llama de inversión y permite determinar el perfil de las velocidades en medios con distintas rigideces (Geostru Software, 2015).

2.2.5.3 Modos de vibración

Tanto en la curva de inversión teórica como en la experimental es posible identificar las diferentes configuraciones de vibración del terreno. Los modos de las ondas Rayleigh pueden ser: deformaciones en contacto con el aire, deformaciones casi nulas en la mitad de la longitud de onda y deformaciones nulas a grandes profundidades (Geostru Software, 2015).

2.2.5.4 Profundidad del estudio

Las ondas Rayleigh decrecen en profundidades aproximadamente iguales a la longitud de onda. Pequeñas longitudes de onda (altas frecuencias) permiten estudiar zonas superficiales, mientras que grandes longitudes de onda (bajas frecuencias) permiten estudios a profundidades mayores (Geostru Software, 2015).

2.2.5.5 Procedimiento ensayo MASW:

El método MASW utiliza un sistema de registro multicanal para estimar la velocidad de la onda S cerca de la superficie, utilizando los registros de ondas Rayleigh de alta frecuencia. Esta técnica consiste en:

1. La adquisición de ondas superficiales de alta frecuencia (ground roll, también denominadas ondas Rayleigh) utilizando un sistema de registro multicanal de banda ancha.

2. Creación de algoritmos organizados, eficaces y precisos en una sencilla secuencia de procesamiento de datos diseñada para extraer y analizar la curva de dispersión de la onda Rayleigh.
3. El desarrollo de algoritmos de inversión estable y eficiente para obtener los perfiles de la velocidad de la onda S.

El equipo utilizado para realizar los ensayos y la adquisición de dato son:

- Sismógrafo: Un adquisidor digital multicanal de 24 canales de entrada, (Geometrics: Geode,ES-3000). Se ubica en una superficie limpia y plana, luego colocamos los respectivos cables como son:
- Cable de Red, va conectado a un adaptador y al puerto de red de una laptop.
- Cable alimentador de energía, que va conectada a una batería de 12 V.
- Geófonos: 24 Geófonos verticales con una frecuencia natural de 4.5 Hz.
- Cable de refracción: Cable conector de geófonos, Para determinar la longitud extendida del cable, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta X_c = \frac{C * \Delta d}{\text{No. de geófonos}}$$

Donde:

ΔX_c = Distancia entre geófono.

C = Constante multiplicador de profundidad de estudio (1.5 – 2.5).

Δd = Profundidad de estudio.



Figura 14. Sismógrafo y Adquisición de datos

- Fuente: Martillo de 10 lb y plato metálico de impacto y cable interruptor o trigger, para obtener tiempo cero.
- Software de análisis de datos: Geometrics Seismodule Controller, para la obtención de perfiles sísmicos unidimensionales de ensayos MASW.

Análisis de Datos y Curva de Dispersión:

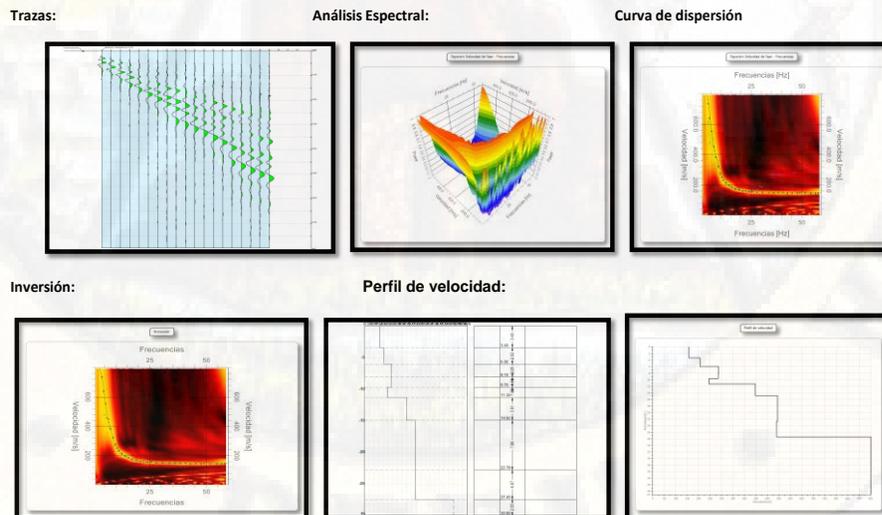


Figura 15. Software de procesamiento de ensayo MASW

2.2.5. Velocidad de onda de corte

Para la caracterización de suelos desde el punto de vista sísmico es importante conocer los perfiles de velocidad de onda de corte V_s , de las capas de subsuelo que subyacen en el terreno, donde la experiencia indica que es importante tener una noción del perfil estratigráfico del suelo con profundidades de investigación del orden de los 30 *metros* o más, debido a que el perfil de velocidades en los primeros 30 *metros* permite (RAMOS, 2012):

- Evaluar la respuesta sísmica del terreno donde se va a realizar una construcción.
- Evaluar potenciales de licuación de suelos cuando se trata de terrenos arenosos.
- Determinar el módulo de rigidez al esfuerzo cortante (G).
- Inferir densidad en campo.
- Estimar el estado de esfuerzos.
- Estimar la cementación natural.
- Evaluar la alteración de una muestra

Para obtener los parámetros citados, a partir de las velocidades V_p y V_s , se emplean las siguientes expresiones, derivadas de la teoría de la elasticidad:

Coefficiente de Poisson:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 * \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

Un material con un coeficiente de Poisson de 0.5 es un material perfectamente incompresible deformado elásticamente a deformaciones pequeñas (Cuarto Simposio en Mecánica de Materiales y Estructuras Continuas , 2014).

Módulo de Corte:

$$G_{dm} = \gamma * V_s^2; \gamma = \text{Densidad del terreno}$$

Modulo de Young:

$$E_{din} = 2 * G_{din} * (1 + \vartheta)$$

Módulo volumétrico:

$$K_{din} = \frac{E_{din}}{3 * (1 - 2\vartheta)}$$

Capacidad de carga:

$$qa = 2.4(10^{-4}) * \gamma * V_s$$

Para el caso de Colombia, en la actualidad la caracterización de los suelos mediante ensayos de campo que permiten conocer la velocidad de onda de corte V_s , se encuentra regulada en los títulos A y H de la Norma Sismo Resistente 2010 – NSR-10, donde se muestran valores típicos para este parámetro en función del tipo de perfil de suelo (ALFARO CASTILLO, 2007). En el anexo 1 se puede observar la velocidad de onda de corte en función de tipo de perfil de suelo.

2.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

Para obtener una correlación empírica entre la onda de propagación S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia será significativa a la penetración estándar a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia.

2.3.2. Hipótesis específicos

- a) Los resultados obtenidos del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar *SPT*, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia son significativos
- b) La evaluación desde el punto de vista técnico y económico las ventajas y desventajas del uso del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar *SPT* son significativas, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia.
- c) La obtención de las propiedades mecánicas de los suelos de manera indirecta mediante la correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda *S* (V_s) y *NSPT* son significativas, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Refracción sísmica:** método geofísico utilizado para el estudio de suelos, el cual consiste en la medición del tiempo de propagación de las ondas elásticas, desde el sitio donde se genera la onda sísmica y la llegada de estas a los puntos de observación. Para ello se usan sensores en línea recta a distancias conocidas. La adquisición se realiza con sensores (geófonos), la unidad de adquisición (en ella se almacenan los movimientos del terreno detectados por los geófonos), los cables de conexión y el cable de trigger (encargado de demarcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición. La longitud de los perfiles suele situarse habitualmente entre 20 m y 100 m, con separación entre geófonos menores a 5 m (APONTE G., 2011).

- **Onda sísmica:** Las ondas sísmicas consisten en un pequeño paquete de energía elástica de deformación que viaja desde la fuente sísmica hasta el subsuelo a velocidades que dependen del módulo de elasticidad y densidades en el medio en el cual viajan. El material se mantiene o no dentro del rango elástico dependiendo de factores como la magnitud y orientación del esfuerzo y el tiempo al cual es sometido el material (OEA, 2009).
- **Geófono:** Los geófonos son transductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica. Casi todos los geófonos empleados para la prospección sísmica en la superficie terrestre son del tipo electromagnético (Díaz, 2012).
- **Dromocrona:** Es la representación gráfica de los tiempos que tardan las ondas en alcanzar los geófonos, en función de las distancias al origen de la fuente (cavada, 2000).
- **Ensayo de penetración estándar – SPT:** El ensayo de penetración estándar (*SPT*), del inglés (Standard Penetration Test), desarrollado por Terzagui a finales de los años 20, es el ensayo in situ más popular y económico para obtener información geotécnica del subsuelo (ÁLVAREZ, 2014).

Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación.

Es un ensayo de campo mediante el cual se busca obtener la medida de la resistencia a la penetración con un muestreador en un suelo no cohesivo. El ensayo en si consiste en hincar el tubo partido (cuchara) para que penetre 30 cm (1PIE) en el terreno, ayudados de un martillo de 140 lbs de peso y una

altura de caída de 75 cm, contabilizándose el número de golpes “N” (ASTM International, 2011).

Se estima que el 85 % a 90 % de los diseños de las cimentaciones convencionales de Norte y Sur América se basan en los valores de N medidos en el *SPT* (MEJÍA NUÑEZ & BERNAL CARRASCO, 2016).

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1. Variable independiente

Velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia

2.5.2. Variable dependiente

Penetración Estándar.

2.5.3. Definición operativa de variables e indicadores

En la tabla 3 se pueden observar la definición operativa de variables.

Tabla 3 Definición Operativa de variables

VARIABLE	SEGÚN NATURALEZA	SEGÚN ESCALA DE MEDICIÓN	SEGÚN SU FUNCION EN LA INVESTIGACIÓN
Velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia	Cuantitativa	Ordinal	Independiente
Penetración Estándar	Cuantitativa	Ordinal	Dependiente

Fuente: Autoría del documento.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

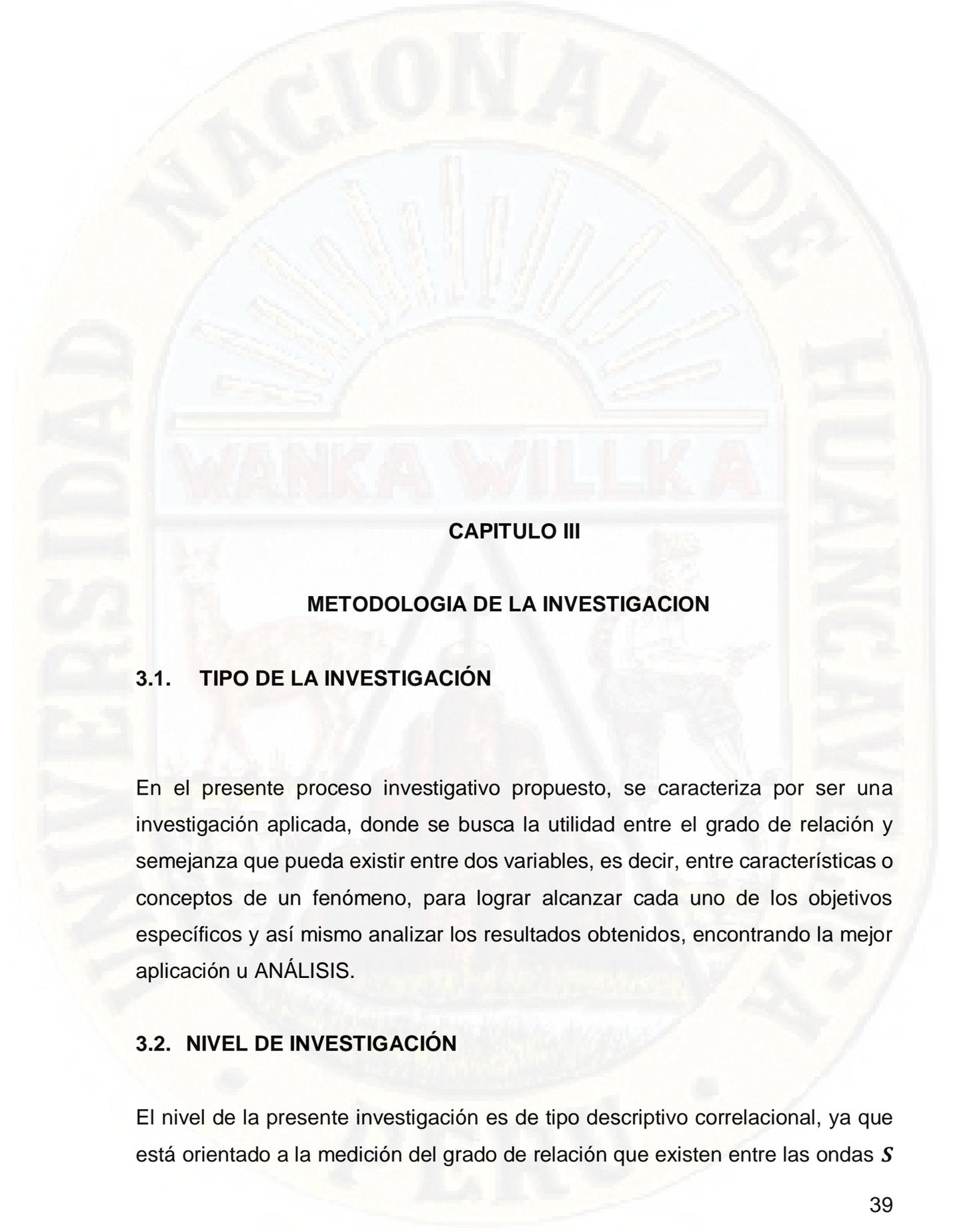
Tabla 4 Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador
	Parámetro por medio del cual es posible establecer y analizar el comportamiento de depósitos	Para la caracterización de suelos desde el punto de vista sísmico es importante conocer los perfiles de	Distancia que recorre las Ondas de Corte (S) en un espacio de	Tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un

Velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia	de suelo ante cargas cíclicas (APONTE G., 2011).	velocidad de onda de corte V_s , de las capas de subsuelo que subyacen en el terreno, donde la experiencia indica que es importante tener una noción del perfil estratigráfico del suelo con profundidades de investigación del orden de los 30 metros o más, debido a que el perfil de velocidades en los primeros 30 metros.	tiempo en los estratos del suelo.	sitio donde se generan ondas sísmicas y su llegada a diferentes puntos de observación.
	Indicador de la resistencia del material muestreado (APONTE G., 2011).	Número de golpes por pie obtenidos en el ensayo de penetración estándar, realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D 1586,	Resistencia que presenta el suelo al ser penetrado por un elemento captor	Número de golpes necesario para penetrar el elemento captor (cuchara

<p>Penetración Estándar</p>		<p>haciendo corrección por energía N60, correspondiente al estrato i. El valor de Ni a emplear para obtener el valor medio, no debe exceder 100.</p>	<p>(Cuchara Partida).</p>	<p>partida) 30 cm de suelo.</p>
-----------------------------	--	--	---------------------------	---------------------------------

Fuente: Autoría del documento.

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a large, circular emblem in the background. It features a sun with rays at the top, the text 'WANKA WILLKA' in the middle, and a central figure holding a staff. The words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' are written around the perimeter of the circle.

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente proceso investigativo propuesto, se caracteriza por ser una investigación aplicada, donde se busca la utilidad entre el grado de relación y semejanza que pueda existir entre dos variables, es decir, entre características o conceptos de un fenómeno, para lograr alcanzar cada uno de los objetivos específicos y así mismo analizar los resultados obtenidos, encontrando la mejor aplicación u ANÁLISIS.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la presente investigación es de tipo descriptivo correlacional, ya que está orientado a la medición del grado de relación que existen entre las ondas S

y el ensayo *SPT*, aplicado a los suelos de los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare, para encontrar una correlación que se ajuste a las características de la zona.

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para este trabajo investigativo se muestra la técnica y factores que llevan a determinar cuál de los métodos es más aconsejable y favorable para ser empleado en los suelos.



Figura 16. Diagrama de Procesos

El trabajo consiste en la recolección de todos los datos referidos a los estudios de suelos realizados en los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare – Colombia.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En el diseño de la investigación será de tipo longitudinal en el cual se recaban las variables en diferentes aplicaciones de verificación, llegando a una que sea aplicativa para los suelos de los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare - Colombia.

3.5. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.5.1. Población

El universo que se utilizara, son todos los proyectos que se han ejecutado por la empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA aplicando los ensayos **SPT** y Refracción Sísmica.

3.5.2. Muestra

La población que se utilizó son 49 datos obtenidos en suelos de los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare del territorio colombiano, aplicando los ensayos **SPT** y Refracción Sísmica.

La ubicación específica de los proyectos es la que aparece a continuación:

- ✓ Locación Prosperidad, Vereda Pedregal, Municipio de Yopal, Departamento de Putumayo.

- ✓ Estudio Puente Pencil, Vereda Hacienda, Corregimiento Brucelas, Departamento Huila.
- ✓ Estudio Puente Quinchana, Corregimiento Quinchana, Municipio de San Agustín, Departamento del Huila.
- ✓ Estudio Puente Palmito, Vereda Palmito, Corregimiento Burcelas, Departamento Huila.
- ✓ Estudio Puente Potrerillos, Vereda Potrerillos, Municipio de Garzon, Departamento Huila.
- ✓ Intercambiador Cra.2 Neiva, Municipio de Neiva, Departamento Huila.
- ✓ Localización Vonu, Vereda Canangucho, Municipio Villagarzon, Departamento Putumayo.
- ✓ Campamento Moqueta 4, Vereda Palmeras, Municipio de Villagarzon, Departamento Putumayo.
- ✓ Urbanización Volterra, Municipio de Neiva, Departamento Huila.
- ✓ Zodme Siriri, Vereda Topacio, Municipio Valle de Guamuez, Departamento Putumayo.
- ✓ Via Acceso Amerisur, Vereda La Rosa, Municipio de Puerto Asis, Departamento Putumayo.

3.5.3. Muestreo

Se llevó a cabo un muestreo probabilístico simple que nos permitirá dar confiabilidad a los resultados cercano al 100%.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se elaboró un instrumento de recolección de datos cuantitativos basados en la observación y registro de resultados de los ensayos de refracción sísmica y SPT.

3.6.1 Técnicas de recolección de datos

Gran parte de los datos provienen de fuentes primarias con recolección directa en campo a través de los estudios efectuados por la empresa Ingesuelos de Colombia Ltda.

El N_{SPT} tomado corresponde a todos los ensayos de campo que no presentaron rechazo.

Para la refracción sísmica se ubicaron líneas paralelas a los sitios donde se realizó perforación, realizando estacados al inicio, fin y puntos intermedios para incrementar el número de trazas evaluadas.

De forma paralela se extraen datos de fuentes secundarias las cuales corresponden a investigaciones hechas por otros autores, con las cuales se comparan los resultados obtenidos en esta tesis.

3.6.2 Instrumentos de recolección de datos

Para las pruebas de Penetración Estándar *SPT* se empleo equipo de perforación Petty con avance por percusión, rotación y lavado.

Por otra parte, el Ensayo Penetración Estándar *SPT* consiste en hincar en el terreno un elemento captor (cuchara partida), midiendo la resistencia a la fricción del suelo con el número de golpes N necesarios para su penetración. Su elaboración, interpretación y visualización gráfica consiente "catalogar y crear parámetros" del suelo atravesándolo con una imagen continua, que permite también hacer una comparación de las durezas de los diferentes niveles

atravesados y una correlación directa con sondeos para la determinación estratigráfica.

El sondeo permite además reconocer bastante bien el espesor de los mantos del subsuelo, la cota de eventuales niveles freáticos y superficies de rotura sobre los taludes, así como la consistencia del terreno en general.

Tabla 5 Características Técnico Instrumentales SONDA SPT.

Características Técnico-Instrumentales Sonda: SPT (Standard Test)	
Peso masa de golpeo	63.5 Kg
Altura de caída libre	0.76 m
Peso sistema de golpeo	4.2 Kg
Diámetro puntaza cónica	50.46mm
Área de base puntaza	20 cm ²
Largo del varillaje	1 m
Peso varillaje al metro	7 Kg/m
Profundidad niple primer varillaje	0.80 m
Avance puntaza	0.50 m
Coefic. correlación	1
Revestimiento/lodos	NO

Fuente: Autor 2017.

Para la refracción sísmica se emplea sismógrafo Geometrics de 24 canales y geófonos con frecuencia entre 4.5 y 20 Hz.

Para cada perfil sísmico se obtiene Los datos de Velocidad de Propagación de Ondas S (V_s) y Resistencia a la Penetración Estándar N_{SPT} fueron obtenidos a partir de los estudios Geofísicos realizados en campo para la caracterización del subsuelo mediante Ensayo de Refracción Sísmica aplicando el Método MASW bajo la propiedad de onda Rayleigh y Ensayo de Penetración Estándar SPT, en los Departamentos del Huila, Putumayo y Casanare.

Se debe agregar que, para la adquisición de los datos sísmicos, se utilizó un sismógrafo marca Geometrics modelo Geode de 24 canales con computador portátil externo, geófonos, cables y demás elementos.

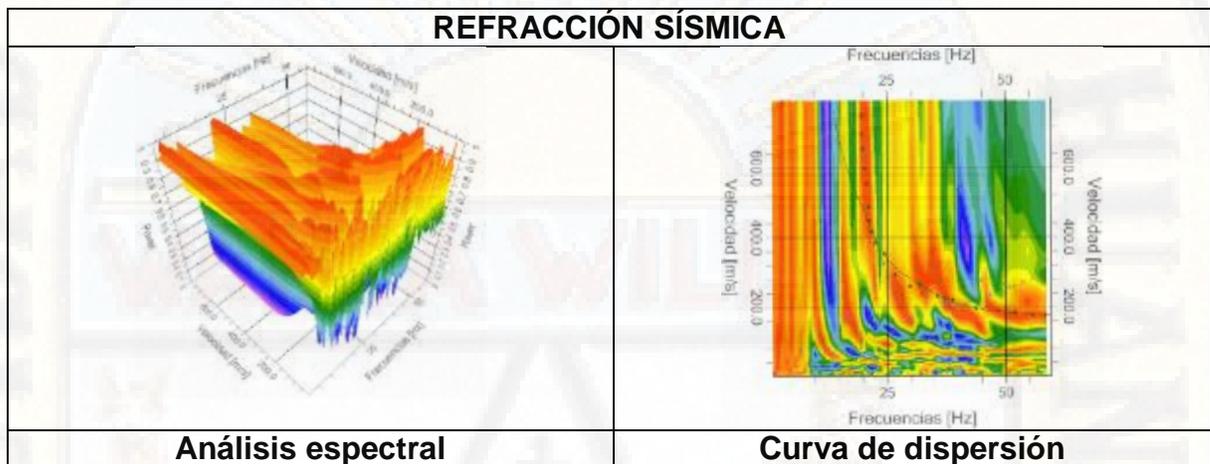


Figura 17. Graficas obtenidas MASW

Tabla 6: Características Técnico del Análisis espectral.

Frecuencia mínima de elaboración [Hz]	1
Frecuencia máxima de elaboración [Hz]	60
Velocidad mínima de elaboración [m/sec]	1
Velocidad máxima de elaboración [m/sec]	800
Intervalo velocidad [m/sec]	1

Fuente: Autor 2017.

En campo varios registros de las distintas posiciones en que fue colocada la fuente (en los extremos y por lo menos seis sitios dentro del perfil). Para marcar la llegada de la onda sísmica se utilizó el Software Geometrics Seismodule Controller el cual permite, entre otras cosas, analizar todos los tiros, modificar la amplitud, cambiar los parámetro de tiempo, distancia, sus unidades, distancia de la fuente, distancia de la fuente al primer detector, distancia entre detectores y sobre todo identificar el instante en que la perturbación se presenta.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

3.7.1 Correlación de datos

Inicialmente se realizó un análisis de correlación entre las variables (N_{spt}) y (V_s), el cual permite medir la fuerza existente y la dirección de su comportamiento, lo cual sirve para evaluar la proporcionalidad de una variable respecto a la otra. Su determinación se realiza empleando la siguiente fórmula (Ec. 1):

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \text{ Ec. 1}$$

Donde;

R: Coeficiente de correlación

Σ_{xy} : Covarianza de x, y

σ_x : Desviación típica x

σ_y : Desviación típica y

Los datos recolectados en los departamentos de Huila, Putumayo y Casanare – Colombia se presentan en la tabla 54.

De acuerdo al resultado obtenido ($R=0.90$), podemos determinar según la tabla 2, que existe una fuerte relación lineal entre la Velocidad de onda (V_s) y el Número de golpes (N_{spt}).

Rango		Relación
±0.96	±1.10	Perfecta
±0.85	±0.95	Fuerte
±0.70	±0.84	Significativa
±0.50	±0.69	Moderada
±0.20	±0.49	Débil
±0.10	±0.19	Muy débil
±0.09	±0.00	Nula

3.7.2 Determinación ecuación Ingesuelos

Una vez se determinó la correlación entre los datos obtenidos se verificó la fuerza de la misma y se procedió a graficar los datos de las variables $V_S - N_{SPT}$. El mejor ajuste de los datos ($R^2 = 0.8792$) fue obtenido con un modelo de regresión exponencial como se muestra en la Figura 18.

Considerando el modelo anterior, es posible obtener una ecuación para N_{pst} que relacione el número de golpes según la velocidad de onda, realizando un procedimiento matemático se encuentra la Ecuación 2.

$$N_{spt} = \left(\frac{V_S}{65.034} \right)^{1/0.473} \text{ Ec.2}$$

Aplicando el mismo razonamiento matemático se obtienen las ecuaciones para modelar N_{spt} en función de la velocidad de onda según los modelos de referencia

Imai y Yoshimura (1970):

$$N_{spt} = \left(\frac{V_S}{76} \right)^{1/0.33} \text{ Ec.3}$$

Ohba y Toriumi (1970):

$$N_{spt} = \left(\frac{V_S}{84} \right)^{1/0.31} \text{ Ec.4}$$

Okamoto et al. (1989)

$$N_{spt} = \left(\frac{V_S}{125} \right)^{1/0.30} \text{ Ec.5}$$

3.7.3 Análisis de datos

La finalidad de este estudio es comparar los resultados obtenidos entre la ecuación de Ingesuelos y otras ecuaciones reconocidas en el medio como son Imai y Yoshimura (1970), Ohba y Toriumi (1970) y Okamoto et al. (1989), para este fin se empleara el método ANOVA.

Para probar que la curva encontrada en el análisis de regresión se ajusta aceptablemente a los datos, se realizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA). El método consiste en encontrar la media de los datos de la variable independiente “ $y=Nsp^t$ ”, luego separar la diferencia de cada dato menos la media en dos tramos, la distancia de la media al valor de la regresión (modelo) y la distancia del valor de la regresión menos el dato mismo (error), como se muestra en la ecuación 3.

$$y_i - \bar{y} = (\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i) \text{ Ec. 3}$$

El objetivo es probar que la varianza del modelo (regresión) es mayor que la del error en la proporción necesaria. Cada uno de los términos de Ec.1 se eleva al cuadrado obteniendo así las correspondientes Sumas de Cuadrados (Ec.4, Ec5, Ec6)

$$SC_{total} = \sum (y_i - \bar{y})^2 \text{ Ec. 4}$$

$$SC_{modelo} = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \text{ Ec. 5}$$

$$SC_{error} = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \text{ Ec. 6}$$

Seguidamente, se estructura la tabla ANOVA con el objetivo de determinar cuál es la principal fuente de variación.

Fuente de variación	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio (CM)	Valor de F calculado	Valor P
Modelo	1	SC_{modelo}	$\frac{SC_{modelo}}{GL_{modelo}}$	$\frac{CM_{modelo}}{CM_{error}}$	Según distribución F (Fisher), se considera significativo un valor $p < 0.01$
Error	n-2	SC_{error}	$\frac{SC_{error}}{GL_{error}}$		
Total	n-1	SC_{total}			

Método de Análisis de Varianza ANOVA

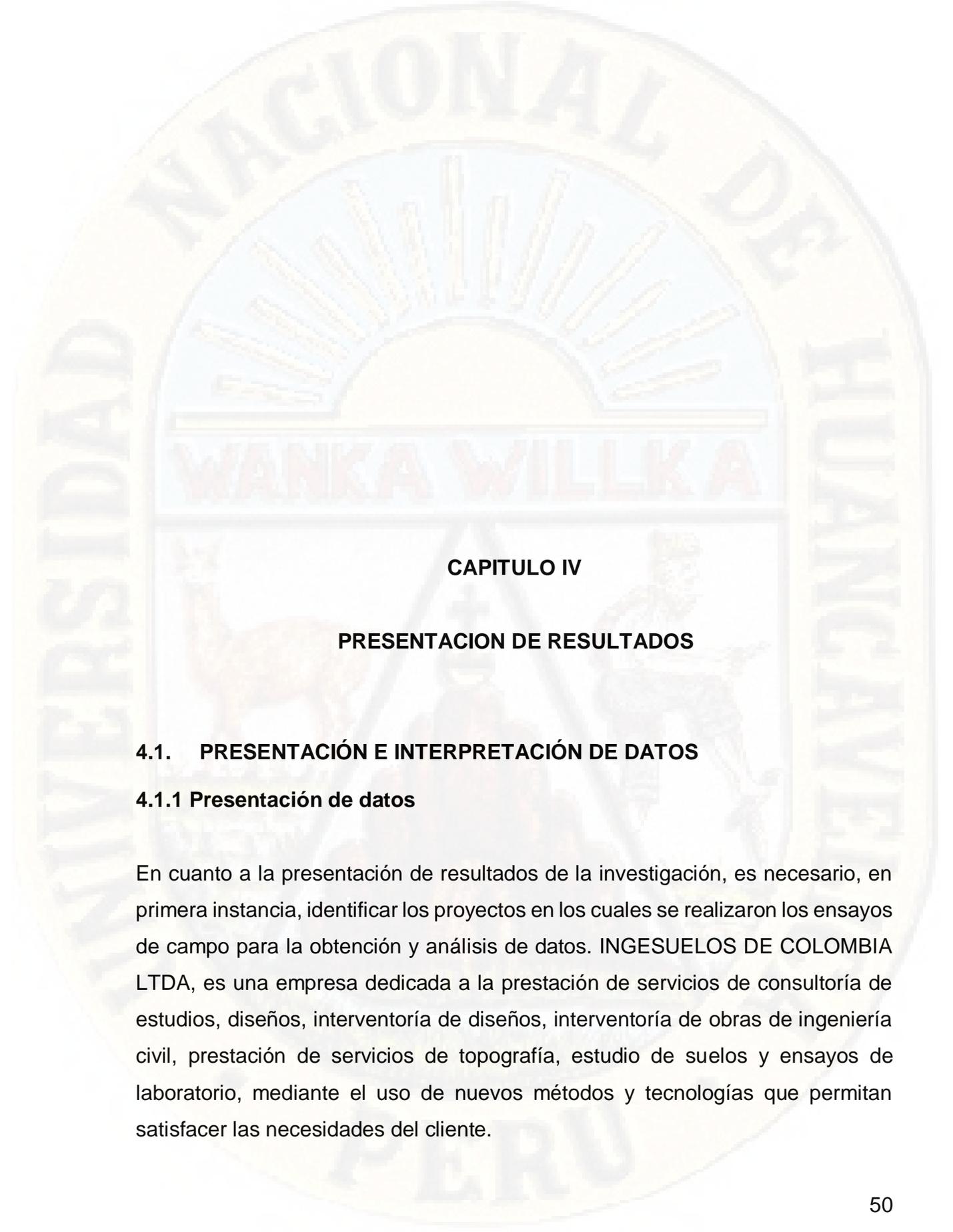
3.8. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para estudios de suelos en realizados en los Departamentos de Huila, Putumayo y Casanare – Colombia se obtuvieron datos de N_{SPT} , los cuales fueron confrontados con valores de velocidad de onda V_s . Con el fin de comparar el desempeño del modelo propuesto, se plantean las siguientes hipótesis estadísticas, H_0 como la hipótesis nula y H_1 , como la hipótesis alternativa.

3.8.1 Planteamiento de la hipótesis

H_0 : No existen diferencias en el ajuste de regresión exponencial entre N_{spt} y V_s propuesto por Ingesuelos, y los modelos de referencia Imai y Yoshimura (1970), Ohba y Toriumi (1970) y Okamoto et al. (1989)

H_1 : El modelo propuesto por ingesuelos presenta un mejor ajuste entre N_{spt} y V_s en comparación con los modelos de referencia propuestos por Imai y Yoshimura (1970), Ohba y Toriumi (1970) y Okamoto et al. (1989).



CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1.1 Presentación de datos

En cuanto a la presentación de resultados de la investigación, es necesario, en primera instancia, identificar los proyectos en los cuales se realizaron los ensayos de campo para la obtención y análisis de datos. INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA, es una empresa dedicada a la prestación de servicios de consultoría de estudios, diseños, interventoría de diseños, interventoría de obras de ingeniería civil, prestación de servicios de topografía, estudio de suelos y ensayos de laboratorio, mediante el uso de nuevos métodos y tecnologías que permitan satisfacer las necesidades del cliente.

4.1.1.1 Datos puente Pencil

Realización de los ensayos proyecto Pencil	
Ubicación: Vereda Brucelas municipio de Pitalito, Huila - Colombia Año: 2014 Contratante: Gobernación del Huila Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	Ensayo de Penetración Sísmica - SPT
	
Método de análisis multicanal de ondas Superficiales - MASW	Ensayo de Penetración estándar – SPT con equipo Petty
	
Ensayo de Refracción sísmica	Sondeo 5 muestra obtenida Quebrada El Cerro

Fuente: Autor 2017.

Tabla 7. Resultados SPT Puente Pencil.

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Puente Vereda Pencil a 5,3 Km del centro poblado Brucelas. Municipio de Pitalito; Luz=8 m

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Julio 12 de 2014

Sondeo No.	No.	Muestra			Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometría % pasa				Clasificación		Densidad δ_{gnv}^{\dagger} cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/pie
		Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)			L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²	
1	1	E763760, N685321	SS	0,75-1,25	10,2	1,20 mts.	N.L	N.P	46,3	34,1	17,6	10,0	A-1-a	GP-GM	1,924			17
1	2	E763760, N685321	SS	1,50-2,00	12,3		N.L	N.P	37,1	24,8	11,9	6,0	A-1-a	GP-GM				19
1	3	E763760, N685321	SS	2,50-3,00	11,8		N.L	N.P	33,2	22,1	12,3	6,2	A-1-a	GW-GM	1,918			15
1	4	E763760, N685321	SS	3,50-4,00	12,6		N.L	N.P	38,6	25,3	15,2	7,4	A-1-a	GW-GM				33
1	5	E763760, N685321	SS	4,20-4,70	10,8		N.L	N.P	44,6	32,7	18,5	10,8	A-1-a	GP-GM	1,967			Rechazo
1	6	E763760, N685321	SS	5,50-6,00	10,2		N.L	N.P	52,4	35,6	22,2	13,3	A-2-4	GM				Rechazo
1	7	E763760, N685321	SS	6,50-7,00	9,5		N.L	N.P	53,4	33,4	20,5	12,3	A-2-4	GM				26
1	8	E763760, N685321	BD	8,50-9,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta						1,954					34
1	9	E763760, N685321	BD	11,00-12,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
1	10	E763760, N685321	BD	13,00-14,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
1	11	E763760, N685321	BD	14,00-15,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
2	1	E763770, N685333	SS	0,75-1,25	9,7	1,00 mts.	N.L	N.P	54,1	38,9	24,3	12,9	A-2-4	GM				8
2	2	E763770, N685333	SS	1,50-2,00	13,2		N.L	N.P	44,6	32,9	22,0	10,9	A-1-a	GP-GM	1,929			22
2	3	E763770, N685333	SS	3,00-3,50	14,2		N.L	N.P	39,7	29,7	15,3	9,1	A-1-a	GW-GM				31
2	4	E763770, N685333	SS	4,50-5,00	13,2		N.L	N.P	55,7	33,9	17,9	9,0	A-1-a	SW-SM	1,910			30
2	5	E763770, N685333	SS	6,00-6,50	12,8		N.L	N.P	54,7	32,1	18,9	9,2	A-1-a	SW-SM				Rechazo
2	6	E763770, N685333	SS	7,50-8,00	11,7		N.L	N.P	56,2	29,9	16,8	10,4	A-1-a	SP-SM				Rechazo
2	7	E763770, N685333	BD	9,50-10,50	10,2		N.L	N.P	55,3	36,9	23,7	13,3	A-2-4	GM	1,926			Rechazo
2	8	E763770, N685333	BD	11,00-12,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
2	9	E763770, N685333	BD	13,00-14,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
2	10	E763770, N685333	BD	14,00-15,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta						1,977					Rechazo

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 8: Resultados Refracción Sísmica Puente Pencil.

n	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	Ey [MPa]
1	1	1	128,78	240,93	29,85	104,48	64,68	77,62
2	5	4	315,93	591,05	179,66	628,82	389,27	467,12

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

Ey: Módulo de Young;

Tabla 9: SPT vs Refracción Sísmica Puente Pencil

Puente Pencil		
Línea 1 Traza 10 Sondeo 2		
Profundidad(m)	V _s	N
1.00	128.78	8
5.00	315.93	28
6.60	470.82	R
8.80	585.70	R
16.80	2599.58	R

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.2 Datos puente hacienda

Realización de los ensayos proyecto hacienda	
Ubicación: Vereda Hacienda, Corregimiento de Brucelas, Huila - Colombia	
Año: 2013	
Contratante: Gobernación del Huila	
Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 10: resultados SPT Puente Hacienda

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio de Suelos Puente Vereda Hacienda Brucelas, Municipio de Pitalito

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Julio 21 de 2014

Sondeo No.	Muestra				Hum. W%	Nivel freatico	Límites				Granulometría % pasa				Clasificación		Densidad δ † gmv/cm3	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas		Tipo			Profundidad (metros)	L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC	Penet. kg/cm2		qu kg/cm2		
1	1	E763223, N687477		SS	0,75-1,25	9,2	1,40 mts.	NL	N.P	56,0	36,9	24,1	11,2	A-1-a	SP-SM	1,812			25	
1	2	E763223, N687477		SS	1,50-2,00	9,2		NL	N.P	26,9	18,5	16,1	10,7	A-1-a	GP-GM	1,849			32	
1	3	E763223, N687477		SS	2,00-2,50	8,9		NL	N.P	41,9	22,8	15,6	11,2	A-1-a	GP-GM				Rechazo	
1	4	E763223, N687477		SS	2,50-3,00	9,4		NL	N.P	26,1	18,2	14,8	10,6	A-1-a	GP-GM	1,945			Rechazo	
1	5	E763223, N687477		SS	4,50-5,00	9,9		NL	N.P	56,3	30,1	16,2	11,1	A-1-a	SP-SM				Rechazo	
1	6	E763223, N687477		SS	6,50-7,50	9,7		NL	N.P	57,5	32,1	18,4	11,3	A-1-a	SP-SM	1,922			Rechazo	
1	7	E763223, N687477		SS	8,50-9,50	11,8		29,4	23,2	90,1	82,7	55,4	29,2	A-2-4	SM-SC	1,891			Rechazo	
1	8	E763223, N687477		SS	9,50-10,00	12,1		27,6	22,9	93,2	84,6	60,2	33,7	A-2-4	SM-SC				Rechazo	
1	9	E763223, N687477		BD	12,00-13,00	-		Roca blanda											Rechazo	
1	10	E763223, N687477		BD	14,00-15,00	-		Roca blanda											Rechazo	
2	1	E763210, N687474		SS	0,75-1,25	10,2	0,80 mts.	NL	N.P	39,7	28,7	22,1	11,4	A-1-a	GP-GM				Rechazo	
2	2	E763210, N687474		SS	1,50-2,00	11,2		NL	N.P	53,3	36,6	26,0	10,6	A-1-a	GP-GM	1,913			Rechazo	
2	3	E763210, N687474		SS	3,00-3,50	12,1		NL	N.P	32,1	20,2	17,9	10,3	A-1-a	GP-GM				Rechazo	
2	4	E763210, N687474		SS	4,50-5,00	10,7		NL	N.P	60,4	37,1	22,9	10,6	A-1-a	SP-SM	1,874			22	
2	5	E763210, N687474		SS	6,00-7,50	12,8		NL	N.P	59,0	40,0	22,2	9,8	A-1-a	SW-SM				25	
2	6	E763210, N687474		SS	7,50-8,00	12,1		27,2	21,6	61,6	48,3	38,4	25,2	A-2-4	GM-GC				Rechazo	
2	7	E763210, N687474		SS	9,00-9,50	10,9		24,7	19,9	61,5	51,0	41,7	23,1	A-2-4	GM-GC				Rechazo	
2	8	E763210, N687474		BD	10,50-11,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta				1,966							Rechazo	
2	9	E763210, N687474		BD	12,50-13,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo	
2	10	E763210, N687474		BD	14,00-15,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta				1,955							Rechazo	

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 11: Resultados refracción sísmica Puente Hacienda

n	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.20	3.20	310.31	580.55	173.33	606.66	375.55	450.66

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G0: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;

Ey: Módulo de Young;

Tabla 12: SPT vs Refracción Sísmica Puente Hacienda

Hacienda		
Línea 1 Traza 2		
Profundidad(m)	V_s	N
2,20	310,31	28
4.24	493.76	R
5.61	875.67	R
7.16	1323.64	R

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.3 Datos puente Quinchana

Realización de los ensayos proyecto Quinchana	
Ubicación: San Agustín, Huila - Colombia	
Contratante: Gobernación del Huila	
Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 13: resultados SPT Puente Quinchana

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio de Suelos Puente Quinchana

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Agosto 8 de 2014

Sondeo No.	Muestra				Hum. W%	Nivel freatico	Limites				Granulometria % pasa				Clasificación		Densidad δ gnv/cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)			L.L %	L.P %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC	Penet. kg/cf	qu kg/cf				
1	1	Margen izquierda	SS	0,75-1,25	8,9	1,20 m.	NL	NP	49,7	36,9	24,5	14,2	A-2-4	GM	1,855			25		
1	2	Margen izquierda	SS	1,50-2,00	10,4		NL	NP	53,7	34,2	21,0	12,9	A-2-4	GM				36		
1	3	Margen izquierda	SS	3,00-3,50	11,3		NL	NP	51,1	37,5	24,5	12,1	A-2-4	GM				41		
1	4	Margen izquierda	SS	4,50-5,00	10,6		NL	NP	38,8	28,4	16,3	6,2	A-1-a	GP-GM	1,913			38		
1	5	Margen izquierda	SS	6,00-6,50	10,2		NL	NP	42,2	30,6	14,8	5,9	A-1-a	GP-GM				24		
1	6	Margen izquierda	SS	7,50-8,00	9,2		NL	NP	54,2	37,8	19,1	10,7	A-1-a	GP-GM				Rechazo		
1	7	Margen izquierda	BD	9,00-9,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacto									1,945			Rechazo	
1	8	Margen izquierda	BD	10,50-11,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacto												Rechazo	
1	9	Margen izquierda	BD	12,50-13,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacto												Rechazo	
1	10	Margen izquierda	BD	14,50-15,00	-		Roca blanda									1,912			Rechazo	
2	1	Margen derecha	SS	0,75-1,25	10,2	1,50 m.	NL	NP	65,2	41,1	28,9	17,8	A-2-4	SM				3		
2	2	Margen derecha	SS	1,50-2,00	11,1		25,2	19,3	66,9	45,7	32,5	22,2	A-2-4	SM-SC	1,812			8		
2	3	Margen derecha	SS	3,00-3,50	12,2		24,9	18,3	77,3	52,3	40,9	23,8	A-2-4	SM-SC				13		
2	4	Margen derecha	SS	4,50-5,00	11,3		NL	NP	55,9	37,0	25,9	12,9	A-2-4	GM	1,933			39		
2	5	Margen derecha	SS	6,00-6,50	10,4		NL	NP	41,9	28,6	15,6	8,9	A-1-a	GW-GM				Rechazo		
2	6	Margen derecha	SS	7,50-8,00	8,9		NL	NP	46,7	33,2	18,7	10,3	A-1-a	GP-GM	1,963			Rechazo		
2	7	Margen derecha	BD	9,00-9,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacto												Rechazo	
2	8	Margen derecha	BD	10,50-11,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacto									1,988			Rechazo	
2	9	Margen derecha	BD	12,50-13,00	-		Roca blanda												Rechazo	
2	10	Margen derecha	BD	14,50-15,00	-		Roca blanda												Rechazo	

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 14: Resultados refracción sísmica Puente Quinchana línea 1 traza 4

n	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	3.73	3.73	355.14	664.41	227.02	794.59	491.89	590.26
2	4.91	1.18	346.37	648.00	215.95	755.83	467.89	561.47
3	6.06	1.15	298.56	558.56	160.45	561.58	347.64	417.17

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 15: Resultados refracción sísmica Puente Quinchana línea 2 traza 2

n	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	2.55	2.55	150.32	474.65	115.86	405.52	251.04	301.24
2	4.01	1.45	253.33	473.94	115.52	404.32	250.29	300.35
3	5.50	1.49	397.18	743.06	283.96	993.86	615.25	738.30

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

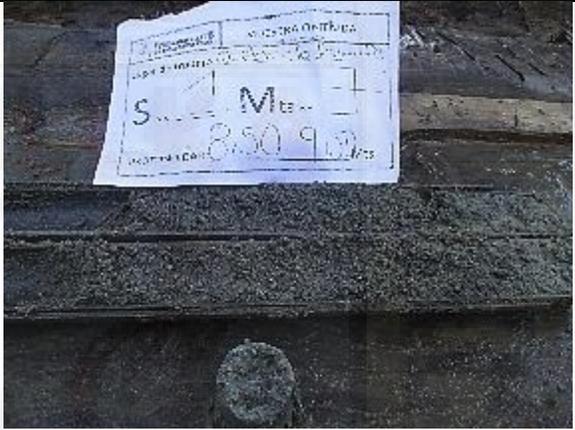
E_y: Módulo de Young;

Tabla 16: SPT vs Refracción Sísmica Puente Quinchana

Quinchana					
línea 1 Traza 4			línea 2 Traza 2		
Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N
3,73	355,14	34	2,55	150.32	6
4,90	346,37	38	4,01	253,33	13
6,06	298,56	24	5,50	397,18	39
7.95	774.34	R	10.35	396.35	R
9.84	941.98	R	-	-	-

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.4 Datos Puente Palmito

Realización de los ensayos proyecto Palmito	
Ubicación: Vereda Brucelas municipio de Pitalito, Huila - Colombia	
Año: 2013	
Contratante: Gobernación del Huila	
Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 17: resultados SPT Puente Palmito

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Puente Vereda Palmito a 5,6 Km del centro poblado Brucelas, Municipio de Pitalito; Luz = 18 m

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Agosto 21 de 2014

Sondeo No.	Muestra				Hum. W%	Nivel freático	Limites				Granulometría % pasa		Clasificación		Densidad ρ_t g/m ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie	
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)			L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²		
1	1	E760892, N684629	SS	0,75-1,25	21,2	1,20 mts.	NL	NP	97,6	95,5	74,3	28,6	A-2-4	SM				10	
1	2	E760892, N684629	SS	1,50-2,00	17,5		NL	NP	60,9	56,5	37,9	16,6	A-2-4	SM	1,822			14	
1	3	E760892, N684629	SS	2,00-2,50	12,2		NL	NP	44,5	32,0	15,5	8,8	A-1-a	GW-GM				Rechazo	
1	4	E760892, N684629	SS	2,50-3,00	11,8		NL	NP	42,3	29,8	14,5	8,3	A-1-a	GW-GM	1,914			Rechazo	
1	5	E760892, N684629	SS	4,50-5,50	11,6		NL	NP	38,7	31,1	15,3	8,9	A-1-a	GW-GM				Rechazo	
1	6	E760892, N684629	SS	6,50-7,00	10,1		NL	NP	41,5	26,0	11,2	5,3	A-1-a	GW-GM	1,938			16	
1	7	E760892, N684629	SS	8,50-9,00	8,6		NL	NP	98,2	80,8	30,0	11,9	A-1-b	SP-SM				22	
1	8	E760892, N684629	SS	9,50-10,00	9,2		NL	NP	78,7	55,8	35,2	14,9	A-2-4	SM				15	
1	9	E760892, N684629	SS	12,00-12,50	9,7				28,5	20,0	52,1	45,8	36,9	16,8	A-2-4	GC			18
1	10	E760892, N684629	SS	14,50-15,00	9,2				30,4	20,6	55,0	49,2	38,6	22,2	A-2-4	GC	1,893		22
1	11	E760892, N684629	SS	17,50-18,00	8,9				31,1	21,0	52,0	44,5	37,0	20,0	A-2-4	GC			28
2	1	E760884, N684642	SS	0,75-1,25	12,3	No se encontro	NL	NP	63,8	50,2	38,6	19,0	A-2-4	SM				26	
2	2	E760884, N684642	SS	1,50-2,00	11,6		NL	NP	51,1	35,8	33,1	16,9	A-2-4	GM	1,888			32	
2	3	E760884, N684642	BD	3,00-3,50	-		Roca blanda fracturada							>4,5		Rechazo			
2	4	E760884, N684642	BD	4,50-5,00	-		Roca blanda fracturada						1,932	>4,5		Rechazo			
2	5	E760884, N684642	BD	6,00-6,50	-		Roca blanda fracturada							>4,5		Rechazo			
2	6	E760884, N684642	BD	7,50-8,00	-		Roca blanda fracturada							>4,5		Rechazo			
2	7	E760884, N684642	BD	9,00-9,50	-		Roca blanda fracturada						1,958	>4,5		Rechazo			
2	8	E760884, N684642	BD	10,50-11,00	-		Roca con bajo grado de cementación compacta							>4,5		Rechazo			
2	9	E760884, N684642	BD	12,50-13,00	-		Roca con bajo grado de cementación compacta							>4,5		Rechazo			
2	10	E760884, N684642	BD	14,50-15,00	-		Roca con bajo grado de cementación compacta						2,067	>4,5		Rechazo			

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 18: Resultados de refracción sísmica Puente Palmito

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	2.18	2.18	267.78	500.97	295.15	830.23	513.95	3115.26

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

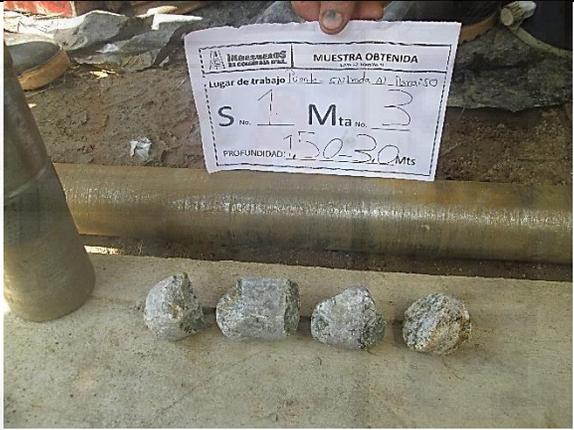
E_y: Módulo de Young;

Tabla 19: SPT vs Refracción Sísmica Puente Palmito

Palmito		
línea 2 Traza 9		
Profundidad(m)	V _s	N
2,20	267,78	12
4.50	600.49	R
4.95	1330.19	R
6.00	1160.21	R

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.5 Datos puente potrerillos

Realización de los ensayos proyecto Potrerillos	
Ubicación: Vereda Garzón, Huila - Colombia	
Año: 2013	
Contratante: Gobernación del Huila	
Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 20: resultados SPT Puente Potrerillos

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Puente Potrerillos, K1+850 Vía Cruce San Antonio del Pescado - Paraiso

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Noviembre 8 de 2014

Sondeo No.	Muestra				Hum. W%	Nivel freatico	Límites				Granulometría % pasa				Clasificación		Densidad $\delta \dagger$ g/m ³ cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)			L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC	Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²				
1	1	E829806, N727324	SS	0,75-1,25	12,9	0,50 mts.	NL	N.P	56,9	35,6	22,1	10,9	A-1-a	SP-SM	1,928			30		
1	2	E829806, N727324	SS	1,50-2,00	12,7		NL	N.P	54,1	32,4	18,9	10,2	A-1-a	GP-GM				Rechazo		
1	3	E829806, N727324	SS	3,00-3,50	13,2		NL	N.P	50,1	29,4	16,7	8,9	A-1-a	GW-GM	1,968			Rechazo		
1	4	E829806, N727324	SS	4,50-5,00	11,8		NL	N.P	48,7	30,1	17,2	9,1	A-1-a	GW-GM				Rechazo		
1	5	E829806, N727324	SS	6,00-6,50	11,2		NL	N.P	42,1	32,1	16,2	8,6	A-1-a	GW-GM				Rechazo		
1	6	E829806, N727324	SS	7,50-8,00	10,2		NL	N.P	48,2	30,2	14,1	7,6	A-1-a	GW-GM				Rechazo		
1	7	E829806, N727324	SS	9,00-9,50	8,9		NL	N.P	58,1	34,2	24,6	11,1	A-1-a	SP-SM	1,908			Rechazo		
1	8	E829806, N727324	SS	11,00-11,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo		
1	9	E829806, N727324	BD	12,50-13,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta						1,946					Rechazo		
1	10	E829806, N727324	BD	14,00-15,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo		
2	1	E829791, N727336	SS	0,75-1,25	11,3	0,70 mts.	NL	N.P	54,2	33,2	22,1	7,2	A-1-a	SW-SM	1,887			15		
2	2	E829791, N727336	SS	1,50-2,00	13,2		NL	N.P	53,7	35,1	18,1	6,5	A-1-a	SW-SM				18		
2	3	E829791, N727336	SS	3,00-3,50	12,8		NL	N.P	53,8	33,2	20,8	6,6	A-1-a	SW-SM	1,916			30		
2	4	E829791, N727336	SS	4,50-5,00	11,6		NL	N.P	53,8	32,6	16,8	10,8	A-1-a	SP-SM				Rechazo		
2	5	E829791, N727336	SS	6,00-6,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo		
2	6	E829791, N727336	SS	7,50-8,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta						1,955					Rechazo		
2	7	E829791, N727336	SS	9,00-9,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo		
2	8	E829791, N727336	SS	11,00-11,50	-		Roca blanda											Rechazo		
2	9	E829791, N727336	BD	12,50-13,50	-		Roca blanda						1,971					Rechazo		
2	10	E829791, N727336	BD	14,00-15,00	-		Roca blanda											Rechazo		

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 21: Resultados de refracción sísmica Puente Potrerillos

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	Ey [MPa]
1	2.76	2.76	310.65	581.18	173.71	607.98	376.37	451.64

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

Ey: Módulo de Young;

Tabla 22: SPT vs Refracción Sísmica Puente Potrerillos

Potrerillos		
línea 2 Traza 6		
Profundidad(m)	V_s	N
3,80	310,65	21
5.30	418.74	R
8.65	629.98	R
16.20	851.07	R

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.6 Datos intercambiador Cándido

Realización de los ensayos proyecto Candido	
Ubicación: Neiva, Huila - Colombia Año: 2015 Contratante: Gobernación del Huila Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 23: resultados SPT Cándido

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio de Suelos Intercambiador Carrera 2 de Neiva

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Enero 22 de 2015

Sondeo No.	Muestra				Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometría %				Clasificación		Densidad δ_t gm/cm3	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)			L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm2	qu kg/cm2	
1A	1	E864314, N817059	SS	0,75 - 1.25	8,4	No se encontro	24,5	17,0	85,3	75,7	65,0	24,7	A-2-4	SC				17
1A	2	E864314, N817059	SS	1,50 - 2.00	8,2		20,1	15,5	85,2	80,5	75,0	28,2	A-2-4	SM-SC				Rechazo
1	1	E864314, N817059	SS	2,00 - 2.50	15,2		N.L	N.P	87,9	80,4	54,5	30,2	A-2-4	SM	1,896			13
1	2	E864314, N817059	SS	3,00 - 3.50	10,6		N.L	N.P	48,2	41,0	27,6	18,3	A-2-4	GM	1,944			24
1	3	E864314, N817059	SS	4,00 - 4.50	10,7		N.L	N.P	96,1	92,2	36,3	13,4	A-2-4	SM	1,941			16
1	4	E864314, N817059	SS	5,00 - 5.50	17,1		27,0	20,5	98,9	97,9	93,2	58,8	A-4	ML-CL	1,907			16
1	5	E864314, N817059	SS	6,50 - 7.00	14,5		N.L	N.P	100,0	99,9	94,7	28,7	A-2-4	SM	1,983			Rechazo
1	6	E864314, N817059	SS	7,00-7,50	11,2		N.L	N.P	84,3	73,9	63,6	24,4	A-2-4	SM				Rechazo
1	7	E864314, N817059	SS	8,50-9,00	10,3		N.L	N.P	72,4	63,2	52,6	27,0	A-2-4	SM	1,920			Rechazo
1	8	E864314, N817059	SS	11,00-11,50	9,0		N.L	N.P	48,6	41,1	33,4	14,5	A-2-4	GM				Rechazo
1	9	E864314, N817059	SS	12,50-13,00	-	Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo	
1	10	E864314, N817059	SS	14,50-15,00	-	Roca blanda											Rechazo	
2A	1	E864331, N817075	SS	0,75 - 1.25	19,3	No se encontro	28,9	23,4	97,0	94,4	87,6	46,8	A-4	SM-SC				Rechazo
2	1	E864331, N817075	SS	2,00 - 2.50	12,2		N.L	N.P	89,8	84,3	77,5	26,5	A-2-4	SM	1,963			Rechazo
2	2	E864331, N817075	SS	3,00 - 3.50	16,4		23,9	19,0	98,0	96,2	89,5	37,7	A-4	SM-SC	1,860			24
2	3	E864331, N817075	SS	4,00 - 4.50	12,1		N.L	N.P	89,0	77,8	64,6	21,5	A-2-4	SM				30
2	4	E864331, N817075	SS	4,50 - 4.80	6,0		N.L	N.P	78,1	63,8	51,6	20,8	A-2-4	SM	1,854			43
2	5	E864331, N817075	SS	6,00-6,50	7,4		N.L	N.P	66,9	52,4	34,3	22,9	A-2-4	SM				Rechazo
2	6	E864331, N817075	SS	7,50-8,00	7,2		N.L	N.P	62,8	55,4	38,3	21,8	A-2-4	SM				Rechazo
2	7	E864331, N817075	SS	9,00-9,50	8,2		N.L	N.P	52,1	46,4	36,4	26,5	A-2-4	GM	1,872			Rechazo
2	8	E864331, N817075	SS	10,50-11,00	8,0		N.L	N.P	41,4	35,6	23,0	13,4	A-2-4	GM				Rechazo
2	9	E864331, N817075	SS	12,00-12,50	9,3		N.L	N.P	38,5	32,1	24,3	12,8	A-2-4	GM				Rechazo
2	10	E864331, N817075	SS	14,50-15,00	-	Roca blanda											Rechazo	
3	1	E864367, N817079	SS	0,75-1,25	3,5	10,0 mts	N.L	N.P	71,1	60,6	45,2	20,5	A-2-4	SM				16
3	2	E864367, N817079	SS	1,50-2,00	5,6		25,2	18,9	88,6	79,8	71,1	31,8	A-2-4	SM-SC	1,883			22
3	3	E864367, N817079	SS	3,00-3,50	6,6		N.L	N.P	80,0	73,2	59,3	19,1	A-2-4	SM				35
3	4	E864367, N817079	SS	4,50-5,00	7,2		N.L	N.P	50,6	42,2	35,7	17,5	A-2-4	GM	1,943			42
3	5	E864367, N817079	SS	6,00-6,50	7,9		N.L	N.P	44,7	37,7	28,3	14,1	A-2-4	GM				44
3	6	E864367, N817079	SS	7,50-8,00	9,6		N.L	N.P	40,0	33,2	24,6	13,8	A-2-4	GM	1,966			49
3	7	E864367, N817079	SS	9,00-10,50	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
3	8	E864367, N817079	SS	11,50-12,00	-		Bolos de roca en matriz arena limosa compacta											Rechazo
3	9	E864367, N817079	SS	13,00-13,50	-		Roca blanda							2,010				Rechazo
3	10	E864367, N817079	SS	14,50-15,00	-		Roca blanda											Rechazo
3	11	E864367, N817079	SS	17,00-18,00	-		Roca Dura											Rechazo

Observaciones:

Nota: Este registro no puede ser reproducido sin la aprobación de Ingesuelos de Colombia Ltda.

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 24 Resultados de refracción sísmica Cándido

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.80	1.76	261.04	488.36	279.95	429.3	265.76	2952.65
2	7.70	5.97	375.31	702.13	597.69	887.38	549.33	6352.39

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

E_y: Módulo de Young;

Tabla 25 SPT vs Refracción Sísmica Cándido

Cándido		
Línea 1 Sondeo 3		
Profundidad(m)	V _s	N
1,80	261,04	19
7,70	375,31	42

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.7 Datos locación Vonu

Realización de los ensayos proyecto Vonu	
Ubicación: Vereda el Canangucho, Villa Garzón, Putumayo	
Año: 2015	
Contratante: Gran Tierra	
Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 26 Resultados SPT Vonu

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio de suelos para la plataforma Vonus

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Febrero 3 de 2015

Sondeo No.	Muestra				Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometría % pasa				Clasificación		Densidad $\delta +$ gm/cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)			L.L %	L.P %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²	
1	1	E718343, N598654	SS	0,20-0,70	47,7	0,80 mts.	34,3	26,5	100,0	100,0	95,3	76,3	A-4	ML	1,712	0,25	3	
1	2	E718343, N598654	SS	0,70-1,20	28,7		N.L	N.P	96,7	91,9	50,1	13,1	A-2-4	SM	1,809		8	
1	3	E718343, N598654	SS	1,50-2,00	15,9		N.L	N.P	51,3	41,2	14,8	4,5	A-1-a	GP			12	
1	4	E718343, N598654	SS	2,00-2,50	9,7		N.L	N.P	57,7	54,5	20,1	6,9	A-1-b	GP-GM	1,948		16	
1	5	E718343, N598654	SS	3,00-3,50	30,8		N.L	N.P	92,2	76,1	55,9	30,0	A-2-4	SM			15	
1	6	E718343, N598654	SS	4,50-5,00	24,3		N.L	N.P	88,9	73,1	51,3	26,4	A-2-4	SM			Rechazo	
1	7	E718343, N598654	SS	5,50-6,00	16,7		N.L	N.P	82,1	69,7	48,5	25,5	A-2-4	SM			Rechazo	
2	1	E718316, N598644	SS	0,20-0,70	18,1	0,50 mts.	N.L	N.P	75,9	70,8	47,8	20,7	A-2-4	SM	1,842		10	
2	2	E718316, N598644	SS	0,70-1,20	9,7		N.L	N.P	52,9	35,2	15,5	5,8	A-1-a	SP-SM			14	
2	3	E718316, N598644	SS	1,50-2,00	7,9		N.L	N.P	49,9	36,6	17,7	8,2	A-1-a	GP-GM	1,975		21	
2	4	E718316, N598644	SS	3,00-3,50	8,2		N.L	N.P	52,4	40,3	19,2	9,4	A-1-a	GW-GM			Rechazo	
2	5	E718316, N598644	SS	4,50-5,00	7,7		N.L	N.P	55,1	42,6	18,7	10,8	A-1-a	GP-GM			Rechazo	
2	6	E718316, N598644	SS	5,50-6,00	7,1		N.L	N.P	52,7	45,7	20,4	12,7	A-2-4	GM			Rechazo	
3	1	E718375, N598667	SS	0,20-0,70	41,5		0,75 mts.	36,6	25,5	100,0	99,1	92,9	53,7	A-6	ML	1,766	0,50	5
3	2	E718375, N598667	SS	0,70-1,20	11,5	N.L		N.P	40,1	31,0	17,4	8,4	A-1-a	GP-GM			15	
3	3	E718375, N598667	SS	1,50-2,00	6,2	N.L		N.P	32,5	20,8	8,6	2,9	A-1-a	GP			19	
3	4	E718375, N598667	SS	2,50-3,00	9,2	N.L		N.P	60,3	39,4	18,2	6,9	A-1-a	SW-SM	1,923		18	
3	5	E718375, N598667	SS	3,00-3,50	7,7	N.L		N.P	52,1	34,0	15,6	5,9	A-1-a	GP-GM			Rechazo	
3	6	E718375, N598667	SS	4,50-5,00	5,5	N.L		N.P	49,8	36,7	17,0	10,7	A-1-a	GP-GM	1,988		Rechazo	
3	7	E718375, N598667	SS	5,50-6,00	6,1	N.L		N.P	53,0	35,8	18,7	11,4	A-1-a	GP-GM			Rechazo	
4	1	E718174, N598619	SS	0,20-0,70	32,1	0,70 mts.	25,9	21,8	100,0	100,0	97,9	51,3	A-4	ML		0,25	3	
4	2	E718174, N598619	SS	0,70-1,20	24,5		N.L	N.P	95,0	91,9	81,1	38,0	A-4	SM	1,813		7	
4	3	E718174, N598619	SS	1,50-2,00	12,0		N.L	N.P	64,9	46,7	18,9	5,5	A-1-a	SP-SM			18	
4	4	E718174, N598619	SS	3,00-3,50	18,5		N.L	N.P	76,1	60,1	36,1	17,2	A-2-4	SM	1,839		14	
4	5	E718174, N598619	SS	3,50-4,00	15,2		N.L	N.P	75,9	65,1	38,9	20,4	A-2-4	SM			Rechazo	
4	6	E718174, N598619	SS	5,50-6,00	13,5		N.L	N.P	73,5	62,7	34,8	19,2	A-2-4	SM			Rechazo	
5	1	E718159, N598617	SS	0,20-0,70	47,3		0,75 mts.	30,6	25,6	100,0	100,0	99,4	73,5	A-4	ML			4
5	2	E718159, N598617	SS	0,70-1,20	29,2	29,0		23,5	85,4	84,8	79,3	52,8	A-4	ML	1,732		6	
5	3	E718159, N598617	SS	1,50-2,00	14,0	N.L		N.P	100,0	78,5	26,8	15,8	A-2-4	SM			Rechazo	
5	4	E718159, N598617	SS	3,00-3,50	13,2	N.L		N.P	92,4	72,3	30,1	16,9	A-2-4	SM	1,855		Rechazo	
5	5	E718159, N598617	SS	4,50-5,00	11,4	N.L		N.P	90,3	74,2	29,7	14,8	A-2-4	SM			Rechazo	
5	6	E718159, N598617	SS	5,50-6,00	11,1	N.L		N.P	80,4	71,3	32,4	16,8	A-2-4	SM			Rechazo	
6	1	E717686, N598349	SS	0,20-0,70	50,7	0,70 mts.		30,3	25,0	100,0	100,0	99,9	92,4	A-4	ML		0,25	3
6	2	E717686, N598349	SS	0,70-1,20	26,4		28,9	24,5	49,3	46,5	36,9	27,2	A-2-4	GM-GC	1,902		12	
6	3	E717686, N598349	SS	1,50-2,00	15,9		N.L	N.P	63,5	54,7	18,5	7,3	A-1-b	SP-SM			17	
6	4	E717686, N598349	SS	3,00-3,50	12,3		N.L	N.P	59,8	52,4	22,9	11,3	A-1-b	SP-SM	1,913		Rechazo	
6	5	E717686, N598349	SS	4,50-5,00	10,5		N.L	N.P	52,1	43,6	25,9	11,6	A-1-a	GP-GM			Rechazo	
6	6	E717686, N598349	SS	5,50-6,00	9,8		N.L	N.P	53,0	37,7	24,5	10,9	A-1-a	GP-GM			Rechazo	
7	1	E717730, N598381	SS	0,20-0,70	58,7		0,70 mts.	48,8	31,2	100,0	100,0	99,4	92,2	A-7-5	ML		0,25	3
7	2	E717730, N598381	SS	0,70-1,20	24,3	N.L		N.P	72,5	64,2	44,0	18,7	A-2-4	SM	1,812		6	
7	3	E717730, N598381	SS	1,50-2,00	12,4	N.L		N.P	61,3	48,3	21,3	7,7	A-1-a	SP-SM			8	
7	4	E717730, N598381	SS	2,50-3,00	30,2	N.L		N.P	69,9	65,5	47,5	31,2	A-2-4	SM			10	
7	5	E717730, N598381	SS	3,00-3,50	13,1	N.L		N.P	65,6	52,1	24,9	6,7	A-1-a	SP-SM	1,872		10	
7	6	E717730, N598381	SS	3,50-4,00	11,8	N.L		N.P	70,3	55,6	30,2	9,4	A-1-b	SW-SM			Rechazo	
7	7	E717730, N598381	SS	5,50-6,00	9,7	N.L		N.P	69,6	48,6	28,6	10,5	A-1-a	SP-SM			Rechazo	
8	1	E717795, N598381	SS	0,20-0,70	39,5	0,70 mts.	32,9	23,3	100,0	98,6	94,2	79,9	A-4	CL		0,50	6	
8	2	E717795, N598381	SS	0,70-1,20	31,7		N.L	N.P	50,6	45,5	38,1	27,7	A-2-4	GM	1,888		9	
8	3	E717795, N598381	SS	1,50-2,00	7,7		N.L	N.P	34,6	26,7	10,2	4,5	A-1-a	GP			18	
8	4	E717795, N598381	SS	3,00-3,50	8,1		N.L	N.P	40,1	30,3	18,2	8,8	A-1-a	GW-GM	1,963		Rechazo	
8	5	E717795, N598381	SS	4,50-5,00	7,6		N.L	N.P	45,6	34,1	17,1	9,9	A-1-a	GW-GM			Rechazo	
8	6	E717795, N598381	SS	5,50-6,00	7,1		N.L	N.P	52,0	32,0	18,8	11,8	A-1-a	GP-GM			Rechazo	

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 27 Resultados de refracción sísmica Vonu línea 1 traza 1

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	2.36	2.36	144.32	270	37.49	131.22	81.23	97.48
2	3.86	1.5	293.15	548.44	154.69	541.42	335.16	402.2

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 28 Resultados de refracción sísmica Vonu línea 3 traza 2

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.60	1.6	134.46	251.55	72.98	113.9	70.51	738.08
2	2.81	1.21	302.92	566.71	381.48	578.09	357.87	4038.99

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

E_y: Módulo de Young;

Tabla 29 SPT vs Refracción Sísmica Vonu

Vonu					
línea 1 Traza 1			línea 3 Traza 2		
Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N
2,36	144,32	7	1,60	134,46	5
3,86	293,15	15	2,81	302,92	16
6.86	426.67	R	6.00	350.16	R

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.8 Datos campamento Moqueta 4

Realización de los ensayos proyecto Moqueta 4	
Ubicación: Villa Garzón, Putumayo Año: 2016 Contratante: Gran Tierra Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	STP
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 30 resultados SPT Moqueta 4

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio de Estabilidad Talud y Diseño de Obras de Contención - Alojamiento Moqueta 4

Descripción: Resumen ensayos de laboratorio

Fecha: Abril 30 de 2016

Sondeo No.	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Lmites		Granulometria % pasa				Clasificación		Densidad δ g/m ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)				L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²	
1	1	E722310, N606665	SS	0,75-1,20	SL-5421	57,2	No se encontro	32,2	24,3	100,0	99,5	96,9	91,1	A-4	ML	1,618	0,50	4	
1	2	E722310, N606665	SS	1,50-2,00	SL-5422	48,3		36,4	28,7	100,0	99,6	96,5	91,0	A-4	ML		1,25	15	
1	3	E722310, N606665	SS	2,50-3,00	SL-5423	21,8		34,9	23,9	100,0	100,0	98,8	96,0	A-6	CL		4,50	44	
1	4	E722310, N606665	SS	3,50-4,00	SL-5424	10,1		27,4	22,3	100,0	100,0	99,8	90,9	A-4	ML	1,866	>4,5	RECHAZO	
1	5	E722310, N606665	SS	4,50-5,00	SL-5425	11,1		28,4	23,2	100,0	99,5	97,4	94,9	A-4	ML		>4,5	RECHAZO	
1	6	E722310, N606665	SS	5,50-6,00	SL-5426	10,2		30,3	23,8	100,0	100,0	98,2	96,1	A-4	ML	1,989	>4,5	RECHAZO	
2	1	E722323, N606674	SS	0,75-1,20	SL-5438	16,4	No se encontro	32,3	21,3	100,0	100,0	99,6	99,1	A-6	CL		1,00	13	
2	2	E722323, N606674	SS	1,50-2,00	SL-5439	10,6		42,1	23,6	100,0	100,0	97,9	94,7	A-7-6	CL	1,858	1,50	17	
2	3	E722323, N606674	SS	2,50-3,00	SL-5440	10,3		29,7	21,5	100,0	100,0	96,7	94,7	A-4	CL	1,888	2,00	22	
2	4	E722323, N606674	SS	3,50-4,00	SL-5441	11,1		31,5	17,8	100,0	100,0	98,5	96,9	A-6	CL		4,50	48	
2	5	E722323, N606674	SS	4,50-5,00	SL-5442	10,6		28,1	17,8	100,0	100,0	98,4	97,0	A-4	CL	1,919	4,50	48	
2	6	E722323, N606674	SS	5,50-6,00	SL-5443	7,4		28,4	18,9	100,0	100,0	99,7	99,1	A-4	CL		4,00	44	
3	1	E722334, N606669	SS	0,75-1,20	SL-5427	20,5	No se encontro	31,6	23,5	99,7	99,1	97,0	68,9	A-4	ML		1,00	12	
3	2	E722334, N606669	SS	1,50-2,00	SL-5428	23,6		29,5	23,0	94,4	89,1	84,0	64,8	A-4	ML	1,849	2,00	22	
3	3	E722334, N606669	SS	2,50-3,00	SL-5429	20,1		26,9	20,5	100,0	98,1	90,4	74,8	A-4	ML-CL		1,50	18	
3	4	E722334, N606669	SS	4,50-5,00	SL-5430	14,7		44,2	22,9	100,0	100,0	99,7	99,4	A-7-6	CL	1,978	>4,5	RECHAZO	
3	5	E722334, N606669	SS	5,50-6,00	SL-5431	12,3		36,6	19,7	100,0	98,5	95,8	90,3	A-6	CL	1,989	>4,5	RECHAZO	
6	1	E722289, N606684	SS	0,75-1,20	SL-5432	19,5		No se encontro	34,2	16,7	98,3	93,6	87,7	66,7	A-6	CL	1,771	0,75	8
6	2	E722289, N606684	SS	1,50-2,00	SL-5433	30,0	30,2		21,6	99,3	94,8	87,1	77,4	A-4	CL		0,50	4	
6	3	E722289, N606684	SS	2,50-3,00	SL-5434	10,8	30,9		25,1	100,0	99,3	93,6	88,2	A-4	ML	1,839	1,00	13	
6	4	E722289, N606684	SS	3,50-4,00	SL-5435	8,6	33,5		24,1	100,0	99,2	93,9	88,9	A-4	ML		>4,5	80	
6	5	E722289, N606684	SS	4,50-5,00	SL-5436	8,2	31,1		23,3	100,0	98,8	94,5	89,3	A-4	ML		>4,5	RECHAZO	
6	6	E722289, N606684	SS	5,50-6,00	SL-5437	7,7	30,8		23,4	99,3	97,6	92,5	86,5	A-4	ML	1,931	>4,5	RECHAZO	
7	1	E722293, N606691	SS	0,75-1,20	SL-5468	24,0	No se encontro	30,5	20,6	96,4	95,5	94,4	91,0	A-4	CL	1,593	<0,25	0	
7	2	E722293, N606691	SS	1,50-2,00	SL-5469	39,4		36,4	23,3	100,0	98,1	95,1	82,9	A-6	CL	1,737	0,25	2	
7	3	E722293, N606691	SS	2,50-3,00	SL-5470	22,7		27,6	20,3	92,3	85,2	78,3	62,6	A-4	CL		0,50	4	
7	3A	E722293, N606691	TS	3,00-3,50	SL-5473	25,2		40,0	22,2	100,0	98,9	95,8	93,2	A-6	CL	1,968	2,00	1,71	14
7	4	E722293, N606691	SS	3,50-4,00	SL-5471	11,1		37,8	23,1	100,0	100,0	98,4	95,2	A-6	CL	1,903	3,00	32	
7	5	E722293, N606691	SS	4,50-5,00	SL-5472	7,4		22,1	15,8	94,7	81,0	49,2	29,3	A-2-4	SM-SC		>4,5	RECHAZO	
7	6	E722293, N606691	SS	5,50-6,00	SL-5474	8,1	23,2	16,7	90,6	80,0	58,2	39,7	A-4	SM-SC		>4,5	RECHAZO		
8	1	E722295, N606708	SS	0,75-1,20	SL-5456	23,7	No se encontro	29,0	20,1	100,0	98,3	93,1	85,0	A-4	CL	1,768	0,50	7	
8	2	E722295, N606708	SS	1,50-2,00	SL-5457	23,9		25,8	19,9	100,0	98,7	95,1	73,8	A-4	ML-CL		1,25	9	
8	3	E722295, N606708	SS	2,50-3,00	SL-5458	20,7		34,3	23,2	100,0	98,6	97,5	96,9	A-6	CL	1,886	1,50	17	
8	4	E722295, N606708	SS	3,50-4,00	SL-5459	18,6		41,3	22,0	100,0	100,0	99,5	99,3	A-7-6	CL	1,962	4,00	44	
8	5	E722295, N606708	SS	4,50-5,00	SL-5460	9,7		29,6	20,3	100,0	100,0	99,9	99,2	A-4	CL	1,997	4,50	51	
8	6	E722295, N606708	SS	5,50-6,00	SL-5461	8,3		30,2	20,1	100,0	96,4	88,8	78,4	A-4	CL		>4,5	RECHAZO	

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 31 Resultados de refracción sísmica Moqueta 4 línea 1 traza 9

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	Ey [MPa]
1	1.03	1.03	153.81	287.76	95.24	149.05	92.27	976.3
2	2.17	1.14	273.93	512.48	309.40	472.75	292.65	3267.72

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 32 Resultados de refracción sísmica Maqueta 4 línea 2 traza 9

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1	106.47	199.19	46.51	43.28	26.79	454.83
2	2.03	1.03	167.73	313.8	113.30	178.41	110.44	1169.5
3	3.34	1.32	292.96	548.08	418.93	280.36	173.55	4439.69
4	5.60	2.26	355.77	665.59	627.28	699.26	432.87	6668.94

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 33 Resultados de refracción sísmica Maqueta 4 línea 3 traza 8

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	Ey [MPa]
1	1.24	1.24	190.76	356.88	146.98	229.25	141.92	1529.89
2	2.39	1.15	218.6	408.96	194.15	301.04	186.36	2034.58
3	3.39	1	321.83	602.1	509.13	652.53	403.95	5404.75
4	5.78	2.39	367.85	688.19	672.53	852.49	527.73	7153.12

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

Ey: Módulo de Young;

Tabla 34 SPT vs Refracción Sísmica Maqueta 4

Moqueta 4								
línea 1 Traza 9			línea 2 Traza 9			línea 3 Traza 8		
Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N
1,03	153,81	8	1,00	106,47	7	1,24	190,76	13
2,17	273,93	4	2,03	167,73	9	2,39	218,6	17
3.50	444.37	R	3,34	292,96	17	3,39	321,83	22
6.35	562.26	R	5,60	355,77	47	5,78	367,85	47
-	-	-	6.68	398.01	R	7.40	327.39	R

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.9 Datos locación Prosperidad

Realización de los ensayos proyecto Prosperidad	
Ubicación: Yopal, Casanare Año: 2016 Contratante: Petroamerica Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 35 resultados SPT Prosperidad

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio de Suelos Plataforma El Portón - Yopal

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Julio 19 de 2016

Sondeo No.	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometría % pasa				Clasificación		Densidad δ_t gmv/cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)				L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²	
1	1	E860684, N1078395	SS	0,50-1,00	SL-5551	20,7	2,50 mts.	28,8	17,6	100,0	100,0	98,4	89,3	A-6	CL	1,721			8
1	2	E860684, N1078395	SS	1,50-2,00	SL-5552	21,7		33,5	18,2	88,6	86,2	82,9	56,4	A-6	CL		0,75		10
1	3	E860684, N1078395	SS	3,00-3,50	SL-5553	8,5		NL	N.P	46,2	37,8	27,1	11,0	A-1-a	GP-GM	2,060			37
1	4	E860684, N1078395	SS	4,50-5,00	SL-5554	8,8		NL	N.P	54,7	41,2	33,6	13,2	A-2-4	GM				40
1	5	E860684, N1078395	SS	5,50-6,00	SL-5555	9,4		NL	N.P	58,9	48,9	37,2	14,6	A-2-4	SM				RECHAZO
2	1	E860705, N1078330	SS	0,50-1,00	SL-5556	21,5	3,00 mts.	36,4	19,3	100,0	100,0	98,4	86,2	A-6	CL	1,692	0,50		7
2	2	E860705, N1078330	SS	1,00-1,50	SL-5557	18,0		34,6	18,0	100,0	99,7	96,9	70,0	A-6	CL		0,75		11
2	3	E860705, N1078330	SS	2,20-2,70	SL-5558	21,5		21,4	15,0	100,0	98,9	96,9	75,7	A-4	ML-CL	1,745			24
2	4	E860705, N1078330	SS	4,00-4,50	SL-5559	9,3		NL	N.P	28,3	22,4	16,8	6,8	A-1-a	GW-GM				RECHAZO
2	5	E860705, N1078330	SS	5,50-6,00	SL-5560	9,7		NL	N.P	55,6	43,5	34,7	13,6	A-2-4	GM	2,055			RECHAZO
3	1	E860672, N1078283	SS	0,50-1,00	SL-5561	19,1	2,30 mts.	25,0	15,5	100,0	100,0	98,4	65,3	A-4	CL	1,738	1,00		13
3	2	E860672, N1078283	SS	1,00-1,50	SL-5562	22,6		32,4	17,8	100,0	100,0	94,1	77,1	A-6	CL		0,75		10
3	3	E860672, N1078283	TS	1,50-2,00	SL-5563	15,5		30,8	17,9	99,7	99,3	95,2	71,5	A-6	CL	1,716	0,75	0,54	
3	4	E860672, N1078283	SS	2,20-2,70	SL-5564	22,7		31,4	17,4	100,0	97,4	85,4	68,0	A-6	CL		0,75		10
3	5	E860672, N1078283	SS	3,20-3,70	SL-5565	8,4		NL	N.P	57,4	41,1	30,0	10,8	A-1-b	SP-SM	1,988			RECHAZO
3	6	E860672, N1078283	SS	4,50-5,00	SL-5566	8,2		NL	N.P	49,0	39,3	29,5	10,8	A-1-a	GP-GM				RECHAZO
3	7	E860672, N1078283	SS	5,50-6,00	SL-5567	8,8		NL	N.P	51,1	40,5	29,3	12,7	A-2-4	GM				RECHAZO
4	1	E860664, N1078214	SS	0,50-1,00	SL-5568	18,8	2,50 mts.	22,4	12,6	99,5	98,7	95,6	62,9	A-4	CL				8
4	2	E860664, N1078214	SS	1,00-1,50	SL-5569	18,9		24,2	16,9	100,0	100,0	98,6	68,7	A-4	CL	1,672	0,50		6
4	3	E860664, N1078214	TS	1,50-2,00	SL-5570	11,4		25,3	17,2	100,0	99,9	99,2	58,4	A-4	CL	1,623	0,50	0,32	
4	4	E860664, N1078214	SS	2,00-2,50	SL-5571	20,7		22,2	16,7	100,0	96,9	93,3	63,0	A-4	ML-CL	1,702			6
4	5	E860664, N1078214	SS	3,00-3,50	SL-5572	7,9		NL	N.P	52,7	36,9	25,8	11,5	A-1-a	GP-GM				RECHAZO
4	6	E860664, N1078214	SS	4,50-5,00	SL-5573	8,8		NL	N.P	56,9	41,1	31,1	14,9	A-2-4	GM	2,061			RECHAZO
4	7	E860664, N1078214	SS	5,50-6,00	SL-5574	9,1		NL	N.P	62,2	44,4	33,3	16,4	A-2-4	SM				RECHAZO
5	1	E860577, N1078210	SS	0,50-1,00	SL-5575	16,6	3,00 mts.	23,5	17,3	100,0	88,4	75,4	60,2	A-4	ML-CL	1,725	0,75		10
5	2	E860577, N1078210	SS	1,00-1,50	SL-5576	11,8		21,5	17,0	80,0	70,2	60,2	45,9	A-4	SM-SC	1,845			11
5	3	E860577, N1078210	SS	2,00-2,50	SL-5577	18,0		22,4	16,2	100,0	99,1	95,7	63,0	A-4	ML-CL		0,75		9
5	4	E860577, N1078210	SS	3,00-3,50	SL-5578	8,1		NL	N.P	49,6	39,6	29,3	11,5	A-1-a	GP-GM	2,071			RECHAZO
5	5	E860577, N1078210	SS	4,50-5,00	SL-5579	9,1		NL	N.P	51,3	43,9	32,8	13,5	A-2-4	GM				RECHAZO
5	6	E860577, N1078210	SS	5,50-6,00	SL-5580	8,7		NL	N.P	53,2	41,2	30,8	12,8	A-2-4	GM				RECHAZO
6	1	E858853, N1078917	SS	0,50-1,00	SL-5581	10,1	4,80 mts.	25,5	16,5	100,0	98,3	87,5	54,6	A-4	CL	1,751	1,00		14
6	2	E858853, N1078917	SS	1,50-2,00	SL-5582	3,7		NL	N.P	43,9	36,1	28,0	12,5	A-1-a	GM	2,021			27
6	3	E858853, N1078917	SS	2,50-3,00	SL-5583	4,6		NL	N.P	57,5	49,1	36,2	11,5	A-1-b	SP-SM				41
6	4	E858853, N1078917	SS	3,50-4,00	SL-5584	8,4		37,4	19,0	100,0	99,7	96,7	75,9	A-6	CL	1,788	>4,5		RECHAZO
6	5	E858853, N1078917	SS	4,50-5,00	SL-5585	8,7		NL	N.P	59,2	46,8	35,7	15,7	A-2-4	SM				RECHAZO
6	6	E858853, N1078917	SS	5,50-6,00	SL-5586	9,1		NL	N.P	60,3	50,8	33,1	14,9	A-2-4	SM				RECHAZO

Observaciones: Se encuentra capa vegetal con espesor promedio de 30 cm.

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 36 Resultados de refracción sísmica Prosperidad línea 1 traza 9

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.43	1.43	159.83	299.01	38.51	134.77	83.43	100.11
2	2.43	1	224.09	419.23	76.54	267.88	165.83	198.99
3	6.00	3.57	341.62	513.68	120.65	422.26	261.4	313.68

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

E_y: Módulo de Young;

Tabla 37 SPT vs refracción sísmica Prosperidad

Prosperidad		
Línea 1 Traza 9		
Profundidad(m)	V _s	N
1,43	159,83	7
2,43	224,09	11
6,00	341,62	33

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.10 Datos conjunto Volterra

Realización de los ensayos proyecto Volterra	
Ubicación: Vereda Neiva, Huila - Colombia	
Año: 2016	
Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 38 resultados SPT Volterra

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio De Suelos Para Diseño Obras De Contención Conjunto Volterra

Fecha: Julio 25 de 2016

Descripción: Resultados de laboratorio

Sondeo	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometria % pasa				Clasificación		Densidad δ_t gm/cm3	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie		
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)				L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm2	qu kg/cm2			
1	1	870036.8, N815849	SS	0,50-1,00	SL-5541	14,2		28,3	18,2	95,0	80,8	58,0	29,8	A-2-4	SC	1,808			3		
1	2	870036.8, N815849	SS	1,00-1,50	SL-5542	14,3		26,0	19,3	98,7	90,6	55,6	26,5	A-2-4	SM-SC	1,915			7		
1	3	870036.8, N815849	SS	2,00-2,50	SL-5543	13,7		31,3	19,6	83,0	73,7	51,4	29,3	A-2-6	SC	1,934			7		
1	4	870036.8, N815849	SS	3,00-3,50	SL-5544	13,5		33,2	22,7	92,0	83,8	57,3	32,5	A-2-6	SC	1,984			16		
1	5	870036.8, N815849	SS	4,00-4,50	SL-5545	12,6		37,0	23,7	95,7	90,4	64,9	42,4	A-6	SC	2,022			15		
1	6	870036.8, N815849	SS	5,00-5,50	SL-5546	7,2		27,0	16,5	89,8	79,6	54,4	26,1	A-2-6	SC	2,030			14		
1	7	870036.8, N815849	SS	6,50-7,00	SL-5547	7,3		31,4	20,5	93,6	85,3	58,7	30,6	A-2-6	SC				RECHAZO		
1	8	870036.8, N815849	SS	7,50-8,00	SL-5606	27,0	No se encontro	NL	NP	99,1	90,8	58,2	26,7	A-2-4	SM	1,977			19		
1	9	870036.8, N815849	SS	9,00-9,50	SL-5607	33,7		58,6	29,8	98,2	94,5	76,7	51,5	A-7-6	CH	1,672	1,50		19		
1	10	870036.8, N815849	SS	10,50-11,00	SL-5608	39,6		61,8	27,6	100,0	98,2	81,9	53,4	A-7-6	CH	1,549	1,25		15		
1	11	870036.8, N815849	TS	11,50-12,00	SL-5609	34,1		35,2	21,6	100,0	98,4	80,9	60,0	A-6	CL	1,861	0,75	0,54	-		
1	12	870036.8, N815849	SS	12,00-12,50	SL-5610	16,3		75,6	38,2	96,6	92,1	73,8	53,9	A-7-5	MH	1,689			16		
1	13	870036.8, N815849	SS	13,50-14,00	SL-5611	33,1		45,6	21,8	100,0	100,0	98,2	54,2	A-7-6	CL	1,664	1,75		24		
1	14	870036.8, N815849	SS	15,00-15,50	SL-5612	14,2		25,2	17,4	100,0	99,8	93,8	44,7	A-4	SC	1,930			26		
1	15	870036.8, N815849	SS	17,50-18,00	SL-5613	18,2		28,2	21,2	99,1	96,1	73,8	31,2	A-2-4	SM-SC	2,040			60		
2	1	870045.4, N815885	SS	0,50-1,00	SL-5614	5,9		34,3	21,1	72,3	61,1	37,2	19,5	A-2-6	SC				22		
2	2	870045.4, N815885	BD	1,50-2,00	SL-5615	-		ARENA ARCILLOSA CON PRESENCIA DE ROCA													RECHAZO
2	3	870045.4, N815885	BD	2,50-3,00	SL-5616	-		ARENA ARCILLOSA CON PRESENCIA DE ROCA													RECHAZO
2	4	870045.4, N815885	SS	3,50-4,00	SL-5617	10,7		30,1	18,8	84,5	76,9	50,2	31,1	A-2-6	SC	1,951			14		
2	5	870045.4, N815885	SS	4,50-5,00	SL-5618	11,6		NL	NP	87,4	83,2	47,8	19,4	A-2-4	SM				25		
2	6	870045.4, N815885	SS	6,50-6,50	SL-5619	12,1		27,6	16,4	96,7	90,2	55,7	33,4	A-2-6	SC				12		
2	7	870045.4, N815885	SS	7,50-8,00	SL-5620	14,2		22,4	14,4	92,8	88,2	55,1	26,4	A-2-4	SC	1,935			18		
2	8	870045.4, N815885	SS	9,00-9,50	SL-5621	14,4	No se encontro	34,5	21,1	97,7	91,4	62,7	37,6	A-6	SC	1,984			16		
2	9	870045.4, N815885	SS	10,50-11,00	SL-5622	21,0		25,6	20,9	98,8	97,6	62,7	29,8	A-2-4	SM-SC	1,995			18		
2	10	870045.4, N815885	SS	12,00-12,50	SL-5623	61,4		58,1	31,0	100,0	100,0	99,8	96,9	A-7-5	MH	1,704	1,50		19		
2	11	870045.4, N815885	TS	13,00-13,50	SL-5624	49,0		74,7	33,6	100,0	100,0	98,7	94,7	A-7-5	CH	1,694	0,75	0,56	-		
2	12	870045.4, N815885	SS	13,50-14,00	SL-5625	50,8		72,2	39,8	100,0	99,8	99,0	94,3	A-7-5	MH	1,793			17		
2	13	870045.4, N815885	SS	15,00-15,50	SL-5626	46,9		59,5	28,3	100,0	100,0	94,2	61,6	A-7-6	CH	1,776	1,75		18		
2	14	870045.4, N815885	SS	16,50-17,00	SL-5627	28,5		35,2	24,3	99,5	99,1	97,0	45,0	A-6	SM	1,958			38		
2	15	870045.4, N815885	SS	18,00-18,50	SL-5628	27,4		28,5	23,2	100,0	100,0	95,6	37,4	A-4	SM-SC	1,998			47		
3	1	870061.1, N815936	SS	0,50-1,00	SL-5629	10,0		31,6	17,3	84,7	76,9	50,7	24,4	A-2-6	SC	1,923			29		
3	2	870061.1, N815936	SS	1,00-1,50	SL-5630	7,8		31,6	16,7	56,0	51,7	33,9	15,8	A-2-6	GC	2,040			30		
3	3	870061.1, N815936	SS	2,00-2,50	SL-5631	6,6		24,7	16,7	88,7	79,2	50,2	24,4	A-2-4	SC	1,966			40		
3	4	870061.1, N815936	SS	3,00-3,50	SL-5632	5,8		27,6	17,6	91,4	85,7	57,8	33,2	A-2-4	SC	1,986			41		
3	5	870061.1, N815936	SS	4,00-4,50	SL-5633	5,9		27,9	18,5	93,1	86,3	50,9	32,6	A-2-4	SC	1,969			22		
3	6	870061.1, N815936	SS	5,00-5,50	SL-5634	8,5		30,2	18,1	90,5	82,0	52,1	30,8	A-2-6	SC	1,831			14		
3	7	870061.1, N815936	SS	6,50-7,00	SL-5635	8,5	No se encontro	27,1	17,7	86,8	81,7	62,2	49,8	A-4	SC	1,958			36		
3	8	870061.1, N815936	SS	8,00-8,50	SL-5636	15,4		28,2	18,2	96,8	93,0	68,6	43,9	A-4	SC	2,014			RECHAZO		
3	9	870061.1, N815936	SS	10,00-10,50	SL-5637	15,6		30,8	22,9	96,7	95,4	76,3	40,9	A-4	SC				53		
3	10	870061.1, N815936	SS	12,00-12,50	SL-5638	23,4		42,6	23,9	98,8	96,0	84,3	59,0	A-7-6	CL		1,50		17		
3	11	870061.1, N815936	SS	13,50-14,00	SL-5639	26,6		46,6	25,5	100,0	99,5	88,6	59,5	A-7-6	CL	1,814	2,00		27		
3	12	870061.1, N815936	SS	15,50-16,00	SL-5640	25,2		46,4	22,7	100,0	99,9	93,5	58,5	A-7-6	CL	1,880	2,50		36		
3	13	870061.1, N815936	TS	16,00-16,50	SL-5641	27,7		48,0	26,9	100,0	99,3	90,6	51,4	A-7-6	CL	1,918	1,50	1,29	-		
3	14	870061.1, N815936	SS	20,50-21,00	SL-5642	25,6		27,1	20,7	98,4	96,1	67,5	44,6	A-4	SM-SC	1,859			19		
4	1	870071.9, N815986	SS	0,50-1,00	SL-5643	10,0		31,2	18,7	87,6	81,5	55,7	28,6	A-2-6	SC	1,909			11		
4	2	870071.9, N815986	SS	1,50-2,00	SL-5644	5,1		22,9	16,4	78,9	65,6	34,7	12,5	A-2-4	SM-SC	1,878			7		
4	3	870071.9, N815986	SS	2,50-3,00	SL-5645	11,3		29,1	21,7	89,4	82,5	54,2	25,6	A-2-4	SC	1,917			16		
4	4	870071.9, N815986	SS	3,50-4,00	SL-5646	7,6		27,1	16,8	78,0	72,9	41,8	18,5	A-2-4	SC	1,923			19		
4	5	870071.9, N815986	BD	4,50-5,00	SL-5647	-		ARENA ARCILLOSA CON PRESENCIA DE ROCA													RECHAZO
4	6	870071.9, N815986	SS	6,00-6,50	SL-5648	12,9	No se encontro	23,2	15,0	100,0	98,3	77,8	36,4	A-4	SC	1,947			29		
4	7	870071.9, N815986	SS	7,50-8,00	SL-5649	8,6		NL	NP	77,9	70,7	42,2	17,5	A-2-4	SM				31		
4	8	870071.9, N815986	SS	10,00-10,50	SL-5650	49,6		53,6	36,9	99,3	98,0	89,9	72,3	A-7-5	MH	1,735	0,75		11		
4	9	870071.9, N815986	SS	12,00-12,50	SL-5651	33,9		44,7	26,3	100,0	97,4	87,5	67,4	A-7-6	CL				RECHAZO		
4	10	870071.9, N815986	SS	15,00-15,50	SL-5652	23,1		30,6	19,8	91,2	88,4	70,1	42,6	A-6	SC				RECHAZO		
4	11	870071.9, N815986	SS	16,50-17,00	SL-5653	25,0		33,9	21,0	94,5	93,2	66,9	41,1	A-6	SC				18		
4	12	870071.9, N815986	SS	18,50-19,00	SL-5654	22,4		26,0	19,9	89,2	84,7	59,7	39,7	A-4	SM-SC				17		

Observaciones: Muestras tipo BD corresponden a broca diamantada empleada en sitios donde se encontro presencia de rocas hasta media zonga.

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 39 resultados de refracción sísmica Volterra línea 3 traza 6 sondeo 1

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.00	1	131.74	246.47	70.11	54.73	33.88	707.41
2	6.01	5	260.82	487.94	279.46	155.89	96.5	2947.39
3	12.76	6.76	196.49	367.6	184.51	253.48	156.92	1931.44
4	13.93	1.16	225.85	422.53	245.14	133.62	82.72	2580.1
5	16.10	2.17	300.11	700.46	697.81	437.91	271.09	7423.63
6	18.50		429.54					

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 40 resultados de refracción sísmica Volterra línea 1 traza 8 sondeo 4

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	1.52	1.52	199.24	372.73	64.07	224.25	138.82	166.59
2	11.64	10.12	271.15	507.28	120.55	421.93	261.19	313.43
3	19.80	8.16	311.7	583.14	164.95	577.33	357.39	428.87

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

E_y: Módulo de Young;

Tabla 41 SPT vs refracción sísmica Volterra

Volterra					
línea 3 Traza 6 Sondeo 1			línea 1 Traza 8 Sondeo 4		
Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N
1,00	131,74	3	1,52	199,24	9
6,01	260,82	12	11,64	271,15	21
12,76	196,49	13	19,80	311,7	16
13,93	225,85	16			
16,10	300,11	25			
18,50	429,54	60			

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.11 Datos zodme Siriri

Realización de los ensayos proyecto zodme Siriri	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 42 resultados SPT Zodme

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio y Diseño Zona Zodme Plataforma Siriri

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Noviembre 26 de 2016

Sondeo No.	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometria % pasa				Clasificación		Densidad	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Coordenadas	Tipo	Profundidad (metros)				L.L %	L.P %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC	$\delta \uparrow$ gm/cm3	Penet. kg/cm2	qu kg/cm2	
1	1	E692956, N555800	SS	0,50-1,00	SL-5671	47,6	Flujo de agua a 4,50 mts.	47,8	36,4	95,3	91,4	71,1	52,5	A-7-5	ML	1,603	0,25		4
1	2	E692956, N555800	SS	1,00-1,50	SL-5672	28,8		49,4	35,3	98,7	97,0	88,9	75,8	A-7-5	ML	1,779	0,75		10
1	3	E692956, N555800	SS	2,00-2,50	SL-5673	31,3		44,4	33,7	92,1	87,0	74,0	51,2	A-7-5	ML	1,678	0,25		5
1	4	E692956, N555800	SS	3,00-3,50	SL-5674	46,4		48,3	34,7	100,0	96,0	83,2	63,6	A-7-5	ML	1,766			12
1	5	E692956, N555800	TS	4,00-4,50	SL-5675	45,6		46,1	34,1	99,2	94,3	80,3	58,9	A-7-5	ML	1,760		0,66	
1	6	E692956, N555800	SS	4,50-5,00	SL-5676	48,6		43,3	33,9	100,0	96,2	79,7	54,7	A-5	ML		0,75		9
2	1	E692956, N555800	SS	6,00-6,50	SL-5677	33,2		48,5	30,8	98,1	93,9	76,8	58,9	A-7-5	ML	1,741			8
2	2	E692926, N555756	SS	0,50-1,00	SL-5678	32,7	49,6	33,9	100,0	98,9	96,3	90,7	A-7-5	ML	1,676	0,25		3	
2	2	E692926, N555756	SS	1,00-1,50	SL-5679	35,7	44,6	32,8	99,7	99,3	83,2	52,6	A-7-5	ML	1,740	0,50		7	
2	3	E692926, N555756	TS	1,50-2,00	SL-5680	48,3	47,0	35,0	100,0	97,3	84,2	60,4	A-7-5	ML	1,707		0,34		
2	4	E692926, N555756	SS	2,00-2,50	SL-5681	63,5	48,6	32,7	98,0	96,1	79,2	59,9	A-7-5	ML				5	
2	5	E692926, N555756	SS	3,00-3,50	SL-5682	58,5	47,6	33,3	100,0	95,2	83,2	58,8	A-7-5	ML	1,760	0,25		4	
2	6	E692926, N555756	SS	4,00-4,50	SL-5683	53,5	49,3	36,1	100,0	97,1	86,2	63,8	A-7-5	ML	1,781	0,50		6	
2	7	E692926, N555756	SS	5,50-6,00	SL-5684	48,9	45,3	34,0	95,7	92,5	81,7	60,3	A-7-5	ML				8	
3	1	E692890, N555726	SS	0,50-1,00	SL-5685	33,5	43,6	32,9	95,4	90,9	72,9	51,0	A-7-5	ML	1,672	0,25		4	
3	2	E692890, N555726	SS	1,00-1,50	SL-5686	28,0	43,8	29,0	93,2	87,3	70,1	51,0	A-7-6	ML	1,694	0,75		4	
3	3	E692890, N555726	TS	1,50-2,00	SL-5687	27,5	44,2	32,0	95,1	90,3	80,4	59,2	A-7-5	ML	1,721		0,33		
3	4	E692890, N555726	SS	2,20-2,70	SL-5688	26,3	41,2	31,2	88,3	84,0	66,9	50,9	A-5	ML	1,745	1,00		7	
3	5	E692890, N555726	SS	3,00-3,50	SL-5689	39,0	40,9	30,9	92,8	88,9	77,7	54,2	A-5	ML		0,50		6	
3	6	E692890, N555726	SS	4,00-4,50	SL-5690	42,2	42,6	31,7	96,3	85,4	72,9	56,8	A-7-5	ML	1,781			8	
3	7	E692890, N555726	SS	5,50-6,00	SL-5691	37,8	41,2	32,3	93,6	83,2	70,1	53,9	A-5	ML		0,75		9	

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 43 resultados refracción sísmica Zodme línea 1 traza 1

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	5.00	5	158.98	297.42	38.1	133.34	82.55	99.05
2	6.04	1.03	184.33	344.86	54.38	190.32	117.82	141.38

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G0: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;

Ey: Módulo de Young;

Tabla 44 SPT vs Refracción sísmica Zodme

Zodme Siriri		
Línea 1 Traza 1 Sondeo 2		
Profundidad(m)	V_s	N
5,00	158,98	4
6,04	184,33	8

Fuente: Autor 2017.

4.1.1.12 Datos vía acceso Amerisur

Realización de los ensayos proyecto Amerisur	
<p>Ubicación: veredas la rosa-Alea-Sevilla- el Baldio y Quebradon del municipio de Puerto Asís.</p> <p>Año: 2017</p> <p>Contratante: AMERISUR EXPLORACION COLOMBIA LIMITADA.</p> <p>Contratista: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA</p>	
Refracción sísmica	SPT
	
	

Fuente: Autor 2017.

Tabla 45 resultados SPT Amerisur

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio para el Diseño de Obras Complementarias en la Vía La Rosa - Quebradon en el Municipio de Puerto Asís

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Febrero 28 de 2017

Sondeo No.	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometria % pasa				Clasificación		Densidad $\rho_{\text{grv}}^{\dagger}$ / cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Abscisa	Tipo	Profundidad (metros)				L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²	
1	1	K0+005	SS	0,50-1,00	SL-5737	43,8	7,0 mts.	44,2	33,4	100,0	98,9	95,9	65,2	A-7-5	ML			4	
1	2	K0+005	SS	1,00-1,50	SL-5779	54,3		58,5	32,6	100,0	98,7	95,6	82,0	A-7-5	MH	1,678	0,50	0,28	4
1	3	K0+005	SS	2,00-2,50	SL-5780	39,2		50,8	29,8	100,0	100,0	99,5	87,6	A-7-6	MH	1,669			7
1	4	K0+005	SS	3,00-3,50	SL-5781	40,3		43,5	27,5	100,0	99,9	96,6	64,3	A-7-6	ML	1,703	1,75		13
1	5	K0+005	SS	4,00-4,50	SL-5782	30,2		40,1	26,5	100,0	99,9	95,3	82,5	A-6	ML	1,735			24
1	6	K0+005	SS	6,00-6,50	SL-5783	16,3		34,2	25,2	98,9	96,8	71,9	35,7	A-4	SM	1,807			28
1	7	K0+005	SS	7,00-7,50	SL-5784	22,6		NL	N.P	100,0	100,0	89,2	25,0	A-2-4	SM	1,938			26
1	8	K0+005	SS	8,50-9,00	SL-5785	17,8		NL	N.P	100,0	92,1	82,4	14,2	A-2-4	SM				35
2	1	K0+004	SS	0,50-1,00	SL-5786	36,5	8,5 mts.	66,6	38,1	97,1	89,5	69,5	51,2	A-7-5	MH		1,00		6
2	2	K0+004	SS	1,00-1,50	SL-5787	45,6		53,8	38,7	100,0	98,3	91,1	78,1	A-7-5	MH	1,679			7
2	3	K0+004	SS	2,00-2,50	SL-5788	62,8		55,2	37,3	100,0	99,6	97,9	87,2	A-7-5	MH	1,652	1,50		9
2	4	K0+004	SS	3,00-3,50	SL-5789	34,3		53,9	36,5	100,0	100,0	98,8	92,0	A-7-5	MH	1,671			8
2	5	K0+004	SS	4,00-4,50	SL-5790	34,5		33,8	29,2	100,0	100,0	99,5	94,1	A-4	ML	1,672			9
2	6	K0+004	SS	5,00-5,50	SL-5791	51,0		40,1	29,0	100,0	100,0	99,3	95,3	A-6	ML		1,25		7
2	7	K0+004	SS	6,00-6,50	SL-5792	34,5		34,7	25,9	100,0	100,0	86,5	56,7	A-4	ML	1,715			14
2	8	K0+004	SS	7,00-7,50	SL-5794	56,7		NL	N.P	88,6	73,0	49,5	34,9	A-2-4	SM	1,909			32
2	9	K0+004	SS	8,50-9,00	SL-5797	28,6	NL	N.P	100,0	95,3	81,7	16,3	A-2-4	SM				38	
3	1	K0+011	SS	0,50-1,00	SL-5798	26,0	6,0 mts.	31,6	25,5	100,0	99,9	97,4	77,7	A-4	ML	1,604	0,50		4
3	2	K0+011	SS	1,00-1,50	SL-5921	35,2		59,8	34,7	100,0	100,0	95,3	85,7	A-7-5	MH				4
3	3	K0+011	SS	2,00-2,50	SL-5938	63,2		30,9	24,4	100,0	96,7	83,5	68,6	A-4	ML		1,00		6
3	4	K0+011	SS	3,00-3,50	SL-5950	40,3		29,6	23,0	100,0	98,1	89,5	72,0	A-4	ML	1,728			10
3	5	K0+011	SS	4,00-4,50	SL-5959	39,5		32,3	24,0	100,0	98,6	88,9	78,4	A-4	ML		1,50		10
3	6	K0+011	SS	5,00-5,50	SL-5960	44,3		35,2	24,9	100,0	97,4	86,8	78,0	A-4	ML				5
3	7	K0+011	SS	6,00-6,50	SL-5961	47,7		37,1	25,8	100,0	97,9	89,0	79,9	A-6	ML	1,624			5
3	8	K0+011	SS	7,00-7,50	SL-5962	35,4		NL	N.P	100,0	98,1	87,2	27,8	A-2-4	SM				10
3	9	K0+011	SS	8,50-9,00	SL-5963	19,8	NL	N.P	95,6	91,4	65,1	16,6	A-2-4	SM				32	
4	1	K0+013	SS	0,50-1,00	SL-5964	29,8	5,2 mts.	32,5	24,0	100,0	100,0	99,1	75,5	A-4	ML	1,716			6
4	2	K0+013	SS	1,00-1,50	SL-5965	31,7		34,1	25,0	100,0	98,8	97,5	84,4	A-4	ML	1,706	1,25		8
4	3	K0+013	SS	2,00-2,50	SL-5966	46,0		54,4	30,9	100,0	98,0	95,4	92,1	A-7-5	MH	1,671			5
4	4	K0+013	SS	3,50-4,00	SL-5967	23,9		32,6	22,4	100,0	98,5	93,5	78,8	A-4	CL	1,752	2,50		17
4	5	K0+013	SS	5,00-5,50	SL-5968	19,8		NL	N.P	100,0	97,4	33,1	14,0	A-2-4	SM				31
4	6	K0+013	SS	6,50-7,00	SL-5969	21,9		NL	N.P	100,0	85,2	35,2	15,3	A-2-4	SM				40

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio para el Diseño de Obras Complementarias en la Vía La Rosa - Quebradon en el Municipio de Puerto Asís

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Febrero 28 de 2017

Sondeo No.	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Límites		Granulometria % pasa				Clasificación		Densidad $\delta_{gv} \uparrow$ gm ³ /cm ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Abscisa	Tipo	Profundidad (metros)				L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC		Penet. kg/cm ²	qu kg/cm ²	
5	1	K8+020	SS	0,50-1,00	SL-5970	34,4	Flujo de agua a 2,5 mts.	46,8	30,3	100,0	100,0	99,9	92,8	A-7-5	ML	1,665			2
5	2	K8+020	SS	1,00-1,50	SL-5971	36,8		39,8	26,8	99,9	99,6	99,3	90,5	A-6	ML	1,693	0,50		4
5	3	K8+020	SS	2,00-2,30	SL-5972	32,5		28,6	21,7	100,0	99,9	99,8	89,6	A-4	ML-CL	1,763			20
5	4	K8+020	SS	3,00-3,50	SL-5973	11,1		N.L	N.P	89,3	85,4	37,0	10,8	A-1-b	SP-SM				20
5	5	K8+020	SS	4,00-4,50	SL-5974	15,6		N.L	N.P	97,7	95,1	48,3	16,2	A-2-4	SM	1,886			24
5	6	K8+020	SS	5,50-6,00	SL-5975	15,9		N.L	N.P	95,2	91,1	42,1	12,4	A-2-4	SM				38
6	1	K8+022	SS	0,50-1,00	SL-5976	46,5	Flujo de agua a 3,3 mts.	47,8	30,4	99,2	99,0	98,2	90,4	A-7-5	ML	1,658			2
6	2	K8+022	SS	1,00-1,50	SL-5977	52,1		66,6	37,0	100,0	99,8	98,0	93,0	A-7-5	MH	1,697	0,75		6
6	3	K8+022	SS	2,00-2,50	SL-5978	60,4		61,7	30,4	98,6	97,0	93,9	88,9	A-7-5	CH	1,650			4
6	4	K8+022	SS	3,00-3,50	SL-5979	22,2		N.L	N.P	98,1	90,7	38,8	9,7	A-1-b	SP-SM	1,931			20
6	5	K8+022	SS	4,00-4,50	SL-5980	15,2		N.L	N.P	100,0	98,0	30,1	10,5	A-1-b	SP-SM				21
6	6	K8+022	SS	5,00-5,50	SL-5981	13,8		N.L	N.P	99,4	97,1	45,8	11,9	A-1-b	SP-SM				40
6	7	K8+022	SS	6,00-6,50	SL-5982	15,0		N.L	N.P	92,5	73,2	39,8	10,2	A-1-b	SP-SM				34
7	1	K2+808	SS	0,50-1,00	SL-5983	57,3	Flujo de agua a 2,5 mts.	78,3	37,9	100,0	99,3	94,7	85,6	A-7-5	MH	1,598	<0,25		1
7	2	K2+808	SS	1,00-1,50	SL-5984	49,5		61,3	38,7	96,9	91,4	77,7	66,1	A-7-5	MH	1,594	<0,25		1
7	3	K2+808	SS	2,00-2,50	SL-5985	85,7		72,1	37,3	95,1	93,9	89,6	78,8	A-7-5	MH		<0,25		1
7	4	K2+808	SS	3,00-3,50	SL-5986	44,9		49,8	28,5	99,8	99,3	92,4	73,8	A-7-6	ML	1,696			3
7	5	K2+808	SS	4,00-4,50	SL-5987	43,3		48,2	30,3	100,0	99,8	92,7	75,4	A-7-5	ML				9
7	6	K2+808	SS	5,00-5,50	SL-5988	44,7		47,7	29,3	81,1	77,4	68,7	61,5	A-7-6	ML	1,683	0,50		4
7	7	K2+808	SS	6,00-6,50	SL-5989	45,2		49,0	32,8	89,0	81,2	69,9	61,4	A-7-5	ML				2
7	8	K2+808	SS	7,00-7,50	SL-5990	31,7		65,0	37,7	93,1	82,0	56,6	49,2	A-7-5	SM				4
7	9	K2+808	SS	8,00-8,50	SL-5991	30,9		57,2	28,7	94,2	78,5	53,2	42,1	A-7-6	SC				15
8	1	K2+810	SS	0,50-1,00	SL-5992	48,5	Flujo de agua a 2,4 mts.	73,9	38,6	99,2	97,9	91,1	82,8	A-7-5	MH	1,653	0,25		2
8	2	K2+810	SS	1,00-1,50	SL-5993	64,8		74,8	40,4	100,0	99,6	95,3	87,2	A-7-5	MH				4
8	3	K2+810	SS	2,00-2,50	SL-5994	96,6		69,9	48,6	98,2	96,2	90,5	83,2	A-7-5	MH	1,703			4
8	4	K2+810	SS	3,00-3,50	SL-5995	93,4		91,2	56,7	98,9	94,4	86,7	80,6	A-7-5	MH		0,50		4
8	5	K2+810	SS	4,00-4,50	SL-5996	95,0		79,8	46,6	99,6	98,7	94,2	84,2	A-7-5	MH				2
8	6	K2+810	SS	5,00-5,50	SL-5997	74,3		66,3	36,3	96,9	94,1	83,3	73,6	A-7-5	MH	1,680			2
8	7	K2+810	SS	6,00-6,50	SL-5998	52,1		48,3	32,6	78,0	72,2	62,0	51,2	A-7-5	ML				2
8	8	K2+810	SS	7,00-7,50	SL-5999	42,6		42,4	29,9	78,3	73,3	61,3	48,3	A-7-6	SM				30
8	9	K2+810	SS	8,00-8,50	SL-6000	39,5		41,1	28,3	78,6	72,3	58,8	46,6	A-7-6	SM				25

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

CUADRO DE RESUMEN ESTUDIO DE SUELOS ESTRUCTURAS

Proyecto: Estudio para el Diseño de Obras Complementarias en la Vía La Rosa - Quebradon en el Municipio de Puerto Asís

Descripción: Resultados de laboratorio

Fecha: Febrero 28 de 2017

Sondeo No.	Muestra				Codigo de muestra	Hum. W%	Nivel freatico	Limites					Granulometria % pasa		Clasificación		Densidad $\delta_{gv} \uparrow$ g/m ³	C. Inconfinada		PENETRACION ESTANDAR golpes/ pie
	No.	Abscisa	Tipo	Profundidad (metros)				L.L. %	L.P. %	#4	#10	#40	#200	AASHTO	USC	Penet. kg/cm ²		qu kg/cm ²		
9	1	K3+940	SS	0,50-1,00	SL-6001	41,8	Flujo de agua a 2,0 mts.	53,5	32,7	92,7	89,9	74,4	57,0	A-7-5	MH	1,738	0,75	0,38	5	
9	2	K3+940	SS	1,00-1,50	SL-6002	72,8		54,6	33,6	100,0	99,4	96,3	91,1	A-7-5	MH	1,709	0,50		3	
9	3	K3+940	SS	2,00-2,50	SL-6003	87,9		61,2	34,4	100,0	99,3	91,8	85,1	A-7-5	MH		<0,25		1	
9	4	K3+940	SS	3,00-3,50	SL-6004	90,2		72,4	39,5	100,0	97,1	89,7	82,5	A-7-5	MH	1,676			2	
9	5	K3+940	SS	4,00-4,50	SL-6005	93,2		78,5	48,6	100,0	98,3	93,3	88,2	A-7-5	MH				5	
9	6	K3+940	SS	5,50-6,00	SL-6006	87,2		74,4	39,3	100,0	96,9	88,1	79,2	A-7-5	MH		<0,25		1	
10	1	K3+943	SS	0,50-1,00	SL-6007	57,3	Flujo de agua a 2,2 mts.	58,2	37,8	90,6	86,1	74,6	59,7	A-7-5	MH	1,634	<0,25		1	
10	2	K3+943	SS	1,00-1,50	SL-6008	85,8		98,6	67,6	96,1	82,8	65,0	52,4	A-7-5	MH		<0,25		1	
10	3	K3+943	SS	2,00-2,50	SL-6009	90,1		80,2	48,6	94,3	84,1	64,7	49,3	A-7-5	SM				1	
10	4	K3+943	SS	3,00-3,50	SL-6010	98,5		75,6	50,3	82,6	77,6	59,0	46,9	A-7-5	SM				2	
10	5	K3+943	SS	4,00-4,50	SL-6011	35,1		51,0	27,1	100,0	99,7	94,2	78,1	A-7-6	CH	1,736			5	
10	6	K3+943	SS	5,50-6,00	SL-6012	41,3		57,2	30,5	96,1	94,5	87,2	71,9	A-7-5	MH	1,766			14	
11	1	K9+680	SS	0,50-1,00	SL-6013	51,5	No se encontro	90,9	47,6	100,0	99,7	96,2	89,8	A-7-5	MH	1,717	1,50		11	
11	2	K9+680	SS	1,00-1,50	SL-6014	51,9		85,8	56,9	100,0	99,7	98,3	93,0	A-7-5	MH				22	
11	3	K9+680	SS	2,00-2,50	SL-6015	52,6		86,2	51,1	100,0	99,8	97,9	91,8	A-7-5	MH	1,728	2,00		16	
11	4	K9+680	SS	3,00-3,50	SL-6016	50,4		75,1	44,1	100,0	99,5	97,3	89,3	A-7-5	MH	1,703			19	
11	5	K9+680	SS	4,00-4,50	SL-6017	48,8		78,1	50,1	100,0	99,4	95,2	88,0	A-7-5	MH				22	
11	6	K9+680	SS	5,50-6,00	SL-6018	55,6		49,5	32,7	100,0	100,0	99,9	96,3	A-7-5	ML	1,690			13	
12	1	K9+683	SS	0,50-1,00	SL-6019	54,0	No se encontro	90,2	50,4	100,0	99,8	97,8	92,9	A-7-5	MH		1,25		7	
12	2	K9+683	SS	1,00-1,50	SL-6020	55,9		79,8	52,0	100,0	99,3	98,0	93,4	A-7-5	MH	1,640			10	
12	3	K9+683	SS	2,00-2,50	SL-6021	47,6		92,1	52,1	100,0	96,1	93,6	88,2	A-7-5	MH	1,692	2,50		20	
12	4	K9+683	SS	3,00-3,50	SL-6022	46,5		93,8	48,0	100,0	99,8	98,4	88,9	A-7-5	MH	1,717			22	
12	5	K9+683	SS	4,00-4,50	SL-6023	53,3		72,2	42,4	100,0	99,2	97,4	90,7	A-7-5	MH				27	
12	6	K9+683	SS	6,00-6,50	SL-6024	55,8		72,9	41,7	100,0	100,0	99,9	99,4	A-7-5	MH	1,706			21	
13	1	K11+045	SS	0,50-1,00	SL-6025	52,0	Flujo de agua a 2,4 mts.	77,9	49,5	96,4	95,4	88,3	81,8	A-7-5	MH	1,666	0,50		4	
13	2	K11+045	SS	1,00-1,50	SL-6026	50,8		52,9	32,5	99,2	97,0	90,9	85,0	A-7-5	MH	1,649			4	
13	3	K11+045	SS	2,00-2,50	SL-6027	35,4		69,0	39,5	99,2	97,9	93,1	89,7	A-7-5	MH	1,744	1,25	0,67	8	
13	4	K11+045	SS	3,00-3,50	SL-6028	47,9		71,1	37,6	100,0	100,0	99,1	97,2	A-7-5	MH	1,723			11	
13	5	K11+045	SS	4,00-4,50	SL-6029	43,0		46,4	23,0	100,0	100,0	99,6	83,0	A-7-6	CL	1,719			15	
13	6	K11+045	SS	6,00-6,50	SL-6030	37,7		64,0	33,7	100,0	99,8	99,1	92,9	A-7-5	MH	1,746	2,50		17	
14	1	K11+042	SS	0,50-1,00	SL-6031	38,3	Flujo de agua a 4,0 mts.	60,9	35,1	100,0	100,0	99,5	98,2	A-7-5	MH				13	
14	2	K11+042	SS	1,00-1,50	SL-6032	41,6		61,0	35,4	100,0	100,0	99,9	98,4	A-7-5	MH	1,755	1,50		11	
14	3	K11+042	SS	2,00-2,50	SL-6033	34,0		65,5	34,3	100,0	99,9	99,8	96,1	A-7-5	MH				9	
14	4	K11+042	SS	3,00-3,50	SL-6034	28,0		61,4	36,2	85,3	83,7	78,5	75,0	A-7-5	MH	1,802			20	
14	5	K11+042	SS	4,00-4,50	SL-6035	35,7		70,1	34,2	100,0	100,0	99,4	84,5	A-7-5	MH	1,720	1,25		9	
14	6	K11+042	SS	5,50-6,00	SL-6036	34,5		68,4	33,8	100,0	100,0	97,6	84,6	A-7-5	MH				15	

Observaciones:

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 46 resultados de refracción sísmica Amerisur línea 1 traza 6

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	4.29	4.29	132.99	248.8	25.61	89.65	55.5	66.6
2	6.42	2.13	179.81	336.39	50.82	177.87	110.11	132.13
3	10.85	4.43	231.53	433.16	89.21	312.24	193.29	231.95

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 47 resultados de refracción sísmica Amerisur línea 3 traza 6

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	3.29	3.29	136.67	255.69	75.36	43.28	26.79	763.53
2	7.35	4.05	239.07	447.26	233.42	178.41	110.44	2454.74

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

Tabla 48 resultados de refracción sísmica Amerisur línea 2 traza 7

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	V _s [m/s]	V _p [m/s]	G ₀ [MPa]	Ed [MPa]	M ₀ [MPa]	E _y [MPa]
1	2.21	2.21	141.89	265.45	29.55	103.44	64.03	76.84
2	4.65	2.44	266.08	497.78	111.28	389.49	241.11	289.33
3	7.32	2.67	220.01	257.81	31.14	108.98	67.46	80.96

Fuente: INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA.

G₀: Módulo de deformación al corte;

Ed: Módulo edométrico;

M₀: Módulo de compresibilidad volumétrica;

E_y: Módulo de Young;

Tabla 49 SPT vs refracción sísmica Amerisur

Amerisur								
línea 1 Traza 6			línea 3 Traza 6			línea 2 Traza 7		
Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N	Profundidad(m)	V _s	N
4,29	132,9 9	6	3,29	136,67	5	2,21	141,89	1 1
6,42	179,8 1	7	7,35	239,07	14	4,65	266,08	2 0
10,85	231,5 3	2 1	9.10	129.52	N. A	7,32	220,01	1 3
			10.20	234.89	N. A			

Fuente: Autor 2017.

4.1.2 Interpretación de datos

A continuación, copilamos los resultados de todos los proyectos estudiados en una relación de la velocidad de Onda S y el número de golpes N a una misma profundidad.

Tabla 50 Compilación de Resultados

	V _s	N
PUENTE CANDIDO	261,04	19
	375,31	42

AMERISUR	132,99	6
	179,81	7
	231,53	21
	136,67	5
	239,07	14
	141,89	11
	266,08	20
	220,01	13
PROSPERIDAD	159,83	7
	224,09	11
	341,62	33
PENCIL	128,78	8
	315,93	28
HACIENDA	310,31	28
PALMITO	267,78	12
POTRERILLOS	310,65	21
QUINCHINA	355,14	34
	346,37	38

	298,56	24
	150,32	6
	253,33	13
	397,18	39
MOQUETA 4	153,81	8
	120,9	4
	106,47	7
	167,73	9
	292,96	17
	355,77	47
	190,76	13
	218,6	17
	321,83	22
	367,85	47
VOLTERRA	131,74	3
	260,82	12
	196,49	13
	225,85	16
	300,11	25
	429,54	60
	199,24	9
	271,15	21
	311,7	16
VONU	144,32	7
	293,15	15
	134,46	5
	302,92	16

ZODME SIRIRI	158,98	4
	184,33	8

Para el análisis y la obtención de la correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (V_s) y el resultado del ensayo de resistencia a la Penetración Estándar NSPT, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia, se analizaron los resultados de los datos obtenidos por la empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA en los proyectos mencionados a continuación.

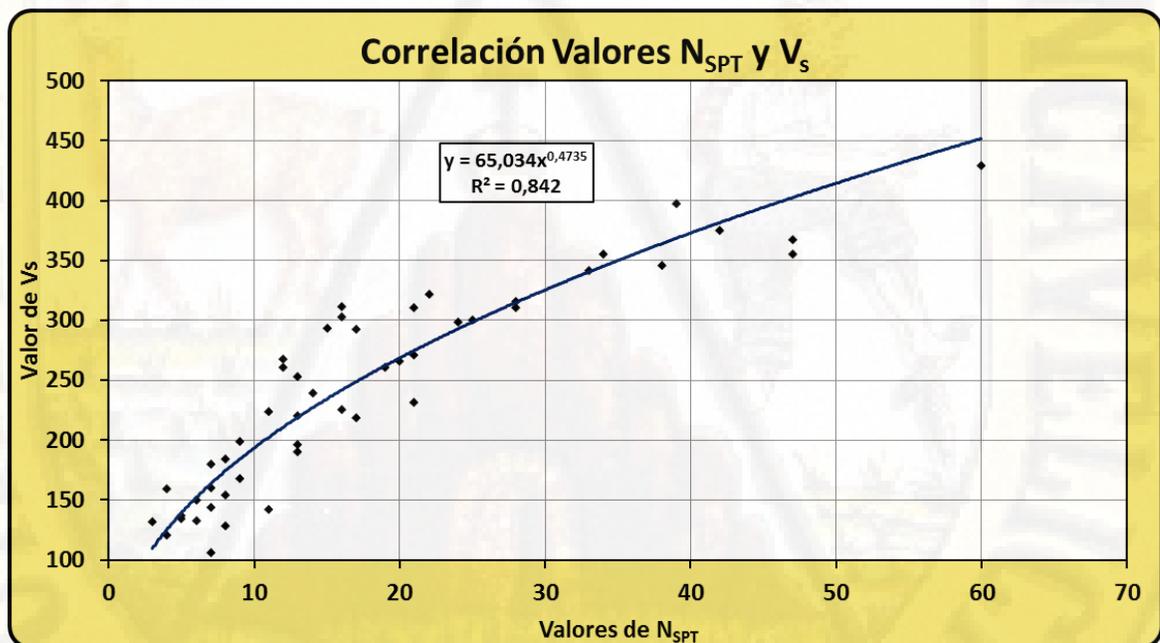


Figura 18. Correlación de datos

Se realizó grafica de dispersión con los valores del ensayo N_{SPT} obtenido en campo versus los valores de velocidad calculados a partir de la adquisición de datos con líneas de refracción sísmica.

De acuerdo al análisis de la correlación podemos establecer una ecuación potencial típica de este comportamiento, la cual denotaremos $V_s=65,034N^{0,4735}$.

Se procede a realizar un análisis comparativo entre el modelo Ingesuelos (2017) y los modelos; Imai y Yoshimura (1970), Ohba y Toriumi (1970) y Okamoto et al. (1989), los cuales son ampliamente reconocidos en el medio y de extensa aplicación.

Tabla 51 Análisis comparativo

Autor	(Y1) Ingesuelos	(Y2) Imai	(Y3) Ohba	(Y4) Okamoto
Ecuación	$V_s=65,034N^{0,4735}$	$V_s=76N^{0,33}$	$V_s=84N^{0,31}$	$V_s=125N^{0,3}$
Variable A	65.034	76	84	125
Variable B	0.4735	0.33	0,31	0,3

Se considera como variable independiente (aquella que se manipulara) a la velocidad de onda, y la variable dependiente (aquella que se quiere predecir) el número de golpes. El siguiente es el Análisis de Varianza desarrollado (Tabla 56.).

El método ANOVA se aplica al modelo propuesto por Ingesuelos y a los modelos de referencia, la Tabla 4. presenta los resultados obtenidos para cada uno de los modelos.

Tabla 52 Compilación de Resultados

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	f Calculada	Valor P
Modelo- Ingesuelos	7563,81546	1	7563,81546	341,321353	3,45691E-23*
Error- Ingesuelos	1041,538489	47	22,1603934		
Modelo-Imai y Yoshimura	129433,3643	1	129433,364	70,4605852	6,61693E-11*
Error-Imai y Yoshimura	86337,17857	47	1836,96125		
Modelo-Ohba y Toriumi	124247,685	1	124247,685	72,1421609	4,71714E-11*
Error-Ohba y Toriumi	80946,30276	47	1722,26176		
Modelo-Okamoto et al.	9920,498576	1	9920,49858	244,773637	2,92249E-20*
Error-Okamoto et al.	1904,876024	47	40,5292771		

Análisis de varianza para el modelo propuesto por Ingesuelos y los modelos de referencia, *valor p significativo ($p < 0.01$).

En el análisis de varianza se compara la variación debido a la regresión (modelo) con respecto a la variación del error, definido como la diferencia entre la respuesta del modelo y la respuesta experimental. Según la Tabla 4, todos los modelos son significativos en la población ($p < 0.01$ en todos los casos), lo cual quiere decir que todos explican en la población de manera aceptable la relación entre el número de golpes (N_{spt}) y la Velocidad de onda.

Adicionalmente, se puede notar que la mejor proporción entre la variación explicada por el modelo y la variación producto del error es dada por el modelo

de Ingesuelos $f=341,32$, un desempeño similar se puede apreciar en el modelo proporcionado por Okamoto et al. $f=244,77$.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los métodos geofísicos se vienen empleando cada vez con más fuerza en la geotecnia debido a sus notables ventajas logísticas para la obtención de datos en campo respecto a otros métodos de exploración del subsuelo con muestreo destructivo como las perforaciones y apiques.

Luego de analizar los datos de campo tanto del N_{SPT} como las ondas $S V_s$, se puede comprobar la existencia de una correlación fuerte entre los mismos y la posibilidad de crear una ecuación que permita obtener un valor aproximado de cualquiera de los dos conociendo a menos uno de ellos.

Para valores de N_{SPT} mayores a 50 (rechazo) se hace complicado obtener valores representativos ya que en las pruebas de penetración estándar cuando el muestreador es empleado en suelos de alta resistencia puede presentar daños y deformación, ocasionado pérdida de vida útil de la herramienta y errores en el cálculo por cambio en la geometría de la boquilla debido a las deformidades causadas. Por este motivo se debe tener cuidado al emplear datos de N_{SPT} con valores mayores 50 al realizar correlaciones.

Una de las limitaciones encontradas al inicio de la implementación del método geofísico en esta investigación fue la disponibilidad de un software adecuado que tuviera en cuenta el comportamiento del suelo con alto grado de resolución en estratos delgados con que presentan cambios de resistencia en forma heterogénea, contrario a las teorías geofísicas donde el incremento de densidad y resistencia es lineal.

Uno de los objetivos trazados en esta tesis fue comparar un modelo propio creado a partir de datos obtenidos del muestreo directo en campo y modelos tradicionales mundialmente reconocidos como; Imai y Yoshimura (1970), Ohba y Toriumi (1970) y Okamoto et al. (1989). De esta comparación se pudo evidenciar que un modelo matemático adoptado para la correlación entre las variables N_{SPT} y $S V_s$ es más preciso cuando este es construido a partir de datos obtenidos para la misma región, un ejemplo de esto es la comparación de los modelos estudiados para esta tesis, lo cual se ilustra continuación:

Velocidad V_s	N_{SPT} de campo	N_{SPT} Ec. Ingesuelos	N_{SPT} Ec. Imai	N_{SPT} Ec. Ohba y Toriumi	N_{SPT} Ec. Okamoto
261.04	19	19	42	39	12

Se observó que tanto el N_{SPT} de campo como el del modelo Ingesuelos son idénticos mientras que los otros modelos presentan menor aproximación.

Si bien es cierto que los modelos de comparación en esta tesis no presentan mayor aproximación en los resultados de N_{SPT} utilizando sus ecuaciones no indica que estén mal formulados sino que no son aplicables para las condiciones geotécnicas y geológicas de los suelos de los departamentos de Huila, Putumayo y Casanare.

Es posible obtener modelos con ecuaciones más precisas aumentando la cantidad de datos en las correlaciones y aplicando su uso a zonas con características geotécnicas y geológicas similares.

4.3 PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

Finalmente, se realizaron las respectivas pruebas estadísticas para comprobar la

hipótesis y determinar cuál modelo proporciona la menor proporción de error respecto a la variabilidad total del conjunto de datos. Se realizaron comparaciones para todos los modelos.

Seguidamente, se exploró el coeficiente de determinación R^2 (Tabla 5), el cual se definió como la proporción de la varianza total de la variable dependiente (N_{SPT}) explicada por el modelo, esta medida refleja la bondad de ajuste de un modelo a la variable que pretende explicar.

Tabla 53 Coeficiente de determinación para los modelos. SCE= Suma de Cuadrados del Error, SCR=Suma de cuadrados de la regresión (modelo)

Coef. Determinación	$1-(SCE/(SCR+SCE))$
Modelo Ingesuelos	0,878966223
Modelo Imai y Yoshimura	0,599865777
Modelo Ohba y Toriumi	0,605513282
Modelo Okamoto et al.	0,838916221

Se puede observar en concordancia con el análisis de varianza, que el modelo que mejor bondad de ajuste presenta es el propuesto por Ingesuelos, seguido por el modelo de Okamoto et al. (1989), y con un desempeño menor los propuestos por Ohba y Toriumi (1970) , Imai y Yoshimura (1970).

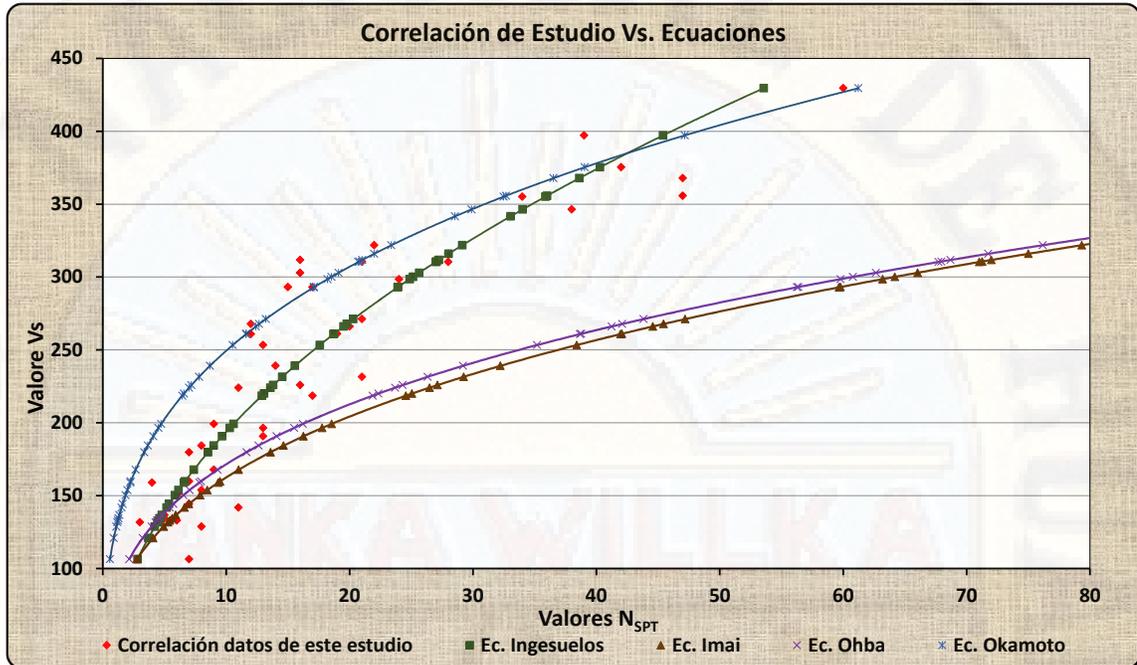


Figura 19. Comparación ecuaciones

En la gráfica 2 se puede observar la correlación que existe entre las ecuaciones tratadas en este estudio y la correlación original (datos adquiridos en campo por Ingesuelos de V_s y N_{SPT}). Se aprecia que la ecuación Ingesuelos se encuentra más cercana a los valores de N_{SPT} obtenidos en campo, por lo que es más representativo respecto a las otras ecuaciones.

Sin duda la refracción sísmica es una herramienta práctica para la caracterización geotécnica que permite obtener parámetros físicos y mecánicos de forma rápida, con fácil acceso a cualquier zona de trabajo y con un alto grado de precisión cuando se trabajan con correlaciones ajustadas a las áreas de trabajo de interés como lo fue hecho en este estudio.

CONCLUSIONES

- Analizando los resultados obtenidos del Ensayo de Penetración Estándar SPT y del Ensayo de Refracción Sísmica aplicando el Método MASW, logrados en diferentes estudios realizados por INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA, logramos obtener la correlación $V_s=65,034N^{0,4735}$ con un alto grado de precisión, obteniendo un R2 (Coeficiente de determinación) de 0,88 el cual comparado con las diferentes fórmulas a nivel mundial es mucho más adecuado, lo cual nos permite caracterizar los suelos del departamento del Huila, Putumayo y Casanare de manera más rápida y eficaz.
- Con el ensayo de refracción sísmica se hace una caracterización adecuada del estrato sin afectación de sobre tamaños a diferencia del ensayo de resistencia obtenidos por el SPT el cual, sí está sujeto a afectación por sobre tamaños (fragmentos mayores a 1 ½”), adicionalmente el ensayo de SPT es un ensayo puntual que solamente identifica las características físicas y mecánicas del suelo en un punto mientras que el ensayo de refracción sísmica se logra identificar geotécnicamente líneas de gran longitud.
- Específicamente para suelos aluviales el ensayo SPT presenta rechazo por lo cual no es un ensayo representativo, a diferencia de la refracción sísmica con la que se puede obtener parámetros como; velocidad de onda V_s , V_p , densidad, del estrato para dichos suelos, modulo elástico dinámico, capacidad admisible, cohesión, etc.
- Podemos encontrar como ventaja que en la refracción sísmica en todos los ensayos que se realiza permite obtener la velocidad de onda V_s a 30m de profundidad, puesto que su profundidad de análisis es igual o mayor a 30 m, a diferencia del SPT que en la mayoría de ocasiones no es posibles llegar a tales profundidades. Esta información a dicha profundidad es fundamental para la determinación del perfil geotécnico, el cual es empleado para el

cálculo de estructuras de acuerdo a la norma sismo resistente colombiana de 2010 (NSR-10).

- Los ensayos de refracción sísmica permiten determinar las condiciones naturales del suelo como; densidad, capacidad admisible, modulo elástico dinámico, cambio de estratos, entre otras porque no hay perturbación, a diferencia del SPT ya que este al generar golpes causando afectación a las condiciones naturales del suelo.
- Se encontró que el ensayo de refracción sísmica resulta más económico que el ensayo de penetración estándar, SPT, si se tiene en cuenta que en cada línea de refracción sísmica se puede aplicar energía en diferentes puntos que permiten la evaluación del comportamiento de la onda superficial y determinar las características geotécnicas del suelo en estos sitios, es decir, con una línea se puede identificar geotécnicamente diversos puntos distribuidos a lo largo de la línea de refracción, mientras que el SPT solo permite identificar un punto en particular
- En casos especiales como los suelos Aluviales es de gran ayuda la implementación del estudio de refracción sísmica puesto que no existe restricción para su implementación, lo que si ocurre con el ensayo de penetración estándar, SPT, puesto que por la misma granulometría del material el cual presenta gran presencia de canto rodado, impide el adecuado desarrollo y genera a poca profundidad rechazo impidiendo la caracterización apropiada del estrato de suelo
- El ensayo de refracción sísmica es un ensayo muy rápido que en condiciones normales se permite la tomar información en campo de mínimo 3 líneas en tan solo un día, que con la etapa de procesamiento puede tardar cerca de 5 días pudiéndose evaluar geotécnicamente un gran número de puntos a una profundidad de mínimo 30 mts si se quiere, mientras que el ensayo de penetración estándar, SPT, puede dura la perforación de tan solo un punto a

30 mts en promedio 5 días dando una gran ventaja al método de refracción sísmica.

- Aprovechando la literatura internacional y nacional en donde se encuentran múltiples correlaciones del ensayo de penetración estándar SPT, con las características geotécnicas de los suelos, es posible por medio de la correlación hallada en nuestro estudio ($V_s=65,034N^{0,4735}$) encontrar un valor de N a partir de un valor de onda V_s y así de manera indirecta hallar propiedades ingenieriles de los suelos como lo son la capacidad relativa, el índice de densidad, el ángulo de fricción del suelo, el módulo de elasticidad, el índice de consistencia entre otras.
- La refracción sísmica empleada en geotecnia resulta ser una herramienta practica debido a ventajas como; fácil movilización hasta los sitios de exploración por el bajo peso de la instrumentación, generalmente los equipos empleados para este fin están diseñados para estar expuestos a ambientes desfavorables como la humedad, los tiempos empleados para la instalación de instrumentación y adquisición de datos es relativamente corto respecto a otros métodos destructivos como la perforación.

RECOMENDACIONES

- Es importante realizar correlación de datos entre el NSPT y V_s para cada zona de trabajo a fin de obtener ecuaciones más precisas que permitan obtener reducir el margen de error en los resultados.
- Para la correlación de datos NSPT y V_s no es conveniente tener en cuenta valores de rechazo en campo, debido a que este se considera como tal cuando el número de golpes es mayor a 50, pero por aspectos de seguridad y cuidado con los equipos nunca se determina exactamente su valor real.
- La refracción sísmica debe ser complementada con inspecciones geológicas a fin de poder interpretar mejor los resultados obtenidos con información como; la geoforma del suelo, formaciones existentes, presencia de fallas, diaclasas, buzamiento etc.
- El alcance o profundidad de la exploración geofísica debe ser dado de acuerdo a los estratos de interés, ya que en estos equipos es posible obtener mejor resolución en estratos superiores u obtener información a mayor profundidad configurando el espaciamiento de los geofonos, modificando ratas de adquisición, tiempos de respuesta y otros parámetros ajustables por el operador.
- Durante las pruebas con los equipo de refracción sísmica es importante controlar e identificar todas las perturbaciones en el medio que puedan generar ruido ya que se puede generar distorsión en los datos adquiridos haciendo más complejo el procesamiento de datos.
- Si bien es cierto que los medios geofísicos presentan una ventaja logística para su uso, es conveniente que los operarios desarrollen técnicas la instalación de la instrumentación teniendo en cuenta todos los factores adversos que se pueden encontrar en campo como presencia de cultivos, alta vegetación, poca visibilidad para el alineamiento de líneas etc.

- Para estudios de refracción sísmica en sitios de río o quebrada es importante verificar la calidad de los datos obtenidos probando configuraciones en el tendido de cable para obtener buena resolución debajo de los estratos rocosos encontrados normalmente en superficie.
- Es conveniente realizar en procesamiento inicial de datos en campo o antes de retirarse del sitio de trabajo ya que existe la posibilidad de obtener registros con alto grado de contaminación de otras señales por factores no controlables, ocasionando reproceso e incremento en los tiempos.
- La ecuación Ingessuelos presenta sin lugar a duda una herramienta de cálculo aproximado, no obstante no se debe descartar realizar ajustes a la misma en la medida en que aumente los datos históricos, buscando mejorar su aproximación.
- A pesar de la fácil movilización de la instrumentación empelada para la refracción sísmica, se deben tener ciertos cuidados con la forma en que se transporta, debido a que elementos como los geófonos son sensibles y pueden sufrir desajustes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

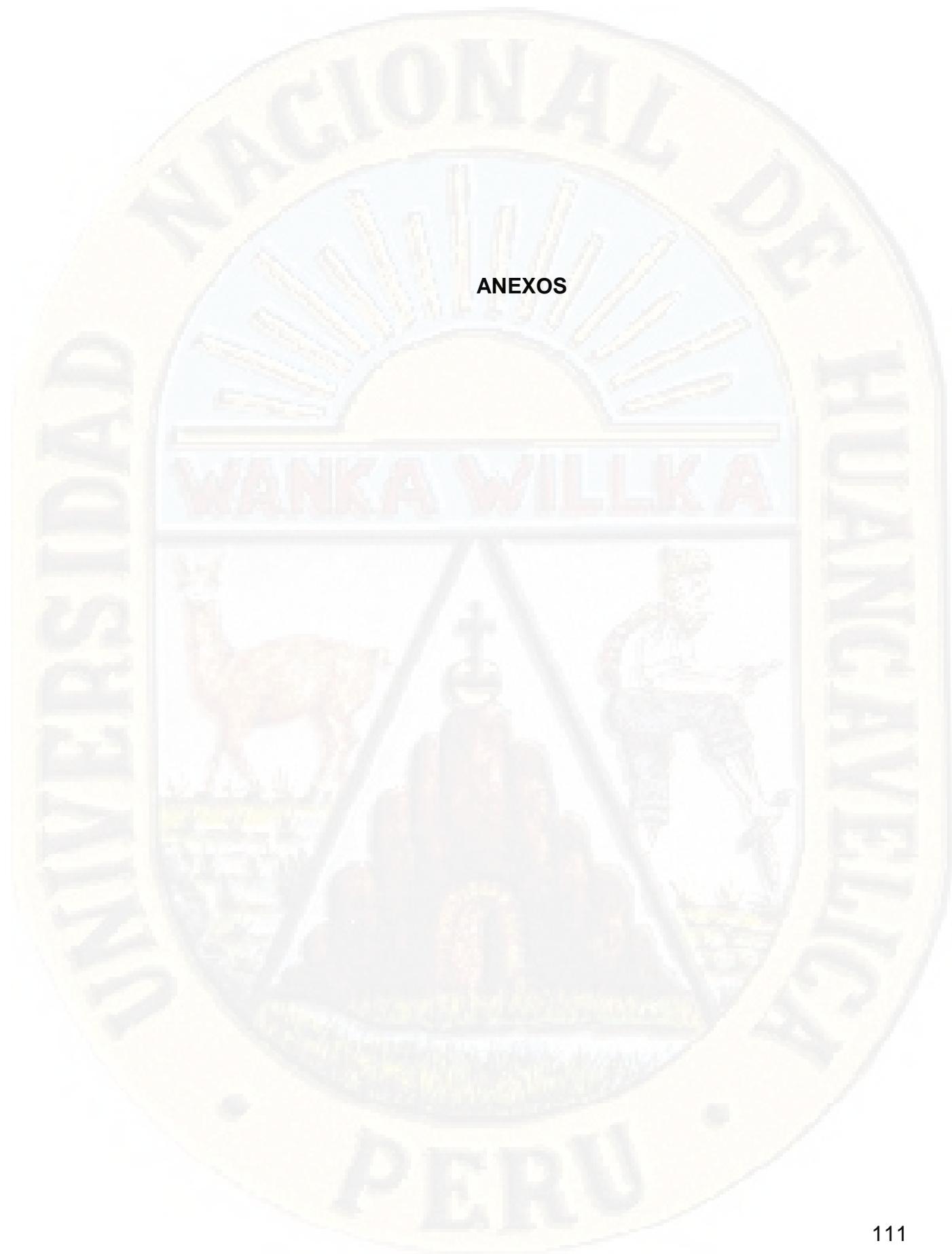
- Aceves, A. A. (2003). *GEOFÍSICA APLICADA EN LOS PROYECTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA CIVIL*. Sanfandila: Secretaria de comunicaciones y transporte SCT.
- ACEVES, A. A., ANGUAS, P. G., & SALAZAR, A. P. (2003). *Evaluación Indirecta de los módulos elásticos de rigidez in situ y la relación entre V_p/V_s y el ángulo de fricción interna*. Sanfandila: Secretaria de comunicaciones y transportes .
- AGUAY, H. N., & DRANICHNIKOV, T. (2012). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional* . Quito: Universitaria ABYA YALA .
- AGUAY, H. X. (2010). *Análisis comparativo del cálculo de capacidad portante en base a geofísica y método convencional Caso Práctico: Puente Sobre el Río Maicito*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- ALFARO CASTILLO, A. J. (2007). Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá - Colombia. *Revista Épsilon* N° 8, 13 - 23.
- ÁLVAREZ, J. E. (2014). *Estudio de resultados ensayo de penetración estándar (SPT) para el factor de corrección (CN) y el ángulo de fricción (ϕ) del suelo usando diferentes tipos de correlaciones*. Bogotá: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- APONTE G., J. (2011). Evaluación de métodos no convencionales de caracterización geotécnica. Bogotá.
- ARGUDO, D. J. (2011). *Capítulo 2 SISMOLOGÍA*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- ARLANDI RODRIGUEZ, M. (2013). *Geofísica Aplicada a la Obra Civil 1*. HUILA: Geoconsult Ingenieros Consultores S.A.

- ASTM International. (2011). *ASTM D1586-11 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. ASTM International.
- AVALOS, J. M., CARRILLOS, J. A., & VEGA, N. D. (2008). *Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de ondas P*. Ciudad Universitaria : Universidad del salvador.
- Castillo, S. L. (2007). *Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie*. México: ai México.
- cavada, j. m. (2000). *GUIA DE PROSPECCION SISMICA POR REFRACCION*. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.
- CISMID-FIC-UNI. (1992). *Seminario taller de Mecanica de suelos y exploracion geotecnica*, (pág. 9). Perú.
- CLIMENT, C. I. (2001). *Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Consórcio Guaraní: Tahal Consulting Engineers Ltd. ;Seinco S.R.L.; Hidroestructuras S.A.; Hidrocontrol S.A.; Hidroambiente S.A. (2009). *Técnicas Geofísicas Terrestres Aplicables al Estudio del SAG y Guía Básica de Datos Regionales*. TDA Comunicação.
- Cuarto Simposio en Mecánica de Materiales y Estructuras Continuas . (2014). *MECANICA DE MATERIALES 2. Cuarto Simposio en Mecánica de Materiales y Estructuras Continuas - SMEC*. Cartagena: Facultad de Ingeniería – Universidad Tecnológica de Bolívar.
- CZELADA, J. A. (2009). *Medición del módulo de Young y módulo de corte mediante técnicas geofísicas*. Buenos Aires : Facultad de Ingeniería - UBA.
- Díaz, L. R. (2012). *Taller 4 Electromagnetismo y Ley de Faraday*. Obtenido de FUENDAMENTOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTROMAGNETISMO: <https://fem2012.wikispaces.com/file/view/taller+4+++G2N08LUIS.pptx>

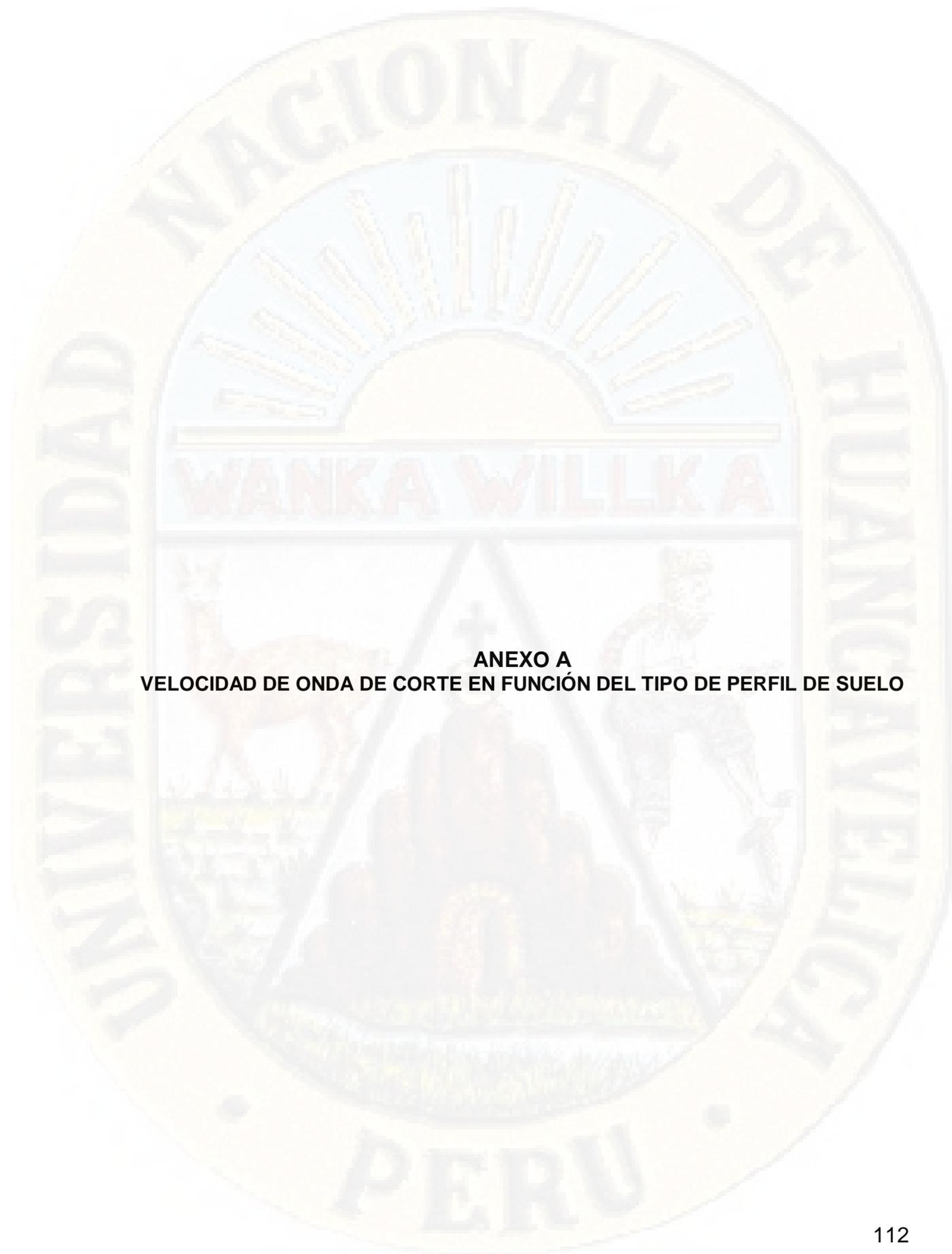
- Dr. Ing. Jorge E., A. H. (2012). *Dinámica de Suelos*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Dr. Tupak, O. (2009). *Investigaciones geotécnicas realizadas en el área de la Ciudad de Managua (Nicaragua)*. Huelva: Universidad Internacional de Andalucía - UNÍA .
- Florez, M. A. (2005). *Procesado de sísmica de reflexión superficial en la cuenca de Ainsa, Huesca (España)*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- GEOINSTRUMENTS S.A.C. (2010). *Exploración Geofísica: Método de refracción sísmica (RS) y MASW*. Lima: Geoinstruments S.A.C.
- GEORYS INGENIEROS S.A.C. (2016). *Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)*. GEORYS INGENIEROS S.A.C.
- Geostru Software. (2015). *Easy MASW*. Obtenido de http://www.geostru.com/Help_Online_2015/EasyMASW/ES/index.html?introduccion.htm
- José Guillermo, B. S., Rafael Antonio, G. C., & Hugo Alejandro, O. L. (2009). *Métodos de ensayo para la determinación de las principales propiedades dinámicas de los suelos de el Salvador*. Ciudad Universitaria: Universidad del el Salvador.
- Linares, R., Brusi, D., Pallí, L., Roqué, C., Almanza, X., Cebrià, A., . . . Clapés, S. (2002). Métodos de Reconocimiento del Subsuelo. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 61 - 72.
- López, B. A. (2007). *Interpretación de sondeos eléctricos verticales, sísmica de refracción y registros Gamma en Pto. Cumarebo, EDO. FALCÓN*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar .
- MARTO, A., SOON, T. C., & KASIM, F. (2013). A Correlation of Shear Wave Velocity. *EDJE - The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 463 - 471.

- MEJÍA NUÑEZ, R. E., & BERNAL CARRASCCO, E. (2016). *Ensayo de penetración cuasi - estática profunda de suelos con cono y cono de fricción* . Universidad Peruana Los Andes.
- MONTENEGRO, G. M. (2005). *Introducción y aplicación del Método de Sísmica de Microtremores en Áreas urbanas*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- OEA, O. d. (2009). *Técnicas Geofísicas Terrestres Aplicáveis ao Estudo do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e Guia Básico de Dados Regionais. SAG - Sistema Aquífero Guarani*.
- Patzán, J. E. (2009). *GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES, LOSAS DE CIMENTACIÓN, PILOTES Y PILAS PERFORADAS*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- PEÑA, A. S. (2005). *Recomendación para Obras Marítimas y Portuarias ROM 0.5- 0.5 Capítulo II Investigación Geotécnica*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Pérez, D. G., & Bajaña, E. V. (2013). *Estudios y recomendaciones geotécnicas para la construcción y movimiento de tierra de los estribos del puente Chantaco en la vía Cuenca – Girón – Pasaje, tramo Lentag – San Francisco*”. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Pérez-Santisteban, I., Muñoz, M. A., Carbó Gorosabel, A., & Ruiz Fonticiella, J. (2012). Correlaciones empíricas entre la velocidad de propagación de las ondas S (V_s) y otros parámetros geotécnicos para los suelos de Madrid. *7° Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica* , (págs. 641 - 648). Donostia.
- PUMA, D. B. (2013). *Caracterización de sitio para el área urbana de chosica utilizando métodos sísmicos* . Perú: Universidad Nacional de san agustin de arequipa .

- RAMOS, C. I. (2012). *CORRELACIÓN ENTRE EL PERFIL DE VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS DE CORTE Y EL ESPECTRO DE RESPUESTA EN SUELOS* . Santiago de Chile : UNIVERSIDAD DE CHILE.
- RODRÍGUEZ, J. A. (2013). *Course o seismic engineering and soil dynamics*.
Obtenido de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/eventos/2013/cf/siisg/memorias/documentos/1_3Caracterizacion_dinamica.pdf
- ROMERO, I. C. (2013). *Prueba de penetración estandar* . México: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA U Z .
- T.P, T., & K.S, R. (2011). Development of statistical correlations between shear wave velocity and penetration resistance using MASW technique. *2001 Pan-Am CGS Geotechnical Conference*. Delhi: American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (PCSMGE).
- VILLAMIZAR, J. D. (2011). *Métodos geofísicos aplicados a la caracterización de suelos*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- YOUNG, H. D., & FREEDMAN, r. A. (2009). *Física Universitaria Volúmen 1*. México: Pearson Educación.



ANEXOS



ANEXO A
VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE EN FUNCIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO

VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE EN FUNCIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO

Tabla 54. Velocidad de onda de corte para diferentes perfiles de suelo

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	$v_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > v_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante.	$760 \text{ m/s} > v_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50$, ó $su \geq 100 \text{ kPa}$ ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante,	$360 \text{ m/s} > v_s \geq 180 \text{ m/s}$

	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$, ó $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > su \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante,	$180 \text{ m/s} > v_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > su$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A. 2.10. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F₁- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F₂ -Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F₃- Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75)</p> <p>F₄-Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36m)</p>	

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.

Reglamento colombiano de Construcción Sismoresistente, tabla A.2.4-1. NSR-10.

Bogotá D.C, 2010. 444 p.

MATRIZ DE CORRELACION EMPIRICA ENTRE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS S (VS) Y EL RESULTADO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, APLICADO A LOS SUELOS DEPARTAMENTO DEL HUILA, PUTUMAYO Y CASANARE- COLOMBIA.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>General: ¿Cómo obtener una correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (VS) y el resultado del ensayo de resistencia a la penetración estándar, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?</p> <p>Problemas específicos a) ¿Cuáles son los resultados obtenidos del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar SPT, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL: Obtener una correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda S (VS) y el resultado del ensayo de resistencia a la Penetración Estándar NSPT, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS a) Analizar y comparar los resultados obtenidos del Ensayo de Penetración Estándar y del Ensayo de Refracción Sísmica, logrados en diferentes estudios realizados en los departamentos del Huila y Putumayo – Colombia.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Hallar un modelo matemático que permita correlacionar las ondas S (VS) bajo la propiedad de la velocidad de onda “Rayleigh” de acuerdo al método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) y el resultado del Ensayo de Penetración Estándar –SPT, con un coeficiente de determinación (R²) superior al 80%.</p>	<p>VARIABLE No. 1 • La velocidad de las ondas S (VS) que se obtiene producto del Ensayo de Refracción Sísmica.</p> <p>VARIABLE No. 2 • El Número de golpes (N) necesarios para Hincar la cuchara a 30 cm de profundidad.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: El tipo de investigación es principalmente de carácter aplicado, donde se busca la utilidad entre el grado de relación y semejanza que pueda existir entre las dos variables.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: el nivel de la presente investigación es correlacional, ya que está orientado a la medición del grado de relación que existen entre las ondas S y el ensayo SPT, aplicado</p>

<p>b) ¿Cómo se evaluaría desde el punto de vista técnico y económico las ventajas y desventajas del uso del Ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar <i>SPT</i>, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?</p>		<p>Hipótesis Específica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las características mecánicas de los suelos de los Departamentos del Huila, Putumayo y Casanare. 	<p>a los suelos de los departamentos del Huila y Putumayo, para encontrar una correlación que se ajuste a las características de la zona.</p>
<p>c) ¿Cómo se obtendrían las propiedades mecánicas de los suelos de manera indirecta mediante la correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda <i>S</i> (<i>V_s</i>) y <i>NSPT</i>, aplicado a los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia?</p>	<p>b) Evaluar desde el punto de vista técnico y económico las ventajas y desventajas del uso del ensayo de penetración estándar – <i>SPT</i> vs la velocidad de propagación de onda <i>S</i> (<i>V_s</i>).</p> <p>c) Obtener las propiedades mecánicas de los suelos de manera indirecta mediante la correlación empírica entre la Velocidad de Propagación de onda <i>S</i> (<i>V_s</i>) y <i>NSPT</i> en los suelos Departamento del Huila, Putumayo y Casanare-Colombia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los resultados obtenidos del Ensayo de Penetración Estándar <i>SPT</i> y del Ensayo de Refracción Sísmica aplicando el Método MASW, logrados en diferentes estudios realizados por INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA, Nos permitirá lograr una caracterización de los suelos en los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare - Colombia. • Disminuir costos y tiempo en los estudios geofísicos disminuyendo los Ensayos De Penetración Estándar <i>SPT</i> mediante el uso de la correlación hallada entre las ondas <i>S</i> (<i>V_s</i>) bajo la propiedad de la velocidad de onda "Rayleigh" de acuerdo al método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) y el resultado del Ensayo de Penetración Estándar –<i>SPT</i>. • Los resultados obtenidos del Ensayo de Penetración Estándar <i>SPT</i> y del Ensayo de Refracción Sísmica aplicando el Método MASW, logrados en diferentes estudios realizados por INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA, Nos permitirá hallar las propiedades ingenieriles de los suelos en los departamentos del Huila, Putumayo y Casanare - Colombia 	