



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA DETERMINADOS POR  
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN SUELOS DE LA FORMACIÓN  
SABANA DEL OCCIDENTE DE BOGOTÁ

**PRESENTADO POR:**

GILDARDO VARGAS QUINTERO      CODIGO: 505044  
HELMER STIVEN DUEÑAZ VARGAS      CODIGO: 505108

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA DETERMINADOS POR  
ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN SUELOS DE LA FORMACIÓN  
SABANA DEL OCCIDENTE DE BOGOTÁ

**PRESENTADO POR:**

GILDARDO VARGAS QUINTERO CODIGO: 505044  
HELMER STIVEN DUEÑAZ VARGAS CODIGO: 505108

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR:**

JHONATHAN JAVIER GARCÍA GUERRERO  
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTA D.C.  
2018



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

**FIRMA PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

---

**FIRMA JURADO**

**BOGOTA D.C., octubre de 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- Principalmente a Dios y a nuestras familias, las cuales con su apoyo incondicional, motivación y amor; siempre estuvieron presentes en el exitoso desarrollo de nuestras carreras.
- Al Ing. Javier García Guerrero, director de este proyecto, por habernos apoyado con su capacidad y conocimiento científico, así como también ayudarnos a guiar durante todo el desarrollo del presente proyecto de grado.
- A la Universidad Católica de Colombia y a la facultad de Ingeniería, por medio de cada uno de sus docentes académicos, fortaleció y enriqueció nuestros conocimientos, principios y valores. Mismos que nos van a servir para adquirir un compromiso real y responsable de ayuda a la comunidad.
- Por último, agradecemos a todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la culminación del presente proyecto.

# CONTENIDO

## INTRODUCCION 16

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | GENERALIDADES   | 17 |
| 1.1   | ANTECEDENTES  | 17 |
| 1.2   | DESARROLLO DEL PROBLEMA   | 18 |
| 1.2.1 | Descripción y formulación del problema  | 18 |
| 1.3   | OBJETIVOS   | 18 |
| 1.3.1 | Objetivo general.   | 18 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos.  | 18 |
| 1.4   | JUSTIFICACIÓN   | 18 |
| 1.5   | DELIMITACIÓN  | 19 |
| 1.5.1 | Espacio   | 19 |
| 1.5.2 | Tiempo  | 19 |
| 1.5.3 | Alcance   | 20 |
| 1.5.4 | Limitaciones  | 20 |
| 1.6   | MARCO REFERENCIAL   | 20 |
| 1.6.1 | Marco conceptual  | 20 |
| 1.6.2 | Estado del arte   | 22 |
| 1.6.3 | Marco Normativo.  | 26 |
| 1.7   | METODOLOGÍA   | 29 |
| 1.7.1 | Recopilación de la información  | 30 |
| 1.7.2 | Identificación del terreno  | 30 |
| 1.7.3 | Extracción de muestras de laboratorio   | 31 |
| 1.7.4 | Resultados y análisis obtenidos   | 32 |
| 2     | RESULTADOS  | 37 |
| 2.1   | Ensayos in situ y laboratorio realizados en el sondeo: 1, Muestras: 1-4.  | 37 |
| 2.1.1 | Métodos del ensayo SPT  | 37 |
| 2.1.2 | Método I.N.V. E – 170.  | 38 |
| 2.1.3 | Método Bjerrum VT   | 39 |
| 2.1.4 | Método Morris William VT (b)  | 40 |
| 2.1.5 | Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4. .. | 42 |
| 2.2   | Ensayos in situ y laboratorio realizados en el sondeo: 1, Muestras: 5-8.  | 43 |
| 2.2.1 | Métodos del ensayo SPT  | 43 |
| 2.2.2 | Método I.N.V. E – 170.  | 44 |
| 2.2.3 | Método Bjerrum VT   | 46 |
| 2.2.4 | Método Morris William VT (b)  | 47 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.2.5 | Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8. .. | 48 |
| 2.3   | Ensayos in situ y laboratorio realizados en el sondeo: 2, Muestras: 1-4.  | 50 |
| 2.3.1 | Métodos del ensayo SPT.....   | 50 |
| 2.3.2 | Método I.N.V. E – 170. ....   | 51 |
| 2.3.3 | Método Bjerrum VT .....   | 52 |
| 2.3.4 | Método Morris William VT (b) .....  | 53 |
| 2.3.5 | Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4. .. | 55 |
| 2.4   | Ensayos in situ y laboratorio realizados en el sondeo: 2, Muestras: 5-8.  | 56 |
| 2.4.1 | Métodos del ensayo SPT.....   | 56 |
| 2.4.2 | Método I.N.V. E – 170. ....   | 57 |
| 2.4.3 | Método Bjerrum VT .....   | 59 |
| 2.4.4 | Método Morris William VT (b) .....  | 60 |
| 2.4.5 | Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8. .. | 62 |
| 2.5   | Ensayos in situ y laboratorio realizados en el sondeo: 3, Muestras: 1-4.  | 63 |
| 2.5.1 | Métodos del ensayo SPT.....   | 63 |
| 2.5.2 | Método I.N.V. E – 170. ....   | 64 |
| 2.5.3 | Método Bjerrum VT .....   | 66 |
| 2.5.4 | Método Morris William VT (b) .....  | 67 |
| 2.5.5 | Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4. .. | 69 |
| 2.6   | Ensayos in situ y laboratorio realizados en el sondeo: 2, Muestras: 5-8.  | 70 |
| 2.6.1 | Métodos del ensayo SPT.....   | 70 |
| 2.6.2 | Método I.N.V. E – 170. ....   | 71 |
| 2.6.3 | Método Bjerrum VT .....   | 73 |
| 2.6.4 | Método Morris William VT (b) .....  | 74 |
| 2.6.5 | Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8. .. | 76 |
| 2.7   | Grafico resumen de comparacion resistencia al corte no drenado (cu).  | 78 |

### 3 ANALISIS DE RESULTADOS 79

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 3.1   | Analisis por sondeos. ....    | 79 |
| 3.1.1 | Sondeo 1, Muestras: 1-4. .... | 79 |
| 3.1.2 | Sondeo 1, Muestras: 5-8. .... | 79 |

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 3.1.3 | Sondeo 2, Muestras: 1-4. .... | 79 |
| 3.1.4 | Sondeo 2, Muestras: 5-8. .... | 79 |
| 3.1.5 | Sondeo 3, Muestras: 1-4. .... | 80 |
| 3.1.6 | Sondeo 3, Muestras: 5-8. .... | 80 |
| 3.2   | Analisis General.....         | 80 |

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 82



## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 1. UBICACIÓN SONDEOS MANUALES. ....   | 19  |
| FIGURA 2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO. ....   | 30  |
| FIGURA 3. ZONAS DE RESPUESTA SÍSMICA EN BOGOTÁ D.C. ....   | 31  |
| FIGURA 4. RANGOS DE CONSISTENCIA DEL SUELO A PARTIR DEL NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR, N60. ....  | 33  |
| FIGURA 5. PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO CU. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 42  |
| FIGURA 6. COMPARACIÓN PORCENTAJE DE ERROR DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU, ENSAYOS IN-SITU VS LABORATORIO. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....  | 43  |
| FIGURA 7. PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO CU. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. ....   | 49  |
| FIGURA 8. COMPARACIÓN PORCENTAJE DE ERROR DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU, ENSAYOS IN-SITU VS LABORATORIO. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. ....  | 49  |
| FIGURA 9. PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO CU. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 55  |
| FIGURA 10. COMPARACIÓN PORCENTAJE DE ERROR DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU, ENSAYOS IN-SITU VS LABORATORIO. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4. .... | 56  |
| FIGURA 11. PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO CU. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. ....  | 62  |
| FIGURA 12. COMPARACIÓN PORCENTAJE DE ERROR DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU, ENSAYOS IN-SITU VS LABORATORIO. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. .... | 63  |
| FIGURA 13. PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO CU. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4. ....  | 69  |
| FIGURA 14. COMPARACIÓN PORCENTAJE DE ERROR DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU, ENSAYOS IN-SITU VS LABORATORIO. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4. .... | 70  |
| FIGURA 15. PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO CU. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. ....  | 76  |
| FIGURA 16. COMPARACIÓN PORCENTAJE DE ERROR DE LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU, ENSAYOS IN-SITU VS LABORATORIO. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. .... | 77  |
| FIGURA 17. GRAFICO RESUMEN DE COMPARACIÓN RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (CU). ....   | 78  |
| FIGURA 18. VELETA. ....  | 113 |
| FIGURA 19. TUBO DE PARED DELGADA ....  | 113 |
| FIGURA 20. CUCHARA PARTIDA ....  | 113 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 21. MAQUINA MULTIENSAYOS .....     | 113 |
| FIGURA 22. PANORAMICA SONDEO 3 .....      | 113 |
| FIGURA 23. PANORAMICA SONDEO 1 .....      | 113 |
| FIGURA 24. PANORAMICA LECTURA VELETA..... | 113 |
| FIGURA 25. PANORAMICA SONDEO 2 .....      | 113 |
| FIGURA 26. MUESTRA SPT S1 - M1.....       | 113 |
| FIGURA 27. MUESTRA SPT S1 - M6.....       | 113 |
| FIGURA 28. MUESTRA SPT S3 - M2.....       | 114 |
| FIGURA 29. MUESTRA SPT S2 - M2.....       | 114 |
| FIGURA 30. SONDEO 1 – MUESTRAS 4.....     | 114 |
| FIGURA 31. SONDEO 1 – MUESTRAS 8.....     | 114 |
| FIGURA 32. SONDEO 2 – MUESTRAS 4.....     | 114 |
| FIGURA 33. SONDEO 2 – MUESTRAS 8.....     | 114 |
| FIGURA 34. SONDEO 3 – MUESTRAS 4.....     | 115 |
| FIGURA 35. SONDEO 3 – MUESTRAS 8.....     | 115 |

## LISTA DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| CUADRO 1. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS I.N.V. E –111 E I.N.V. E –105. ....  | 26 |
| CUADRO 2. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS I.N.V. E –122, I.N.V. E –123 E I.N.V. E –125.<br>.....   | 27 |
| CUADRO 3. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS I.N.V. E –126, I.N.V. E –152 E I.N.V. E –170.<br>.....   | 28 |
| CUADRO 4. VARIACIÓN DEL $\eta_R$ CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD DE LA<br>MUESTRA A TOMAR. ....   | 32 |
| CUADRO 5. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE PENETRACIÓN<br>ESTÁNDAR CORREGIDO N60. SONDEO: 1 – MUESTRA: 4. ....  | 37 |
| CUADRO 6. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL PORCENTAJE DE ERROR, ENTRE<br>EL CU DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA, CON RESPECTO AL CU, DE<br>CADA UNA DE LAS FORMULAS DEL SPT. SONDEO: 1 – MUESTRA: 1-4. ....   | 37 |
| CUADRO 7. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RELACIÓN DE ÁREA DE LA VELETA<br>(VA). SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 38 |
| CUADRO 8. LECTURA DEL TORQUIMETRO EN EL ENSAYO DE VELETA (VA).<br>SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 38 |
| CUADRO 9. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO<br>DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO I.N.V. E – 170. SONDEO: 1<br>– MUESTRAS: 1-4. ....  | 39 |
| CUADRO 10. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO<br>DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO BJERRUM VT. SONDEO: 1<br>– MUESTRAS: 1-4. ....   | 39 |
| CUADRO 11. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO<br>DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (B).<br>SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....                                    | 40 |
| CUADRO 12. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO<br>DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (C).<br>SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....                                    | 41 |
| CUADRO 13. DATOS PARA GRAFICAR PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE<br>NO DRENADA CU. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 1-4. ....  | 42 |
| CUADRO 14. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE PENETRACIÓN<br>ESTÁNDAR CORREGIDO N60. SONDEO: 1 – MUESTRA: 8. ....   | 43 |
| CUADRO 15. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL PORCENTAJE DE ERROR, ENTRE<br>EL CU DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA, CON RESPECTO AL CU, DE<br>CADA UNA DE LAS FORMULAS DEL SPT. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. .... | 44 |
| CUADRO 16. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RELACIÓN DE ÁREA DE LA VELETA<br>(VA). SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. ....  | 44 |
| CUADRO 17. LECTURA DEL TORQUIMETRO EN EL ENSAYO DE VELETA (VA).<br>SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. ....  | 45 |

|   |    |
|---|----|
| CUADRO 18. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO I.N.V. E – 170. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8.....  | 45 |
| CUADRO 19. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO BJERRUM VT. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8.....  | 46 |
| CUADRO 20. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (B). SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. ....                                    | 47 |
| CUADRO 21. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (C). SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8. ....                                    | 48 |
| CUADRO 22. DATOS PARA GRAFICAR PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU. SONDEO: 1 – MUESTRAS: 5-8.....  | 48 |
| CUADRO 23. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR CORREGIDO N60. SONDEO: 2 – MUESTRA: 4.....   | 50 |
| CUADRO 24. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL PORCENTAJE DE ERROR, ENTRE EL CU DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA, CON RESPECTO AL CU, DE CADA UNA DE LAS FORMULAS DEL SPT. SONDEO: 2 – MUESTRA: 1-4.....   | 50 |
| CUADRO 25. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RELACIÓN DE ÁREA DE LA VELETA (VA). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 51 |
| CUADRO 26. LECTURA DEL TORQUIMETRO EN EL ENSAYO DE VELETA (VA). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 51 |
| CUADRO 27. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO I.N.V. E – 170. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4.....  | 52 |
| CUADRO 28. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO BJERRUM VT. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4.....  | 52 |
| CUADRO 29. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (B). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4. ....                                    | 53 |
| CUADRO 30. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (C). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4. ....                                    | 54 |
| CUADRO 31. DATOS PARA GRAFICAR PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 1-4.....  | 55 |
| CUADRO 32. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR CORREGIDO N60. SONDEO: 2 – MUESTRA: 8.....   | 56 |
| CUADRO 33. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL PORCENTAJE DE ERROR, ENTRE EL CU DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA, CON RESPECTO AL CU, DE CADA UNA DE LAS FORMULAS DEL SPT. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. .... | 57 |

|   |    |
|---|----|
| CUADRO 34. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RELACIÓN DE ÁREA DE LA VELETA (VA). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. ....   | 57 |
| CUADRO 35. LECTURA DEL TORQUIMETRO EN EL ENSAYO DE VELETA (VA). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. ....   | 58 |
| CUADRO 36. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO I.N.V. E – 170. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8.....  | 58 |
| CUADRO 37. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO BJERRUM VT. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8.....  | 59 |
| CUADRO 38. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (B). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. ....                                  | 60 |
| CUADRO 39. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (C). SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8. ....                                  | 61 |
| CUADRO 40. DATOS PARA GRAFICAR PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU. SONDEO: 2 – MUESTRAS: 5-8.....  | 62 |
| CUADRO 41. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR CORREGIDO N60. SONDEO: 3 – MUESTRA: 4.....   | 63 |
| CUADRO 42. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL PORCENTAJE DE ERROR, ENTRE EL CU DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA, CON RESPECTO AL CU, DE CADA UNA DE LAS FORMULAS DEL SPT. SONDEO: 3 – MUESTRA: 1-4..... | 64 |
| CUADRO 43. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RELACIÓN DE ÁREA DE LA VELETA (VA). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 64 |
| CUADRO 44. LECTURA DEL TORQUIMETRO EN EL ENSAYO DE VELETA (VA). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4. ....   | 65 |
| CUADRO 45. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO I.N.V. E – 170. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4.....  | 65 |
| CUADRO 46. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO BJERRUM VT. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4.....  | 66 |
| CUADRO 47. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (B). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4. ....                                  | 67 |
| CUADRO 48. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (C). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4. ....                                  | 68 |
| CUADRO 49. DATOS PARA GRAFICAR PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 1-4.....  | 69 |

|   |    |
|---|----|
| CUADRO 50. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR CORREGIDO N60. SONDEO: 3 – MUESTRA: 8.....   | 70 |
| CUADRO 51. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR EL PORCENTAJE DE ERROR, ENTRE EL CU DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA, CON RESPECTO AL CU, DE CADA UNA DE LAS FORMULAS DEL SPT. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. .... | 71 |
| CUADRO 52. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RELACIÓN DE ÁREA DE LA VELETA (VA). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. ....   | 71 |
| CUADRO 53. LECTURA DEL TORQUIMETRO EN EL ENSAYO DE VELETA (VA). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. ....   | 72 |
| CUADRO 54. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO I.N.V. E – 170. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8.....  | 72 |
| CUADRO 55. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO BJERRUM VT. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8.....  | 73 |
| CUADRO 56. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (B). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. ....                                    | 74 |
| CUADRO 57. CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA (CU) Y EL PORCENTAJE DE ERROR. MÉTODO MORRIS WILLIAM VT (C). SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8. ....                                    | 75 |
| CUADRO 58. DATOS PARA GRAFICAR PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA CU. SONDEO: 3 – MUESTRAS: 5-8.....  | 76 |

## **LISTA DE ANEXOS**

|   |     |
|---|-----|
| ANEXO A. ESTATIGRAFIA DEL SUELO.                          | 90  |
| ANEXO B. ENSAYOS DE LIMITES DE ATTERBERG Y GRANULOMETRIA. | 94  |
| ANEXO C. ENSAYOS DE COMPRESION INCONFINADA.               | 101 |
| ANEXO D. RESUMEN DE LABORATORIO Y CARTA DE PLASTICIDAD.   | 108 |
| ANEXO E. REGISTRO FOTOGRAFICO.                            | 112 |

## INTRODUCCION

Las características del suelo son de una innegable importancia para la construcción civil y, por tanto, para la seguridad de las personas que hacen uso de las construcciones que sobre él se hacen. Por esta razón, el estudio detallado del mismo tanto físico como mecánico, es importante con el fin de determinar con mayor confiabilidad la capacidad portante máxima que puede llegar a soportar el suelo.<sup>1</sup> En Colombia se han realizado comparaciones entre los resultados arrojados por ensayos de investigación en campo y los resultados arrojados por ensayos de laboratorio, y se han encontrado muchas variables entre ellos debido a que en el país las normas que rigen estos ensayos se han basado principalmente en normas internacionales.

Este trabajo busca comparar los resultados de la resistencia del corte no drenado obtenidos a través de ensayos en campo con resultados obtenidos en laboratorio, para poder determinar qué tan precisa es la correlación que existe para obtener la resistencia al corte no drenada *in situ* (en el sitio), ya que muchas veces estas correlaciones no se aplican a la geomorfología que presenta el país, afectando así su porcentaje de confiabilidad. Por lo anterior se pretende analizar la confiabilidad que tienen los ensayos de suelos *in situ* (en el sitio), en la obtención de la resistencia al corte no drenada, practicando estos ensayos sobre depósitos de arcillas orgánicas blandas<sup>2</sup>, los cuales son ideales para este tipo de pruebas. De igual modo, se busca analizar el comportamiento y grado de confiabilidad de estos dos tipos de ensayo en el estudio de suelos blandos (arcillas y/o limos).

También se busca obtener la resistencia al corte no drenado a través de los ensayos de veleta y penetración estándar (SPT) *in situ* (en el sitio), para hacer una comparación de ensayos de laboratorio (compresión confinada y corte directo), y así determinar el grado de confiabilidad que presentan estos ensayos en campo; también las posibles variables que puedan llegar a afectar los resultados cuando se busca obtener la resistencia al corte no drenado en el suelo.

---

<sup>1</sup> BRAJA, das. 2013. Fundamentos De Ingeniería Geotécnica [en línea]. México: Cengage Learning, 2013. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.yoingeniero.xyz/wp-content/uploads/2017/10/Fundamentos-de-Ingenieria-Geotecnica-Braja-M-Das.pdf>>.

<sup>2</sup> MONTOYA ARENAS, D, y TORRES REYES, G., 2005. Geología de la sabana de Bogotá. [en línea]. Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas. [fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: [https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe\\_geologia\\_sabana\\_bta.pdf](https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf)>.



# 1 GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES

Como es sabido, previamente a la realización de cualquier obra civil, deben hacerse estudios y análisis de suelos para determinar sus características físicas, tales como su capacidad portante, su clasificación y su peso unitario.

Los ensayos geotécnicos de laboratorio proporcionan información acerca de las características geotécnicas del suelo que se analiza, usando muestras tomadas en el terreno para examinarlas en el laboratorio. Pueden también examinarse las características geotécnicas de un terreno ahorrando tiempo y dinero al hacerlo, mediante ensayos de campo, que suministran información acerca de algunos parámetros del suelo, permitiendo principalmente ahorrar tiempo y dinero en una obra.

Antiguamente, en el estudio del suelo no se tenía en cuenta uno de sus aspectos importantes: la capacidad portante. Un ejemplo claro de esto es la Torre de Pisa, la cual, debido a sus débiles cimientos, construida sobre un suelo inestable, presentó problemas de asentamientos, falla que se refleja claramente en su inclinación, cada vez más marcada a medida que se le fueron añadiendo nuevas plantas<sup>3</sup>. El suelo donde se cimentó no presentaba la capacidad portante necesaria para soportar su estructura. Esto se hubiera podido evitar si se hubiera contado con información suficiente respecto al suelo sobre el cual se construyó la famosa torre.

En Suecia se creó la primera comisión para el estudio y análisis del suelo, integrada por geólogos e ingenieros civiles, que tenía la tarea de estudiar, específicamente, deslizamientos y fallas de taludes. Esa primera investigación ha sido la base para muchos ensayos que en la actualidad son claves al momento de diseñar y ejecutar una obra de ingeniería civil. El fruto del trabajo de esta comisión son los Límites de Atterberg (Albert Atterberg), parámetros indispensables en el estudio del suelo. Gracias a este ensayo, podemos identificar un suelo cohesivo<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> BURLAND, J, JAMIOLKOWSKI, M., VIGGIANI, C. Underexcavating the Tower of Pisa: Back to Future. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSE*. 2015. Volumen 46 (4):10.

<sup>4</sup> GUILLÁN LLORENTE, G. *Contribución al conocimiento de los primeros geotécnicos del siglo XX*. Tesis de doctorado. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, departamento de ingeniería y morfología del terreno, 2015.

## **1.2 DESARROLLO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Descripción y formulación del problema**

Las características geomorfológicas de nuestro país son distintas de aquellos países cuya normatividad inspiró la que actualmente se conoce en Colombia. Este regula la práctica de ensayos de suelo *in situ* y ensayos de suelo en laboratorio. Esto hace válido el preguntarse si dichas normas son adecuadas para las características geomorfológicas. Por lo anterior la pregunta que busca resolver este trabajo es:

¿Qué tan confiable son los ensayos de laboratorio *in situ* (en el sitio) aplicado en suelos de Bogotá, más específicamente en el occidente (Engativá Pueblo); para obtener la resistencia al corte no drenado en arcillas de alta plasticidad?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Realizar una comparación entre ensayos de campo y ensayo de laboratorio para ver su nivel de confiabilidad.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Aplicar la norma en suelos de Colombia para la obtención de la resistencia del corte no drenado para ensayo *in situ* (en el sitio).
- Realizar varios ensayos en un área de trabajo más reducida para poder obtener la resistencia de corte no drenada de la misma geomorfología y obtener datos más confiables.
- Determinar las ventajas y desventajas de los ensayos de campo respecto a los ensayos de laboratorio.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Se pretende realizar una comparación entre la resistencia del corte no drenado obtenida (a través de diferentes ensayos) en campo y laboratorio, con la finalidad de determinar qué tan cercana es la correlación existente para obtener la resistencia al corte no drenado *in situ* (en el sitio). Debido a que muchas veces estas correlaciones no se aplican a la geomorfología que presenta el país, afectando así su porcentaje de confiabilidad.

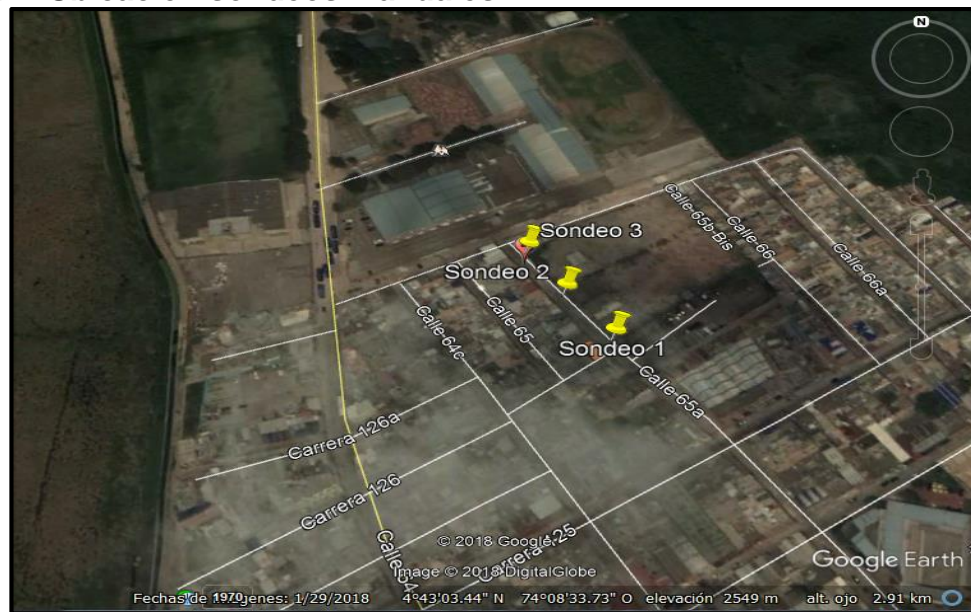
Por esta misma razón se pretende también aplicar la norma INV E -170 (ensayo de corte en suelo cohesivos usando la veleta de campo) para la obtención de la resistencia del corte no drenado. Lo anterior, ya que esta norma ha sido diseñada con base en normas de otros países, en los cuales las condiciones geológicas son bastante diferentes.

## 1.5 DELIMITACIÓN

### 1.5.1 Espacio

Los ensayos se realizaron en la zona delimitada por la carrera ciento veintisiete (127) y la carrera ciento veintiséis (126) con calle sesenta y cinco (65-A) (véase la figura 1), el cual pertenece al barrio San Lorenzo de la localidad 10 (Engativá) del distrito capital de Bogotá.

**Figura 1. Ubicación sondeos manuales.**



Fuente. Google Earth. Zona Occidental de Bogotá [en línea]. Bogotá: Google Earth [citado 24 septiembre 2018].

### 1.5.2 Tiempo

La investigación de este proyecto inició el 30 de Julio y finalizará el 30 de Octubre del 2018.

### 1.5.3 Alcance

Esta investigación pretende validar la norma INV E -170 (ensayo de corte en suelo cohesivos usando la veleta de campo) para la obtención de la resistencia del corte no drenado. Lo anterior ya que esta norma ha sido diseñada con base en normas de otros países, en los cuales las condiciones geológicas es bastante diferente. También se desea realizar una comparación entre el grado de confiabilidad de los ensayos *in situ* (tomados en el sitio) y los ensayos practicados en el laboratorio, al momento de obtener la resistencia del corte no drenado.

### 1.5.4 Limitaciones

- La limitación principal de esta investigación es la falta de recursos para realizar perforaciones más profundas y así determinar si la profundidad puede llegar a afectar el ensayo. Esta limitación podría superarse con nuevos equipos que han sido diseñados en el campo de la geotecnia.
- Otra limitación de esta investigación se refiere a que sería óptimo hacer el ensayo en más zonas de Bogotá, así como realizar más ensayos de laboratorio, lo que disminuiría el margen de error de los resultados.
- La comparación entre los ensayos de laboratorio y los ensayos de campo, no es un tema que haya sido abordado en Colombia suficientemente, habiéndose escrito tan solo una pequeña cantidad de artículos sobre el tema. Lo que significa una limitación en la cantidad de información disponible sobre el mismo.

## 1.6 MARCO REFERENCIAL

### 1.6.1 Marco conceptual

- **Minerales de arcillas:** Las arcillas se llaman duras o rígidas cuando no se pueden moldear con los dedos y no se pueden excavar sin el uso de un pico. Estas arcillas tienen un bajo contenido de agua y son buenos materiales de base. Las arcillas se llaman blandas cuando se moldean con facilidad, son relativamente compresibles, y tienen una resistencia al cizallamiento relativamente baja y no pueden soportar grandes cargas.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> TAYLOR, D. Fundamentals of soil mechanics. United stated of America. S.l.: s.n [en línea]. Pág. 52. 1948 [fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4380774/mod\\_resource/content/1/Taylor-1948-Fundamentals\\_of\\_Soil\\_Mechanics.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4380774/mod_resource/content/1/Taylor-1948-Fundamentals_of_Soil_Mechanics.pdf)>.

- **Asentamiento:** El asentamiento se define como el movimiento vertical del suelo, generalmente causado por cambios en las tensiones dentro de la tierra. Subsistencia es un término que se usa a menudo para describir un "hundimiento" o un hundimiento del suelo, que puede no estar asociado a cambios en las tensiones del suelo. La liquidación o hundimiento excesivos pueden provocar distorsión y daños a las estructuras, servicios e infraestructura que se basan en el material sujeto al movimiento.<sup>6</sup>
- **Capacidad portante:** Es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Cuanto el terreno ha de ser capaz de soportar los incrementos (positivos o negativos) que induce las obras de ingeniería, sin alcanzar los límites de seguridad previamente establecidos<sup>7</sup>.
- **Carga axial:** Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo produciendo un esfuerzo uniforme. También llamada fuerza axial.<sup>8</sup>
- **Cimientos:** Es el conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir al suelo las cargas de la edificación o elementos apoyados en este, distribuyéndolas de manera que no superen una serie de valores máximos del terreno de apoyo. Esto se debe a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que el suelo soportará.<sup>9</sup>
- **Muestra inalterada:** que son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra.<sup>10</sup>
- **Resistencia al corte no drenado:** Se presenta en suelos arcillosos debido a que la cohesión remanente permite considerar que el terreno presenta aún cierta resistencia, el cual corresponde a la situación de dimensionado de carga

<sup>6</sup> GEOTECHNICAL SERVICES GROUND SETTLEMENT Geosciences, CMW. [En línea] 2017. [Fecha de consulta 12 septiembre 2018]. Disponible: <<http://www.cmwgeosciences.com/geotechnical-services/ground-settlement>>.

<sup>7</sup> VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L. y OTEO, C., Ingeniería Geológica. S.l.: s.n. Pág.: 106. 2002 [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible: <[https://www.ucursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi\\_blog/r/Ingenieria\\_Geologica\\_-\\_Gonzalez\\_de\\_Vallejo.pdf](https://www.ucursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf)>.

<sup>8</sup> DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN. [En línea] [Fecha de consulta 12 septiembre 2018]. Disponible: <<http://www.parro.com.ar/definicion-de-carga+axial>>.

<sup>9</sup> CASTILLO, F., GONZÁLEZ. O. Verificación estructural del edificio flores usando elementos finitos embebidos. Pág.: 17. 2015. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en: <[http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1243/1/castillo\\_fa-gonzales\\_oj.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1243/1/castillo_fa-gonzales_oj.pdf)>.

<sup>10</sup> RODRÍGUEZ, A. Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua: s.n. Pág.: 2. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <[http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_LAB\\_MEC\\_DE\\_SUELOS\\_I.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_LAB_MEC_DE_SUELOS_I.pdf)>.

a corto plazo, en muchos casos la más desfavorable a considerar en un proyecto de cimentaciones.<sup>11</sup>

- **Suelo lacustre:** Es la acumulación de material depositado por un lago; por extensión se llama así también a cualquier acumulación de material depositado en un cuerpo extenso de agua dulce en el que la velocidad de circulación del agua sea nula o cercana a cero. Normalmente los depósitos lacustres están formados predominantemente por arcillas y en menor proporción por limos.<sup>12</sup>
- **Veleta:** es un instrumento útil para medir la resistencia al corte de la arcilla. Es un método barato y rápido. Se puede realizar en el laboratorio. La prueba de cizallamiento de las paletas de laboratorio para medir la resistencia al corte de los suelos cohesivos, es útil para suelos de baja resistencia al cizallamiento (menor de 0,3 kg / cm<sup>2</sup>) para los cuales no se pueden realizar pruebas triaxiales o no confinadas. La prueba da la fuerza sin drenar del suelo. La resistencia inalterada y remodelada obtenida es útil para evaluar la sensibilidad del suelo.<sup>13</sup>

## 1.6.2 Estado del arte

Respecto a las investigaciones que han buscado establecer el grado de confiabilidad que pueden ofrecer los ensayos de suelos *in situ*, al momento de obtener la resistencia al cortante no drenado sobre depósitos de arcillas orgánicas blandas, debemos reseñar las investigaciones que se han realizado recientemente sobre el tema.

En cuanto a los ensayos de penetración estándar, debe decirse que sus antecedentes se remontan a la segunda mitad del siglo XX, a Terzaghi y Peck (1967), quienes realizaron estudios de campo para obtener una correlación de los suelos cohesivos; a Sanglerat (1972), quien encontró la correlación de acuerdo con el tipo de suelo fino, correlación en la que se tiene en cuenta el índice de plasticidad (IP) para suelos arcillosos; y a Stroud (1974), quien encontró relaciones que se expresaban a través del índice de plasticidad (IP), el cual disminuía

---

<sup>11</sup> Estudios Geotécnicos: Resistencia al corte no drenado [en línea] [En línea]. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/resistencia-al-corte-de-los-suelos-3-resistencia-al-corte-no-drenado/>>.

<sup>12</sup> Diccionario de Geotecnia. [En línea]. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<https://diccionario.geotecnia.online/diccionario/deposito-lacustre/>>.

<sup>13</sup> APPARAO, K. RAO, V, *Soil Testing Laboratory Manual and Question Bank*. New Delhi: s.n. pág. 63. [En línea]. Laxmi publications [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <[https://books.google.com.co/books?id=xYIHcLr9OFwC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=xYIHcLr9OFwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>.

dependiendo de un valor constante (N). Contrariamente, en 1979, Sower mostró que el índice de plasticidad (IP) aumentaba con un valor constante (N)<sup>14</sup>.

Nassaji y Kalantari, en su artículo “*SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran, Irán*”, citan los referidos antecedentes, como suyos, ya que su estudio pretende mostrar que el ensayo de penetración estándar (SPT) arroja la mejor corrección por el factor de confinamiento, el cual está dado por el esfuerzo efectivo vertical. Esta investigación concluye que los distintos factores que interactúan en los suelos cohesivos pueden afectar el resultado de las correlaciones, especialmente cuando los ensayos se realizan en diferentes regiones y/o se utilizan diferentes equipos para extraer las muestras.

En Europa deben resaltarse la investigación que adelantaron en 2001, en Polonia, Lechowicz y Szymanski, quienes realizaron un ensayo para probar la exactitud de la evaluación de la resistencia al corte no drenado del suelo densamente sobre consolidado por prueba de penetración por cono, y de suelo arcilloso por prueba con dilatómetro. Los resultados de este estudio muestran que no hay diferencias significativas entre una y otra medición (entre la que se realiza in situ y la que se realiza en el laboratorio), siempre y cuando el factor empírico del cono  $N_c$  sea adecuadamente seleccionado. En lo que atañe al suelo arcilloso, los valores de resistencia al corte no drenado arrojados por el dilatómetro difieren bastante de los valores arrojados por el ensayo de corte triaxial<sup>15</sup>.

En el mismo continente, Europa, pero más al norte, en Suecia, y más recientemente, en 2015, Westerberg, Müller, y Larsson, se propusieron en una investigación evaluar los resultados de los ensayos de penetración de cono que tienen una larga tradición en Suecia y que se practican ampliamente en ese país. Allí usualmente en los suelos arcillosos se usa el límite líquido y la sobre consolidación del suelo, pero estos procesos no son los apropiados para todos los tipos de suelo, razón por la cual los autores hicieron ajustes para suelos específicos utilizando para evaluar el suelo la penetración de cono, la veleta de campo, el penetrómetro dinámico de cono, sin que se encontrasen correlación entre estos métodos y la media del límite líquido y la sobre consolidación del suelo, salvo por una relación entre la ratio de este último y la penetración de cono

---

<sup>14</sup> NASSAJI, F. y KALANTARI, B., SPT capability to estimate undrained shear strength of fine-grained soils of Tehran, Iran. *Electronic Journal of Geotechnical*. [en línea ] 2005 [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible: <[https://www.researchgate.net/publication/231336983\\_SPT\\_capability\\_to\\_estimate\\_undrained\\_shear\\_strength\\_of\\_fine\\_grained\\_soils\\_of\\_Tehran\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/231336983_SPT_capability_to_estimate_undrained_shear_strength_of_fine_grained_soils_of_Tehran_Iran)>.

<sup>15</sup> LECHOWICZ, Z. y SZYMANSKI, A., Evaluation of undrained shear strength of cohesive and organic soils from in situ tests *La résistance au cisaillement non drainée de sols cohésives et organiques déterminée par l'essai*. [en línea ] [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <[https://www.issmge.org/uploads/publications/1/30/2001\\_01\\_0102.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/1/30/2001_01_0102.pdf)>.

y la veleta de campo.<sup>16</sup> Por su parte, Maurice Cassan, en su libro “*los ensayos in situ en la mecánica del suelo*”, busca establecer una relación entre los parámetros estudiados in situ y los parámetros arrojados por los resultados experimentales, los cuales pueden tener una influencia importante en el resultado del grado de confiabilidad de los resultados<sup>17</sup>.

En nuestro continente debe recordarse que en Honduras se realizó una comparación entre el ensayo del penetrómetro dinámico de cono Vs ensayo de CBR para encontrar la capacidad portante del suelo en una sub rasante; esta investigación encontró que el ensayo de penetrómetro dinámico arroja datos muy cercanos en suelos finos (limos y/o arcillas) comparado con el ensayo de CBR de laboratorio<sup>18</sup>.

En Colombia, respecto al tema se destaca la investigación realizada por Cuadros y Bermúdez denominada “*Obtención y selección apropiada del valor de cohesión no drenada para el piedemonte de los cerros orientales de Bogotá usando ensayos in situ*”. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la relación teórica del ensayo de penetración estándar (SPT). Cuadro y Bermúdez encontraron que la ecuaciones planteadas por diferentes investigadores varían dependiendo del tipo de suelo, en suelos arcillosos, debido a que manejan un grado de confiabilidad aceptable, pero en suelos limosos y/o arenosos, el porcentaje de error aumenta, haciendo que el ensayo no sea confiable para este tipo de suelos, y la obtención de la resistencia al corte no drenada no pueda obtenerse a través de este método.

Por tal razón, ellos recomiendan utilizar el ensayo de veleta, por encima del ensayo SPT, con el fin de obtener un mejor índice de confiabilidad, determinando el valor de la cohesión no drenada (Cu). Esto puesto que los valores obtenidos a partir del ensayo SPT, se emplean en la caracterización y estimación de la compacidad del suelo, mientras que el ensayo de veleta se emplea completamente en determinar la correlación adecuada de la resistencia al corte no drenado (Cu) de un suelo arcilloso.<sup>19</sup>

---

<sup>16</sup> WESTERBERG, B., MÜLLER, R. y LARSSON, S., *Evaluation of undrained shear strength of Swedish fine-grained sulphide soils. Engineering Geology* [en línea]. doi 10.1016/j.enggeo.2015.01.007. [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<https://core.ac.uk/download/pdf/82143085.pdf>>.

<sup>17</sup> CASSAN, M., 1982. Correlaciones entre ensayos «in situ». En: *Los ensayos in situ en la mecánica de suelo. Su ejecución e interpretación*. Barcelona: S. editores técnicos asociados. Pág.: 433. [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <[https://books.google.com.co/books?id=-FHAaR4yRYQC&pg=PA291&source=gbs\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=-FHAaR4yRYQC&pg=PA291&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false)>.

<sup>18</sup> BERMUDEZ, J. y VASQUÉZ, S. Relación Al Ensayo Cbr En Laboratorio. [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/StudentPapers/SP61.pdf>>.

<sup>19</sup> CUADROS, C. y BERMÚDEZ, J., 2015. Obtención y selección apropiada del valor de cohesión no drenada para el piedemonte de los cerros orientales de Bogotá usando ensayos in situ. S.I.: s.n.



Jaime Suárez, de la Universidad Industrial de Santander, en su libro de “*análisis geotécnico de deslizamientos*” señala que hay una gran cantidad de factores que influyen en la diferencia de resistencia en las muestras medidas en el laboratorio con respecto a la resistencia en campo; entre estas, se encuentra la técnica del muestreo, orientación de la muestra, tamaño de muestra, rata de corte, ablandamiento después de remover la carga y la falla progresiva. Adicionalmente a los factores mencionados, la resistencia al cortante de un suelo depende también del grado de saturación, que puede variar con el tiempo en campo. Debido a las dificultades en el análisis de datos de ensayo de muestras no saturadas (generalmente en el laboratorio), estas se saturan con el objeto de medir las resistencias mínimas de cortante.

Suarez concluye que las estimaciones de estabilidad basadas en resistencias de laboratorio pueden no ser confiables en muchos casos, debido a la dificultad de obtener muestras realmente representativas, por factores como: la medición de presiones reales de poros, el efecto de la fisuración y la disminución gradual de resistencia con el tiempo, especialmente en arcillas sobre consolidadas y en suelos residuales de lutitas<sup>20</sup>.

En Bogotá también se realizó una investigación, para observar las diferentes correlaciones que existen entre el ensayo SPT (in situ) y el ensayo de corte (laboratorio), para poder encontrar el ángulo de fricción. Esta investigación se hizo sobre la Carrera Séptima entre la Calle 38 y Calle 170, dentro de la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá D.C. El cual se encuentra en la zona 2 (Piedemonte). Se hicieron diferentes perforaciones para el estudio geotécnico del proyecto de Transmilenio en la zona; se encontró que las correlaciones existentes presentaban un porcentaje de error que oscilaba entre un 5% y 20%. Esto demuestra que las ecuaciones aplicadas para el país no han sido adaptadas para la geomorfología que presenta Colombia.<sup>21</sup> También en la Universidad Católica de Colombia se realizó un trabajo de investigación que tenía como objetivo encontrar la correlación de la resistencia al corte no drenado, a partir del ensayo de veleta realizado *in situ*. Este trabajo concluyó que el método

---

Pág.: 87. [en línea ] [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2401/1/TG\\_CA\\_CuadrosR-JL\\_MontenegroB.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2401/1/TG_CA_CuadrosR-JL_MontenegroB.pdf)>.

<sup>20</sup> SUAREZ, J. *Deslizamientos. Análisis Geotécnico*. [en línea] U. Industrial de Santander.[fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<http://www.erosion.com.co/2013/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>>.

<sup>21</sup> CARMONA, J. y RUGE, J. *Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ*. [en línea] Tecno Lógicas 2015. [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n35/v18n35a09.pdf>>.

planteado por la norma INVIAS es el más cercano a encontrar el valor esperado, para hallar el valor de la correlación de la resistencia al corte ( $C_u$ )<sup>22</sup>.

### 1.6.3 Marco Normativo.

**Cuadro 1. Descripción de ensayos I.N.V. E –111 e I.N.V. E –105.**

| NORMA         | NOMBRE DEL ENSAYO   | DESCRIPCIÓN  |
|---------------|---|--|
| I.N.V. E –111 | Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido. | Este método describe el procedimiento conocido como ensayo normal de penetración (Standard Penetration Test – SPT) el cual consiste en conducir un muestreador de tubo partido dentro del suelo para obtener muestras alteradas representativas con fines de identificación, y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador <sup>23</sup> .                           |
| I.N.V. E –105 | Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada.           | Esta norma presenta un procedimiento para el uso de un tubo metálico de pared delgada para la obtención de muestras relativamente inalteradas de suelo, apropiadas para realizar sobre ellas pruebas de laboratorio destinadas a establecer las propiedades empleadas en los diseños de ingeniería, tales como la resistencia, compresibilidad, permeabilidad y densidad <sup>24</sup> . |

FUENTE. Tomado y modificado de las normas INVIAS.

<sup>22</sup> HERRERA, D. y NIÑO, L. 2015. *Estimación de la correlación adecuada para la resistencia no drenada de suelos de Piedemonte de los Cerros Orientales a partir del ensayo de veleta*. S.l.: s.n [en línea] [fecha de consulta 22 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2435/3/ARTICULO.pdf>>.

<sup>23</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 111. Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 121-133.

<sup>24</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 105. Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 79-87.

**Cuadro 2. Descripción de ensayos I.N.V. E –122, I.N.V. E –123 e I.N.V. E –125.**

| NORMA         | NOMBRE DEL ENSAYO  | DESCRIPCIÓN  |
|---------------|--|--|
| I.N.V. E –122 | Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezcla de suelo-agregado. | Esta norma se refiere a la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad), por masa, de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado <sup>25</sup> .   |
| I.N.V. E –123 | Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.  | Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo, a través del proceso de tamizado <sup>26</sup> .  |
| I.N.V. E –125 | Determinación del límite líquido de los suelos.  | Albert Atterberg definió seis “límites consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. Los límites líquidos y plásticos de un suelo son mencionados a menudo en conjunto como límites de atterberg <sup>27</sup> . |

FUENTE: Tomado y modificado de las normas INVIAS.

<sup>25</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 122. Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 173-183.

<sup>26</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 123. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 185-205.

<sup>27</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 125. Determinación del límite líquido de los suelos. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 206-226.

**Cuadro 3. Descripción de ensayos I.N.V. E –126, I.N.V. E –152 e I.N.V. E –170.**

| NORMA         | NOMBRE DEL ENSAYO  | DESCRIPCIÓN  |
|---------------|--|--|
| I.N.V. E –126 | Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.         | Albert Atterberg definió seis “límites consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. Los límites líquidos y plásticos de un suelo son mencionados a menudo en conjunto como límites de atterberg <sup>28</sup> . |
| I.N.V. E –152 | Compresión inconfiada en muestras de suelos.                   | Esta norma describe el ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial, con control de deformación <sup>29</sup> .   |
| I.N.V. E –170 | Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo. | Esta norma establece el procedimiento del ensayo de veleta de campo en suelos arcillosos y limosos, para determinar la resistencia al corte en condición no drenada <sup>30</sup> .  |

FUENTE: Tomado y modificado de las normas INVIAS.

<sup>28</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 126. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 227-236.

<sup>29</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 152. Compresión inconfiada en muestras de suelos. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 467-478.

<sup>30</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 170. Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 743-759.

Los siguientes ensayos no se utilizan debido a que no son indispensables para el cálculo de la resistencia al corte no drenado:

- Ensayo de límite de contracción, se utiliza para medir el cambio de volumen debido a la disminución o aumento del contenido de agua<sup>31</sup>.
- Ensayo de corte directo, su función principal es determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada<sup>32</sup>.
- Ensayo de consolidación unidimensional de suelos, este procedimiento se aplica para determinar la magnitud y la consolidación de muestras de suelos mediante una prueba de laboratorio en la cual se permite el drenaje axial de especímenes confinados lateralmente, mientras se someten a incrementos de carga con esfuerzo controlado<sup>33</sup>.

## 1.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto de investigación “COMPARACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA DETERMINADOS POR ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO EN SUELOS DE LA FORMACIÓN SABANA DEL OCCÍDENTE DE BOGOTÁ”, se realizarán ensayos en laboratorio e *in situ*, a partir de los resultados obtenidos, se llevará a cabo una comparación entre los resultados de campo y laboratorio que permita determinar si la resistencia del corte no drenado cambia significativamente; mediante el índice de confiabilidad entre los dos métodos de ensayos.

Se analizarán las ecuaciones planteadas para encontrar la resistencia al corte no drenado. En los ensayos *in situ* se utilizarán la veleta y sistema de penetración estándar. Se escoge una zona de formación de lacustre 500, debido al contacto superficial que existe de arcilla de alta plasticidad y consistencia baja, necesaria para la realización de los ensayos.

Se realizarán 3 sondeos manuales a una profundidad máxima de 6 metros, en un área de  $\pm 72$  m<sup>2</sup>. Se efectuarán ensayos de campo bajo las normas INVIAS: Se realizarán, en suelos cohesivos, ensayos de veleta de campo, ensayos de penetración normal. Se obtendrán muestras inalteradas mediante tubos de pared delgada; a las muestras obtenidas de este modo se le realizara ensayos de

---

<sup>31</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E - 127 Determinación de los factores de contracción de los suelos. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 237-244.

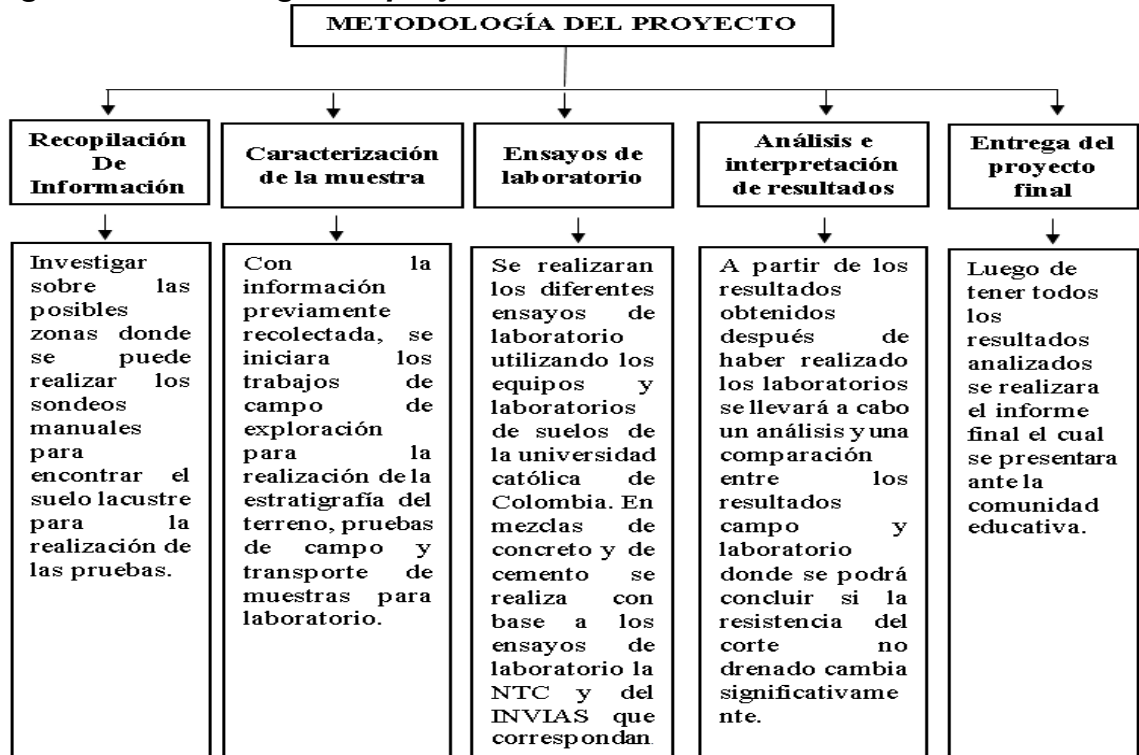
<sup>32</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E - 154 Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD). Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 523-543.

<sup>33</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. Consolidación unidimensional de suelos. E 151-13. Normas de ensayo materiales para carretera. 2013. Bogotá: s.n., pp. 433-466.

compresión confinada en el laboratorio, para así mismo poder obtener la resistencia del corte no drenado.

A continuación, se mostrará un resumen detallado de la metodología realizada:

**Figura 2. Metodología del proyecto.**



FUENTE. Los autores.

### 1.7.1 Recopilación de la información.

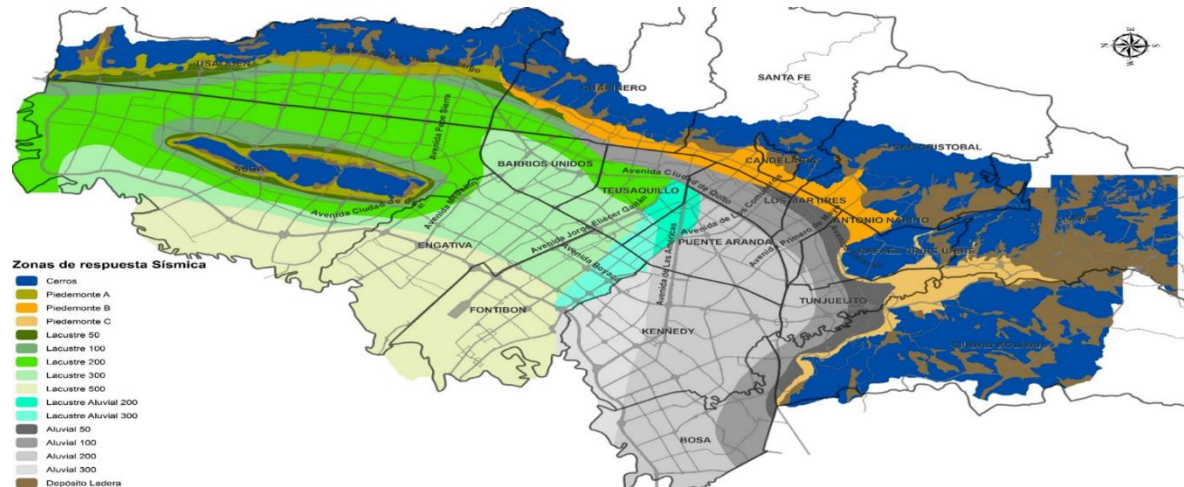
Se recopiló información relacionada con las correlaciones existentes, con el fin de obtener a partir de la misma algunos parámetros del suelo, particularmente el de la resistencia al corte no drenado ( $C_u$ ), por la importancia que este parámetro tiene para este trabajo. También se recopiló información tendiente a analizar el grado de confiabilidad de los ensayos *in situ*, como de los ensayos en laboratorio.

### 1.7.2 Identificación del terreno.

El terreno objeto del presente estudio está ubicado en la sabana de Bogotá, más exactamente en el barrio Villa Teresita de la localidad de Engativá. Este terreno presenta contacto superficial con suelos lacustres 500, y en él predominan limos y

arcillas a una profundidad baja. Este tipo de suelo permite que los resultados de esta investigación sean más exactos al obtener las muestras inalteradas.

**Figura 3. Zonas de respuesta sísmica en Bogotá D.C.**



FUENTE: Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (IDIGER).  
[Citado, 27 septiembre 2018].

### 1.7.3 Extracción de muestras de laboratorio.

En el marco de la normatividad y de las especificaciones técnicas pertinentes, se emplean los siguientes ensayos de laboratorio, para conocer los parámetros del suelo estudiado, y para obtener la resistencia al corte no drenado del suelo. A continuación mencionamos las normas IINVIAS aplicadas en este proyecto:

- I.N.V. E-105. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO MEDIANTE TUBOS DE PARED DELGADA.
- I.N.V. E-111. ENSAYO NORMAL DE PENETRACION (SPT) Y MUESTREO DE SUELOS CON TUBO PARTIDO.
- I.N.V. E-125. DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS.
- I.N.V. E-126. LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS.
- I.N.V. E-152. COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS.
- I.N.V. E-170. ENSAYO DE CORTE EN SUELOS COHESIVOS USANDO LA VELETA DE CAMPO.

## 1.7.4 Resultados y análisis obtenidos.

Mediante los cálculos de la resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ) efectuados tanto en campo (ensayos de veleta y el ensayo SPT), como en el laboratorio (ensayos de límites, compresión inconfiada, % humedad y granulometría), se realizó una correlación de ambos métodos para determinar el grado de confiabilidad entre el ensayo de veleta, realizado *in situ*, y el de compresión inconfiada, realizado en laboratorio.

### 1.7.4.1 Formulas ensayos SPT (in-situ) para encontrar la resistencia al corte no drenado ( $C_u$ ).

- Numero de golpes corregido  $N_{60}^{34}$ .

$$N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_s * \eta_R}{60}$$

Donde:

- **N** = Numero de penetración medido (son los dos últimos rangos del número de golpes. (Ver anexo A).
- **$\eta_H$**  = Eficiencia del martinete (para Colombia se utiliza una eficiencia del 45%).
- **$\eta_B$**  = Corrección por el diámetro de la perforación (este valor es igual a 1).
- **$\eta_s$**  = Corrección del muestreador (este valor es igual a 1).
- **$\eta_R$**  = Corrección por longitud de la barra.

#### Cuadro 4. Variación del $\eta_R$ con respecto a la profundidad de la muestra a tomar.

| Variación de $\eta_R$ |          |
|-----------------------|----------|
| m                     | $\eta_R$ |
| >10                   | 1        |
| 6-10                  | 0,95     |
| 4-6                   | 0,85     |
| 0-4                   | 0,75     |

Fuente. BRAJA, das. 2012. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. 2012. 987-607-481-823-9. pp. 84.

---

<sup>34</sup> BRAJA, das. 2012. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* [en línea] [citado 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <https://ubooks.s3.amazonaws.com/uploads/book/raw/1473618071897-tsezkw0dpqawblh3-5fa7781ed5930244df708b073d8832b1/fundamentosdeingenieriadecimentaciones-150913225731-lva1-app6891.pdf>>.



**Figura 4. Rangos de consistencia del suelo a partir del número de penetración estándar,  $N_{60}$ .**

| Número de penetración estándar, $N_{60}$ | Consistencia | CI       | Resistencia a la compresión simple, $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--|--------------|----------|--|
| < 2                                      | Muy blanda   | < 0.5    | < 25   |
| 2-8                                      | Blanda       | 0.5-0.75 | 25-80  |
| 8-15                                     | Media        | 0.75-1.0 | 80-150   |
| 15-30                                    | Firme        | 1.0-1.5  | 150-400  |
| > 30                                     | Muy firme    | > 1.5    | > 400  |

Fuente. BRAJA, das. 2012. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. 2012. 987-607-481-823-9. pp. 84.

- Método de Stroud SPT (1) (1974).<sup>35</sup>

$$C_u = 4,5N_{60}$$

- Método de Stroud SPT (2) (1974).<sup>36</sup>

$$C_u = KN_{60}$$

- Método de Decourt SPT (1989).<sup>37</sup>

$$C_u = 10,5N_{60}$$

- Método de Otros SPT (1971)<sup>38</sup>.

$$C_u = 29N^{0,72}$$

<sup>35</sup> SCHNAID, F. In Situ Testing in Geomechanics [en línea] 2009 [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: [http://ahmadgeo.persianganig.com/.8oOW6nrmMr/document/\\_In\\_Situ\\_Testing\\_in\\_Geomechanics.pdf](http://ahmadgeo.persianganig.com/.8oOW6nrmMr/document/_In_Situ_Testing_in_Geomechanics.pdf)>.

<sup>36</sup> BRAJA, das. 2013. Fundamentos De Ingeniería Geotécnica [en línea]. México: Cengage Learning, 2013. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.yoingeniero.xyz/wp-content/uploads/2017/10/Fundamentos-de-Ingenieria-Geotecnica-Braja-M-Das.pdf>>.

<sup>37</sup> SCHNAID, F. In Situ Testing in Geomechanics [en línea] 2009 [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: [http://ahmadgeo.persianganig.com/.8oOW6nrmMr/document/\\_In\\_Situ\\_Testing\\_in\\_Geomechanics.pdf](http://ahmadgeo.persianganig.com/.8oOW6nrmMr/document/_In_Situ_Testing_in_Geomechanics.pdf)>.

<sup>38</sup> BRAJA, das. 2013. Fundamentos De Ingeniería Geotécnica [en línea]. México: Cengage Learning, 2013. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.yoingeniero.xyz/wp-content/uploads/2017/10/Fundamentos-de-Ingenieria-Geotecnica-Braja-M-Das.pdf>>.

#### 1.7.4.2 Formulas ensayos de veleta VT (in-situ) para encontrar la resistencia al corte no drenado (Cu).

- **Método INVIAS (I.N.V. E - 170)<sup>39</sup>.**

$$C_u = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$$

- Factor empírico de corrección<sup>40</sup>.

$$\mu = 1,05 - 0,045$$

- Cu corregido.

$$C = \mu * C_u$$

- **Método Bjerrum VT<sup>41</sup>.**

$$C_u = \frac{T}{K}$$

- Constante K.

$$K = \left( \frac{\pi}{1728} \right) * \left( \frac{D^2 * H}{2} \right) * \left( 1 + \frac{D}{3H} \right)$$

---

<sup>39</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 170. *Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 754.* [en línea] [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/SECCI%C3%83%E2%80%99CN%20100%20INV%20E-13.pdf>>.

<sup>40</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 170. *Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 758.* [en línea]. [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/SECCI%C3%83%E2%80%99CN%20100%20INV%20E-13.pdf>>.

<sup>41</sup> BRAJA, das. 2012. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.* 2012. 987-607-481-823-9. pp. 95. [citado 27 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://ubooks.s3.amazonaws.com/uploads/book/raw/1473618071897-tsezkw0dpqawblh3-5fa7781ed5930244df708b073d8832b1/fundamentosdeingenieriadecimentaciones-150913225731-lva1-app6891.pdf>>.

- Factor de corrección<sup>42</sup>.

$$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$$

- Cu corregido.

$$Cu = \lambda * Cu$$

- **Método Morris William VT (b).**

$$Cu = \frac{T}{K}$$

- Constante K.

$$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$$

- Factor de corrección<sup>43</sup>.

$$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$$

- Cu corregido.

$$Cu = \lambda * Cu$$

- **Método Morris William VT (c).**

$$Cu = \frac{T}{K}$$

---

<sup>42</sup> BRAJA, das. 2012. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* [en línea] [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <https://ubooks.s3.amazonaws.com/uploads/book/raw/1473618071897-tsezkw0dpqawblh3-5fa7781ed5930244df708b073d8832b1/fundamentosdeingenieriadecimentaciones-150913225731-lva1-app6891.pdf>>.

<sup>43</sup> BRAJA, das. 2012. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* [en línea] [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <https://ubooks.s3.amazonaws.com/uploads/book/raw/1473618071897-tsezkw0dpqawblh3-5fa7781ed5930244df708b073d8832b1/fundamentosdeingenieriadecimentaciones-150913225731-lva1-app6891.pdf>>.

➤ Constante K.

$$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$$

➤ Factor de corrección<sup>44</sup>.

$$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)}$$

➤ Cu corregido.

$$Cu = \lambda * Cu$$

#### 1.7.4.3 Ecuación de porcentaje de error.

$$\left|\frac{e_c - e_p}{e_p}\right| * 100$$

Donde:

- **ec** = Valor a comparar Cu corregido.
- **ep** = Valor patrón Cu inconfiada (ver anexo C).

---

<sup>44</sup> BRAJA, das. 2012. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* [en línea] [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <https://ubooks.s3.amazonaws.com/uploads/book/raw/1473618071897-tsezkw0dpqawblh3-5fa7781ed5930244df708b073d8832b1/fundamentosdeingenieriadecimentaciones-150913225731-lva1-app6891.pdf>>.

## 2 RESULTADOS

### 2.1 ENSAYOS IN SITU Y LABORATORIO REALIZADOS EN EL SONDEO: 1, MUESTRAS: 1-4.

#### 2.1.1 Métodos del ensayo SPT.

Cuadro 5. Cálculos para encontrar el número de penetración estándar corregido N60. Sondeo: 1 – Muestra: 4.

| SONDEO: 1 - MUESTRA: 4                                      |        |
|---|--------|
| $N_{60} = \frac{N + \eta_H * \eta_B * \eta_S + \eta_R}{60}$ |        |
| N = Numero de penetración medido.                           | 4      |
| $\eta_H$ = Eficiencia del martinete (%).                    | 45     |
| $\eta_B$ = Corrección por el diámetro de la perforación.    | 1      |
| $\eta_S$ = Corrección del muestreador.                      | 1      |
| $\eta_R$ = Corrección por longitud de la barra.             | 0,75   |
| N60 = Numero de penetración estándar corregido.             | 2      |
| Consistencia.   | BLANDA |

Fuente. Los autores.

Cuadro 6. Cálculos para encontrar el porcentaje de error, entre el Cu del ensayo de compresión inconfiada, con respecto al Cu, de cada una de las formulas del SPT. Sondeo: 1 – Muestra: 1-4.

| SONDEO: 1 - MUESTRAS: 1-4 |     |                   |                    |            |                           |                          |                          |                         |
|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| METODO                    | N60 | ECUACION Cu       | UNIDADES           | RESULTADOS | Cu COMPRESION INCONFINADA |                          |                          | PORCENTAJE DE ERROR (%) |
|                           |     |                   |                    |            | ECUACION                  | qu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |
| Stroud SPT (1)            | 2   | $Cu = 4,5N_{60}$  | KN/m <sup>2</sup>  | 10,35      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,99                     | 0,50                     | 78,90                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,11       |                           |                          |                          |                         |
| Stroud SPT (2)            | 2   | $Cu = KN_{60}$    | KN/m <sup>2</sup>  | 10,12      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,99                     | 0,50                     | 79,37                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,10       |                           |                          |                          |                         |
| Decourt SPT               | 2   | $Cu = 10,5N_{60}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 24,15      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,99                     | 0,50                     | 50,76                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,25       |                           |                          |                          |                         |
| Otros SPT                 | 2   | $Cu = 29N^{0,72}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 52,83      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,99                     | 0,50                     | 7,70                    |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,54       |                           |                          |                          |                         |

Fuente. Los autores.

2.1.2 Método I.N.V. E – 170.

**Cuadro 7. Cálculos para encontrar la relación de área de la veleta (VA). Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

|                           | mm     | cm    | plg  |
|---------------------------|--------|-------|------|
| Diámetro de la veleta (D) | 50,80  | 5,08  | 2,00 |
| Radio de la veleta (R)    | 25,40  | 2,54  | 1,00 |
| Diámetro de la barra (d)  | 12,70  | 1,27  | 0,50 |
| Radio de la varilla (r)   | 6,35   | 0,64  | 0,25 |
| Altura (h)                | 101,60 | 10,16 | 4,00 |
| Espesor de las aspas      | 1,60   | 0,16  | 0,06 |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Relación de área de la veleta (VA).              |   |      |
| $VA = \frac{4(R-r)e + \pi r^2}{\pi * r^2} * 100$ | % | 12,3 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 8. Lectura del torquímetro en el ensayo de veleta (VA). Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

|                             |       |        |
|-----------------------------|-------|--------|
| Angulo de la veleta         | °     | 45,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*ft | 35,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*Kg | 15,86  |
| Lectura del torquímetro (T) | Kg*cm | 483,26 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 9. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método I.N.V. E – 170. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

| METODO: INVIAS (I.N.V. E - 170)  |                    |       |
|--|--------------------|-------|
| $C_u = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$ |                    |       |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,95  |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 36,60 |
| Factor empírico de corrección.<br>$\mu = 1,05 - 0,045 * IP^{0,5}$                              |                    | 0,78  |
| Cu corregido. $C_u = \mu * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,74  |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,99  |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,50  |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$                              | %                  | 47,71 |

Fuente. Los autores.

### 2.1.3 Método Bjerrum VT

**Cuadro 10. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Bjerrum VT. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Bjerrum VT   |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left( \frac{\pi}{1728} \right) * \left( \frac{D^2 * H}{2} \right) * \left( 1 + \frac{D}{3H} \right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 36,60   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$  |                    | 0,86    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1765,63 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,86    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,99    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,50    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$  | %                  | 72,19   |

Fuente. Los autores.

### 2.1.4 Método Morris William VT (b)

**Cuadro 11. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (b). Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Morris William VT (b)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 36,60   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$  |                    | 0,63    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1305,66 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,99    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,50    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 27,33   |

Fuente. Los autores.



### 2.1.4.1 Método Morris William VT (c)

**Cuadro 12. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (c). Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Morris William VT (c)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Limite liquido (LL).   | %                  | 60,90   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)} + 0,57$  |                    | 0,62    |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | lb/ft <sup>2</sup> | 1287,09 |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,63    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,99    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,50    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 25,52   |

Fuente. Los autores.

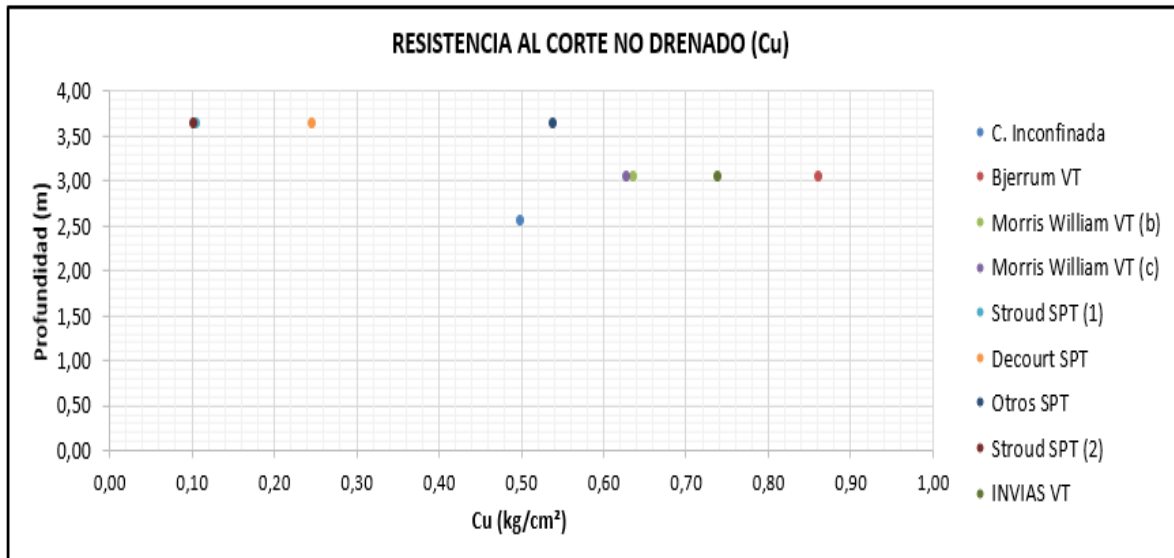
**2.1.5 Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

**Cuadro 13. Datos para graficar profundidad Vs resistencia al corte no drenada Cu. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**

| SONDEO: 1 - MUESTRAS: 1-4   |                 |      |              |                        |   |
|---|-----------------|------|--------------|------------------------|---|
| ENSAYO  | PROFUNDIDAD (m) |      | PROMEDIO (m) | METODO                 | RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu) Kg/Cm2 |
|   | De              | A    |              |                        |   |
| Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby (SH).  | 2,30            | 2,80 | 2,55         | Compresión Inconfinada | 0,50  |
| Ensayo de veleta de campo (VTA).                                    | 2,80            | 3,30 | 3,05         | Bjerrum VT             | 0,86  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (b)  | 0,64  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (c)  | 0,63  |
|   |                 |      |              | INVIAS VT              | 0,74  |
| Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra inalterada (SPT). | 3,40            | 3,90 | 3,65         | Stroud SPT (1)         | 0,11  |
|   |                 |      |              | Stroud SPT (2)         | 0,10  |
|   |                 |      |              | Decourt SPT            | 0,25  |
|   |                 |      |              | Otros SPT              | 0,54  |

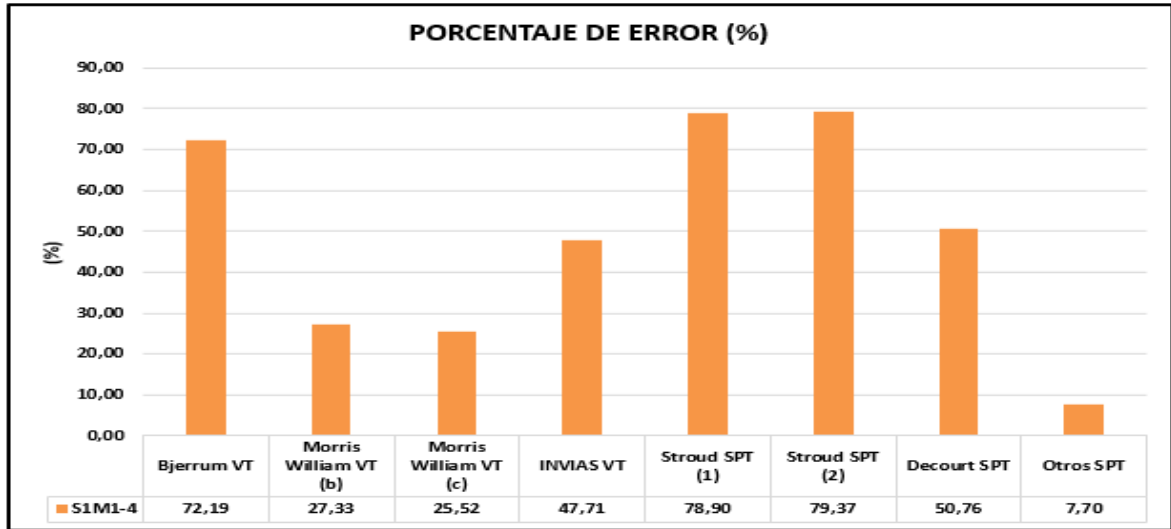
Fuente. Los autores.

**Figura 5. Profundidad Vs Resistencia al corte no drenado Cu. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.**



Fuente. Los autores.

Figura 6. Comparación porcentaje de error de la resistencia al corte no drenada Cu, ensayos in-situ Vs laboratorio. Sondeo: 1 – Muestras: 1-4.



Fuente. Los autores.

## 2.2 ENSAYOS IN SITU Y LABORATORIO REALIZADOS EN EL SONDEO: 1, MUESTRAS: 5-8.

### 2.2.1 Métodos del ensayo SPT.

Cuadro 14. Cálculos para encontrar el número de penetración estándar corregido N60. Sondeo: 1 – Muestra: 8.

| SONDEO: 1 - MUESTRA: 8                                      |        |
|---|--------|
| $N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_s * \eta_R}{60}$ |        |
| N = Numero de penetración medido.                           | 6      |
| $\eta_H$ = Eficiencia del martinete (%).                    | 45     |
| $\eta_B$ = Corrección por el diámetro de la perforación.    | 1      |
| $\eta_s$ = Corrección del muestreador.                      | 1      |
| $\eta_R$ = Corrección por longitud de la barra.             | 0,85   |
| N60 = Numero de penetración estándar corregido.             | 4      |
| Consistencia.   | BLANDA |

Fuente. Propia.

**Cuadro 15. Cálculos para encontrar el porcentaje de error entre el Cu del ensayo de compresión inconfiada y el Cu de cada una de las formulas del SPT. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

| SONDEO: 1 - MUESTRAS: 5-8 |     |                   |                    |            |                           |                          |                          |                         |
|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| METODO                    | N60 | ECUACION Cu       | UNIDADES           | RESULTADOS | Cu COMPRESION INCONFINADA |                          |                          | PORCENTAJE DE ERROR (%) |
|                           |     |                   |                    |            | ECUACION                  | qu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |
| Stroud SPT (1)            | 4   | $Cu = 4,5N_{60}$  | KN/m <sup>2</sup>  | 17,10      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 41,90                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,17       |                           |                          |                          |                         |
| Stroud SPT (2)            | 4   | $Cu = KN_{60}$    | KN/m <sup>2</sup>  | 16,72      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 43,19                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,17       |                           |                          |                          |                         |
| Decourt SPT               | 4   | $Cu = 10,5N_{60}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 39,90      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 35,58                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,41       |                           |                          |                          |                         |
| Otros SPT                 | 4   | $Cu = 29N^{0,72}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 75,83      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 157,66                  |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,77       |                           |                          |                          |                         |

Fuente. Los autores.

### 2.2.2 Método I.N.V. E – 170.

**Cuadro 16. Cálculos para encontrar la relación de área de la veleta (VA). Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

|                           | mm     | cm    | plg  |
|---------------------------|--------|-------|------|
| Diámetro de la veleta (D) | 50,80  | 5,08  | 2,00 |
| Radio de la veleta (R)    | 25,40  | 2,54  | 1,00 |
| Diámetro de la barra (d)  | 12,70  | 1,27  | 0,50 |
| Radio de la varilla (r)   | 6,35   | 0,64  | 0,25 |
| Altura (h)                | 101,60 | 10,16 | 4,00 |
| Espesor de las aspas      | 1,60   | 0,16  | 0,06 |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Relación de área de la veleta (VA).                |   |      |
| $VA = \frac{4(R - r)e + \pi r^2}{\pi * r^2} * 100$ | % | 12,3 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 17. Lectura del torquímetro en el ensayo de veleta (VA). Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

|                             |       |        |
|-----------------------------|-------|--------|
| Angulo de la veleta         | °     | 45,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*ft | 35,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*Kg | 15,86  |
| Lectura del torquímetro (T) | Kg*cm | 483,26 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 18. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método I.N.V. E – 170. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

| METODO: INVIAS (I.N.V. E - 170)   |                    |        |
|---|--------------------|--------|
| $Cu = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$ |                    |        |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,95   |
| Índice de plasticidad (IP).   | %                  | 53,10  |
| Factor empírico de corrección.<br>$\mu = 1,05 - 0,045 * IP^{0,5}$                             |                    | 0,72   |
| Cu corregido. $Cu = \mu * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,69   |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60   |
| Cu compresión inconfiada.   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30   |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$                             | %                  | 128,56 |

Fuente. Los autores.

### 2.2.3 Método Bjerrum VT

**Cuadro 19. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Bjerrum VT. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

| METODO: Bjerrum VT   |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 53,10   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$  |                    | 0,77    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1585,04 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,77    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 157,62  |

Fuente. Los autores.

## 2.2.4 Método Morris William VT (b)

Cuadro 20. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (b). Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.

| METODO: Morris William VT (b)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ).   | Lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 53,10   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$  |                    | 0,59    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1210,50 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,59    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada ( $q_u$ ).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{\epsilon_c - \epsilon_p}{\epsilon_p}\right  * 100$                               | %                  | 96,75   |

Fuente. Los autores.

### 2.2.4.1 Método Morris William VT (c)

**Cuadro 21. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (c). Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

| METODO: Morris William VT (c)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Limite liquido (LL).   | %                  | 74,70   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)} + 0,57$  |                    | 0,59    |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | lb/ft <sup>2</sup> | 1212,42 |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,59    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 97,06   |

Fuente. Los autores.

### 2.2.5 Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.

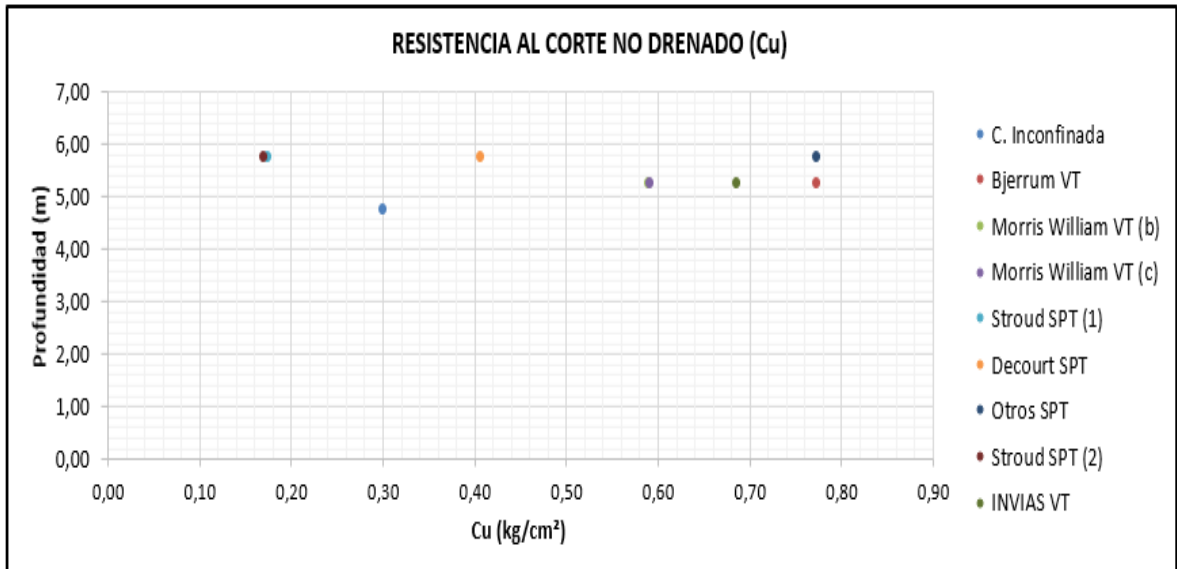
**Cuadro 22. Datos para graficar profundidad Vs resistencia al corte no drenada Cu. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**

| SONDEO: 1 - MUESTRAS: 5-8   |                 |      |              |                       |   |
|---|-----------------|------|--------------|-----------------------|---|
| ENSAYO  | PROFUNDIDAD (m) |      | PROMEDIO (m) | METODO                | RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu) Kg/Cm2 |
|   | De              | A    |              |                       |   |
| Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby (SH).  | 4,50            | 5,00 | 4,75         | Compresión Inconfiada | 0,30  |
| Ensayo de veleta de campo (VTA).                                    | 5,00            | 5,50 | 5,25         | Bjerrum VT            | 0,77  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (b) | 0,59  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (c) | 0,59  |
|   |                 |      |              | INVIAS VT             | 0,69  |
| Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra inalterada (SPT). | 5,50            | 6,00 | 5,75         | Stroud SPT (1)        | 0,17  |
|   |                 |      |              | Stroud SPT (2)        | 0,17  |
|   |                 |      |              | Decourt SPT           | 0,41  |
|   |                 |      |              | Otros SPT             | 0,77  |

Fuente. Los autores.

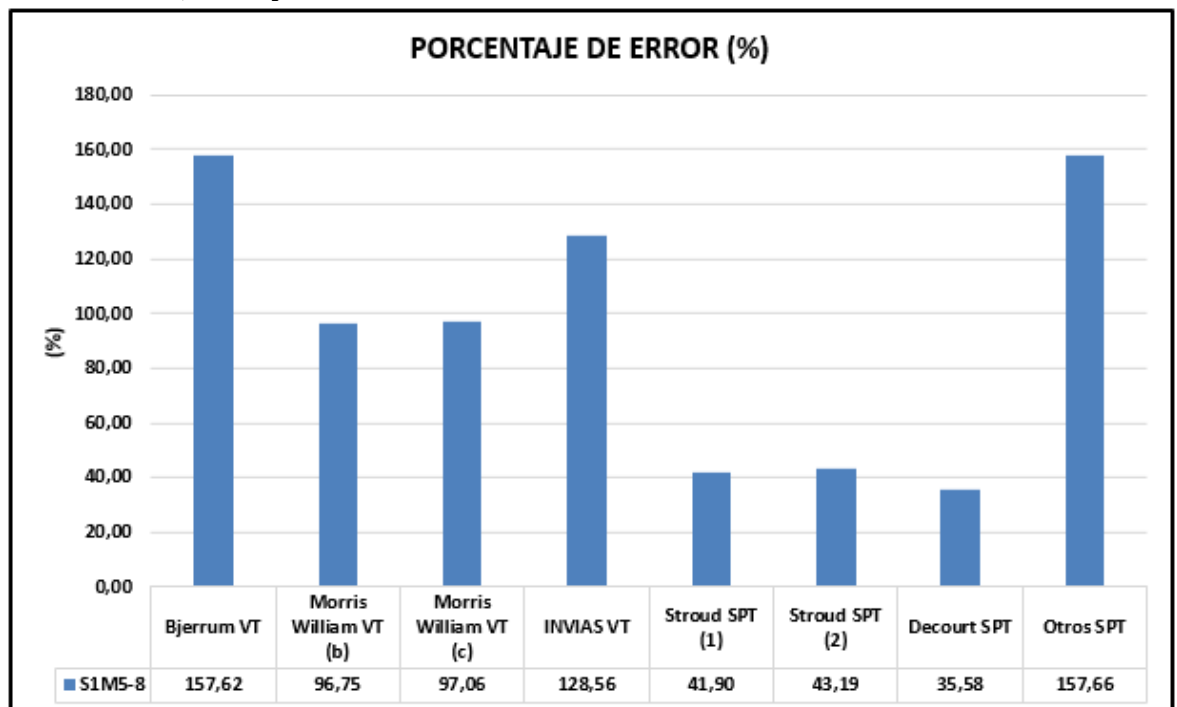


**Figura 7. Profundidad Vs Resistencia al corte no drenado Cu. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**



Fuente. Los autores.

**Figura 8. Comparación porcentaje de error de la resistencia al corte no drenada Cu, ensayos in-situ Vs laboratorio. Sondeo: 1 – Muestras: 5-8.**



Fuente. Los autores.

## 2.3 ENSAYOS IN SITU Y LABORATORIO REALIZADOS EN EL SONDEO: 2, MUESTRAS: 1-4.

### 2.3.1 Métodos del ensayo SPT.

**Cuadro 23. Cálculos para encontrar el número de penetración estándar corregido N60. Sondeo: 2 – Muestra: 4.**

| SONDEO: 2 - MUESTRA: 4                                      |        |
|---|--------|
| $N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_s * \eta_R}{60}$ |        |
| N = Numero de penetración medido.                           | 6      |
| $\eta_H$ = Eficiencia del martinete (%).                    | 45     |
| $\eta_B$ = Corrección por el diámetro de la perforación.    | 1      |
| $\eta_s$ = Corrección del muestreador.                      | 1      |
| $\eta_R$ = Corrección por longitud de la barra.             | 0,75   |
| N60 = Numero de penetración estándar corregido.             | 3      |
| Consistencia.   | BLANDA |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 24. Cálculos para encontrar el porcentaje de error entre el Cu del ensayo de compresión inconfiada y el Cu de cada una de las formulas del SPT. Sondeo: 2 – Muestra: 1-4.**

| SONDEO: 2 - MUESTRAS: 1-4 |     |                   |                    |            |                           |                          |                          |                         |
|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| METODO                    | N60 | ECUACION Cu       | UNIDADES           | RESULTADOS | Cu COMPRESION INCONFINADA |                          |                          | PORCENTAJE DE ERROR (%) |
|                           |     |                   |                    |            | ECUACION                  | qu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |
| Stroud SPT (1)            | 3   | $Cu = 4,5N_{60}$  | KN/m <sup>2</sup>  | 15,30      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 48,01                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,16       |                           |                          |                          |                         |
| Stroud SPT (2)            | 3   | $Cu = KN_{60}$    | KN/m <sup>2</sup>  | 14,96      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 49,17                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,15       |                           |                          |                          |                         |
| Decourt SPT               | 3   | $Cu = 10,5N_{60}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 35,70      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 21,30                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,36       |                           |                          |                          |                         |
| Otros SPT                 | 3   | $Cu = 29N^{0,72}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 69,99      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 137,83                  |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,71       |                           |                          |                          |                         |

Fuente. Los autores.

### 2.3.2 Método I.N.V. E – 170.

**Cuadro 25. Cálculos para encontrar la relación de área de la veleta (VA). Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

|                           | mm     | cm    | plg  |
|---------------------------|--------|-------|------|
| Diámetro de la veleta (D) | 50,80  | 5,08  | 2,00 |
| Radio de la veleta (R)    | 25,40  | 2,54  | 1,00 |
| Diámetro de la barra (d)  | 12,70  | 1,27  | 0,50 |
| Radio de la varilla (r)   | 6,35   | 0,64  | 0,25 |
| Altura (h)                | 101,60 | 10,16 | 4,00 |
| Espesor de las aspas      | 1,60   | 0,16  | 0,06 |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Relación de área de la veleta (VA).                | % | 12,3 |
| $VA = \frac{4(R - r)e + \pi r^2}{\pi * r^2} * 100$ |   |      |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 26. Lectura del torquímetro en el ensayo de veleta (VA). Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

|                             |       |        |
|-----------------------------|-------|--------|
| Angulo de la veleta         | °     | 45,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*ft | 20,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*Kg | 9,06   |
| Lectura del torquímetro (T) | Kg*cm | 276,15 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 27. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método I.N.V. E – 170. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

| METODO: INVIAS (I.N.V. E - 170)   |                    |       |
|---|--------------------|-------|
| $Cu = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$ |                    |       |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,54  |
| Índice de plasticidad (IP).   | %                  | 39,60 |
| Factor empírico de corrección.<br>$\mu = 1,05 - 0,045 * IP^{0,5}$                             |                    | 0,77  |
| Cu corregido. $Cu = \mu * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,42  |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60  |
| Cu compresión inconfiada.   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30  |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$                             | %                  | 38,70 |

Fuente. Los autores.

### 2.3.3 Método Bjerrum VT

**Cuadro 28. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Bjerrum VT. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Bjerrum VT   |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $Cu = \frac{T}{K}$   |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left( \frac{\pi}{1728} \right) * \left( \frac{D^2 * H}{2} \right) * \left( 1 + \frac{D}{3H} \right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | lb/ft <sup>2</sup> | 1178,66 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 39,60   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$  |                    | 0,84    |
| Cu corregido. $Cu = \lambda * Cu$  | lb/ft <sup>2</sup> | 986,82  |
| Cu corregido. $Cu = \lambda * Cu$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,48    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$  | %                  | 60,39   |

Fuente. Los autores.

### 2.3.4 Método Morris William VT (b)

Cuadro 29. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (b). Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.

| METODO: Morris William VT (b)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 20,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ).   | Lb/ft <sup>2</sup> | 1178,66 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 39,60   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$  |                    | 0,62    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 730,37  |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,36    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada ( $q_u$ ).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 18,71   |

Fuente. Los autores.

### 2.3.4.1 Método Morris William VT (c)

**Cuadro 30. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (c). Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Morris William VT (c)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $Cu = \frac{T}{K}$   |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 20,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 1178,66 |
| Limite liquido (LL).   | %                  | 63,40   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)} + 0,57$  |                    | 0,61    |
| Cu corregido.<br>$Cu = \lambda * Cu$   | lb/ft <sup>2</sup> | 723,64  |
| Cu corregido.<br>$Cu = \lambda * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,35    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{\epsilon_c - \epsilon_p}{\epsilon_p} \right  * 100$                             | %                  | 17,62   |

Fuente. Los autores.

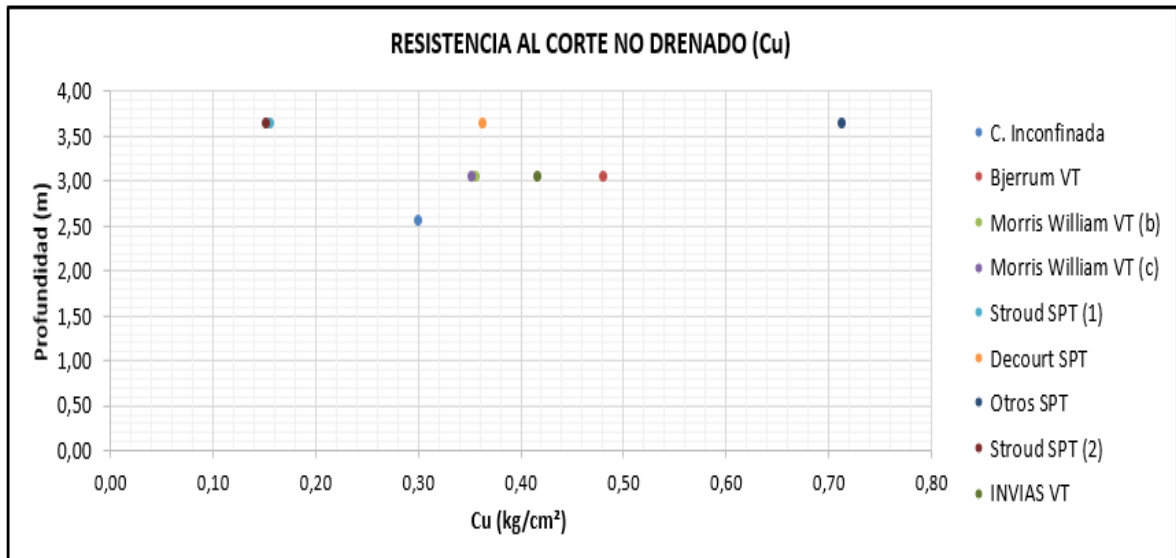
**2.3.5 Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

**Cuadro 31. Datos para graficar profundidad Vs resistencia al corte no drenada Cu. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**

| SONDEO: 2 - MUESTRAS: 1-4   |                 |      |              |                        |   |
|---|-----------------|------|--------------|------------------------|---|
| ENSAYO  | PROFUNDIDAD (m) |      | PROMEDIO (m) | METODO                 | RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu) Kg/Cm2 |
|   | De              | A    |              |                        |   |
| Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby (SH).  | 2,30            | 2,80 | 2,55         | Compresión Inconfinada | 0,30  |
| Ensayo de veleta de campo (VTA).                                    | 2,80            | 3,30 | 3,05         | Bjerrum VT             | 0,48  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (b)  | 0,36  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (c)  | 0,35  |
|   |                 |      |              | INVIAS VT              | 0,42  |
| Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra inalterada (SPT). | 3,40            | 3,90 | 3,65         | Stroud SPT (1)         | 0,16  |
|   |                 |      |              | Stroud SPT (2)         | 0,15  |
|   |                 |      |              | Decourt SPT            | 0,36  |
|   |                 |      |              | Otros SPT              | 0,71  |

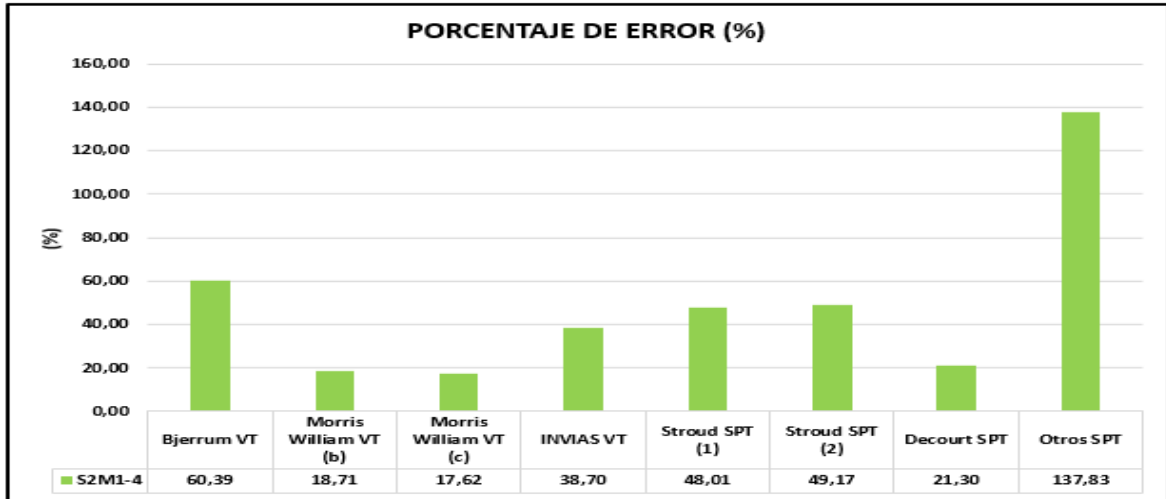
Fuente. Los autores.

**Figura 9. Profundidad Vs Resistencia al corte no drenado Cu. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.**



Fuente. Los autores.

Figura 10. Comparación porcentaje de error de la resistencia al corte no drenada Cu, ensayos in-situ Vs laboratorio. Sondeo: 2 – Muestras: 1-4.



Fuente. Los autores.

## 2.4 ENSAYOS IN SITU Y LABORATORIO REALIZADOS EN EL SONDEO: 2, MUESTRAS: 5-8.

### 2.4.1 Métodos del ensayo SPT.

Cuadro 32. Cálculos para encontrar el número de penetración estándar corregido N60. Sondeo: 2 – Muestra: 8.

| SONDEO: 2 - MUESTRA: 8                                      |        |
|---|--------|
| $N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_s * \eta_R}{60}$ |        |
| N = Numero de penetración medido.                           | 4      |
| $\eta_H$ = Eficiencia del martinete (%).                    | 45     |
| $\eta_B$ = Corrección por el diámetro de la perforación.    | 1      |
| $\eta_s$ = Corrección del muestreador.                      | 1      |
| $\eta_R$ = Corrección por longitud de la barra.             | 0,85   |
| N60 = Numero de penetración estándar corregido.             | 3      |
| Consistencia.   | BLANDA |

Fuente. Los autores.



**Cuadro 33. Cálculos para encontrar el porcentaje de error entre el Cu del ensayo de compresión inconfiada y el Cu de cada una de las formulas del SPT. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

| SONDEO: 2 - MUESTRAS: 5-8 |     |                   |                    |            |                           |                          |                          |                         |
|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| METODO                    | N60 | ECUACION Cu       | UNIDADES           | RESULTADOS | Cu COMPRESION INCONFINADA |                          |                          | PORCENTAJE DE ERROR (%) |
|                           |     |                   |                    |            | ECUACION                  | qu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |
| Stroud SPT (1)            | 3   | $Cu = 4,5N_{60}$  | KN/m <sup>2</sup>  | 11,70      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 62,73                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,12       |                           |                          |                          |                         |
| Stroud SPT (2)            | 3   | $Cu = KN_{60}$    | KN/m <sup>2</sup>  | 11,44      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 63,56                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,12       |                           |                          |                          |                         |
| Decourt SPT               | 3   | $Cu = 10,5N_{60}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 27,30      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 13,04                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,28       |                           |                          |                          |                         |
| Otros SPT                 | 3   | $Cu = 29N^{0,72}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 57,70      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 83,81                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,59       |                           |                          |                          |                         |

Fuente. Los autores.

#### 2.4.2 Método I.N.V. E – 170.

**Cuadro 34. Cálculos para encontrar la relación de área de la veleta (VA). Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

|                           | mm     | cm    | plg  |
|---------------------------|--------|-------|------|
| Diámetro de la veleta (D) | 50,80  | 5,08  | 2,00 |
| Radio de la veleta (R)    | 25,40  | 2,54  | 1,00 |
| Diámetro de la barra (d)  | 12,70  | 1,27  | 0,50 |
| Radio de la varilla (r)   | 6,35   | 0,64  | 0,25 |
| Altura (h)                | 101,60 | 10,16 | 4,00 |
| Espesor de las aspas      | 1,60   | 0,16  | 0,06 |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Relación de área de la veleta (VA).                | % | 12,3 |
| $VA = \frac{4(R - r)e + \pi r^2}{\pi * r^2} * 100$ |   |      |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 35. Lectura del torquímetro en el ensayo de veleta (VA). Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

|                             |       |        |
|-----------------------------|-------|--------|
| Angulo de la veleta         | °     | 45,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*ft | 30,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*Kg | 13,59  |
| Lectura del torquímetro (T) | Kg*cm | 414,22 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 36. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método I.N.V. E – 170. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

| METODO: INVIAS (I.N.V. E - 170)   |                    |       |
|---|--------------------|-------|
| $Cu = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$ |                    |       |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,81  |
| Índice de plasticidad (IP).   | %                  | 59,90 |
| Factor empírico de corrección.<br>$\mu = 1,05 - 0,045 * IP^{0,5}$                             |                    | 0,70  |
| Cu corregido. $Cu = \mu * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,57  |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64  |
| Cu compresión inconfiada.   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32  |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{\sigma_c - \sigma_p}{\sigma_p} \right  * 100$              | %                  | 78,48 |

Fuente. Los autores.

### 2.4.3 Método Bjerrum VT

**Cuadro 37. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Bjerrum VT. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

| METODO: Bjerrum VT   |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | lb/ft <sup>2</sup> | 1767,98 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 59,90   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$  |                    | 0,74    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1308,64 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{\epsilon_c - \epsilon_p}{\epsilon_p} \right  * 100$                             | %                  | 99,41   |

Fuente. Los autores.

#### 2.4.4 Método Morris William VT (b)

Cuadro 38. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (b). Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.

| METODO: Morris William VT (b)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 30,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ).   | Lb/ft <sup>2</sup> | 1767,98 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 59,90   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$  |                    | 0,58    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1025,06 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,50    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada ( $q_u$ ).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 56,19   |

Fuente. Los autores.

### 2.4.4.1 Método Morris William VT (c)

**Cuadro 39. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (c). Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

| METODO: Morris William VT (c)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 30,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 1767,98 |
| Limite líquido (LL).   | %                  | 82,30   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)} + 0,57$  |                    | 0,58    |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | lb/ft <sup>2</sup> | 1024,88 |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,50    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$  | %                  | 56,17   |

Fuente. Los autores.

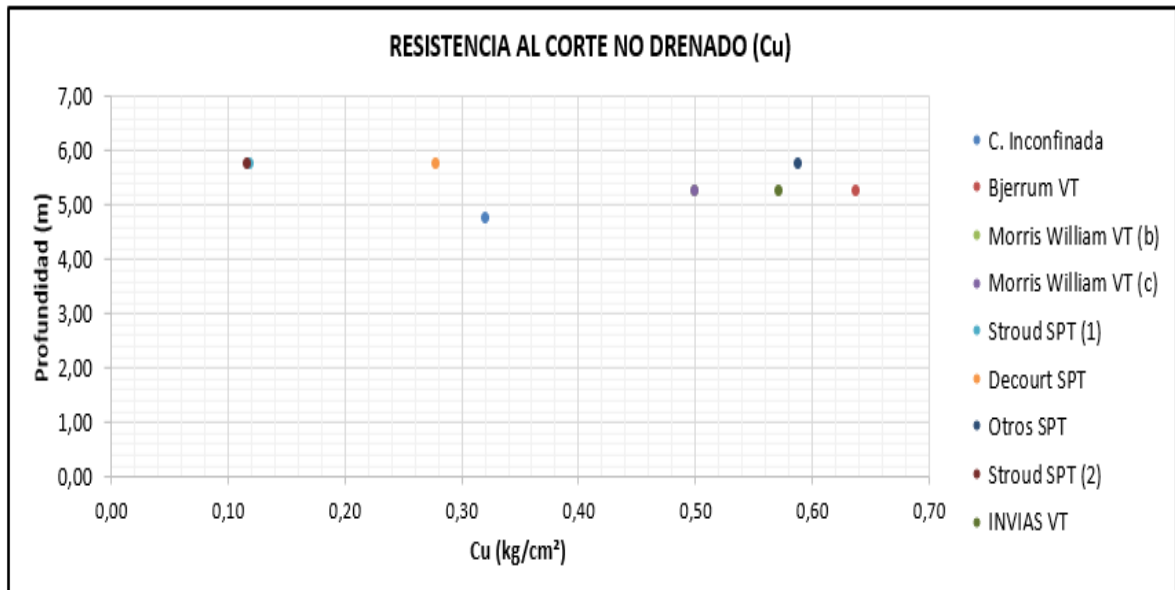
**2.4.5 Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

**Cuadro 40. Datos para graficar profundidad Vs resistencia al corte no drenada Cu. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**

| SONDEO: 2 - MUESTRAS: 5-8   |                 |      |              |                        |   |
|---|-----------------|------|--------------|------------------------|---|
| ENSAYO  | PROFUNDIDAD (m) |      | PROMEDIO (m) | METODO                 | RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu) Kg/Cm2 |
|   | De              | A    |              |                        |   |
| Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby (SH).  | 4,50            | 5,00 | 4,75         | Compresión Inconfinada | 0,32  |
| Ensayo de veleta de campo (VTA).                                    | 5,00            | 5,50 | 5,25         | Bjerrum VT             | 0,64  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (b)  | 0,50  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (c)  | 0,50  |
|   |                 |      |              | INVIAS VT              | 0,57  |
| Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra inalterada (SPT). | 5,50            | 6,00 | 5,75         | Stroud SPT (1)         | 0,12  |
|   |                 |      |              | Stroud SPT (2)         | 0,12  |
|   |                 |      |              | Decourt SPT            | 0,28  |
|   |                 |      |              | Otros SPT              | 0,59  |

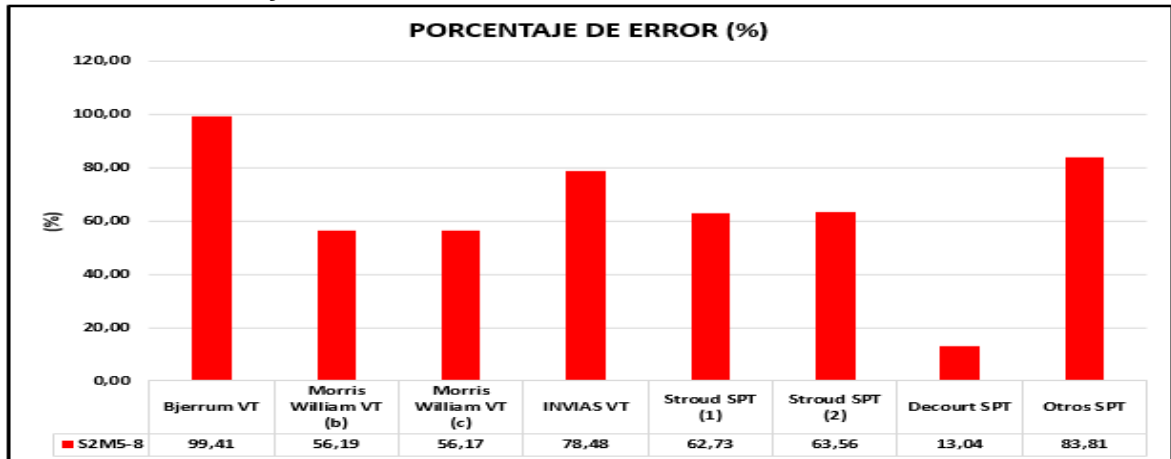
Fuente. Los autores.

**Figura 11. Profundidad Vs Resistencia al corte no drenado Cu. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.**



Fuente. Los autores.

Figura 12. Comparación porcentaje de error de la resistencia al corte no drenada Cu, ensayos in-situ Vs laboratorio. Sondeo: 2 – Muestras: 5-8.



Fuente. Los autores.

## 2.5 ENSAYOS IN SITU Y LABORATORIO REALIZADOS EN EL SONDEO: 3, MUESTRAS: 1-4.

### 2.5.1 Métodos del ensayo SPT.

Cuadro 41. Cálculos para encontrar el número de penetración estándar corregido N60. Sondeo: 3 – Muestra: 4.

| SONDEO: 3 - MUESTRA: 4                                      |        |
|---|--------|
| $N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_s * \eta_R}{60}$ |        |
| N = Numero de penetración medido.                           | 6      |
| $\eta_H$ = Eficiencia del martinete (%).                    | 45     |
| $\eta_B$ = Corrección por el diámetro de la perforación.    | 1      |
| $\eta_s$ = Corrección del muestreador.                      | 1      |
| $\eta_R$ = Corrección por longitud de la barra.             | 0,75   |
| N60 = Numero de penetración estándar corregido.             | 3      |
| Consistencia.   | BLANDA |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 42. Cálculos para encontrar el porcentaje de error, entre el Cu del ensayo de compresión inconfiada y el Cu de cada una de las formulas del SPT. Sondeo: 3 – Muestra: 1-4.**

| SONDEO: 3 - MUESTRAS: 1-4 |     |                   |                    |            |                           |                          |                          |                         |
|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| METODO                    | N60 | ECUACION Cu       | UNIDADES           | RESULTADOS | Cu COMPRESION INCONFINADA |                          |                          | PORCENTAJE DE ERROR (%) |
|                           |     |                   |                    |            | ECUACION                  | qu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |
| Stroud SPT (1)            | 3   | $Cu = 4,5N_{60}$  | KN/m <sup>2</sup>  | 15,30      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 48,01                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,16       |                           |                          |                          |                         |
| Stroud SPT (2)            | 3   | $Cu = KN_{60}$    | KN/m <sup>2</sup>  | 14,96      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 49,17                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,15       |                           |                          |                          |                         |
| Decourt SPT               | 3   | $Cu = 10,5N_{60}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 35,70      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 21,30                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,36       |                           |                          |                          |                         |
| Otros SPT                 | 3   | $Cu = 29N^{0,72}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 69,99      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,60                     | 0,30                     | 137,83                  |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,71       |                           |                          |                          |                         |

Fuente. Los autores.

### 2.5.2 Método I.N.V. E – 170.

**Cuadro 43. Cálculos para encontrar la relación de área de la veleta (VA). Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

|                           | mm     | cm    | plg  |
|---------------------------|--------|-------|------|
| Diámetro de la veleta (D) | 50,80  | 5,08  | 2,00 |
| Radio de la veleta (R)    | 25,40  | 2,54  | 1,00 |
| Diámetro de la barra (d)  | 12,70  | 1,27  | 0,50 |
| Radio de la varilla (r)   | 6,35   | 0,64  | 0,25 |
| Altura (h)                | 101,60 | 10,16 | 4,00 |
| Espesor de las aspas      | 1,60   | 0,16  | 0,06 |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Relación de área de la veleta (VA).                | % | 12,3 |
| $VA = \frac{4(R - r)e + \pi r^2}{\pi * r^2} * 100$ |   |      |

Fuente. Los autores.



**Cuadro 44. Lectura del torquímetro en el ensayo de veleta (VA). Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

|                             |       |        |
|-----------------------------|-------|--------|
| Angulo de la veleta         | °     | 45,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*ft | 20,00  |
| Lectura del torquímetro (T) | Lb*Kg | 9,06   |
| Lectura del torquímetro (T) | Kg*cm | 276,15 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 45. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método I.N.V. E – 170. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

| METODO: INVIAS (I.N.V. E - 170)   |                    |       |
|---|--------------------|-------|
| $Cu = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$ |                    |       |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,54  |
| Índice de plasticidad (IP).   | %                  | 32,30 |
| Factor empírico de corrección.<br>$\mu = 1,05 - 0,045 * IP^{0,5}$                             |                    | 0,79  |
| Cu corregido. $Cu = \mu * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,43  |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60  |
| Cu compresión inconfiada.   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30  |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$                             | %                  | 43,66 |

Fuente. Los autores.

### 2.5.3 Método Bjerrum VT

**Cuadro 46. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Bjerrum VT. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Bjerrum VT   |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | lb/ft <sup>2</sup> | 1178,66 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 32,30   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$  |                    | 0,89    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1043,15 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,51    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$  | %                  | 69,55   |

Fuente. Los autores.

### 2.5.4 Método Morris William VT (b)

**Cuadro 47. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (b). Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Morris William VT (b)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 20,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 1178,66 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 32,30   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$  |                    | 0,66    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 776,80  |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,38    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 26,26   |

Fuente. Los autores.

### 2.5.4.1 Método Morris William VT (c)

**Cuadro 48. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (c). Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

| METODO: Morris William VT (c)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 20,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 1178,66 |
| Limite líquido (LL).   | %                  | 53,80   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)} + 0,57$  |                    | 0,66    |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | lb/ft <sup>2</sup> | 783,49  |
| Cu corregido.<br>$C_u = \lambda * C_u$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,38    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,60    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,30    |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$  | %                  | 27,35   |

Fuente. Los autores.

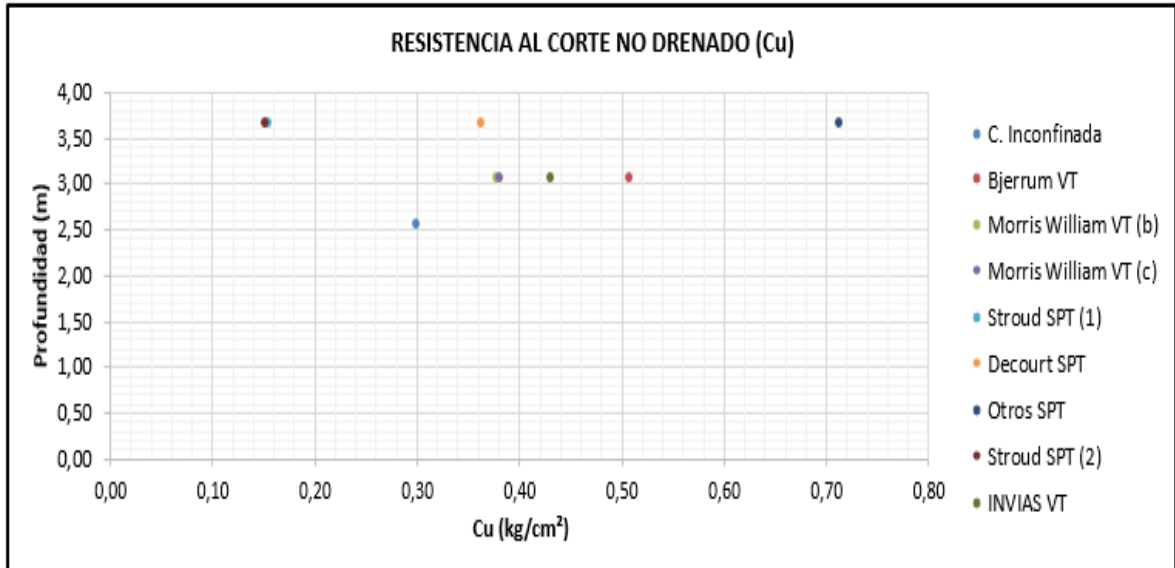
**2.5.5 Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

**Cuadro 49. Datos para graficar profundidad Vs resistencia al corte no drenada Cu. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**

| SONDEO: 3 - MUESTRAS: 1-4   |                 |      |              |                        |   |
|---|-----------------|------|--------------|------------------------|---|
| ENSAYO  | PROFUNDIDAD (m) |      | PROMEDIO (m) | METODO                 | RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu) Kg/Cm2 |
|   | De              | A    |              |                        |   |
| Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby (SH).  | 2,30            | 2,80 | 2,55         | Compresión Inconfinada | 0,30  |
| Ensayo de veleta de campo (VTA).                                    | 2,80            | 3,30 | 3,05         | Bjerrum VT             | 0,51  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (b)  | 0,38  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (c)  | 0,38  |
|   |                 |      |              | INVIAS VT              | 0,43  |
| Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra inalterada (SPT). | 3,40            | 3,90 | 3,65         | Stroud SPT (1)         | 0,16  |
|   |                 |      |              | Stroud SPT (2)         | 0,15  |
|   |                 |      |              | Decourt SPT            | 0,36  |
|   |                 |      |              | Otros SPT              | 0,71  |

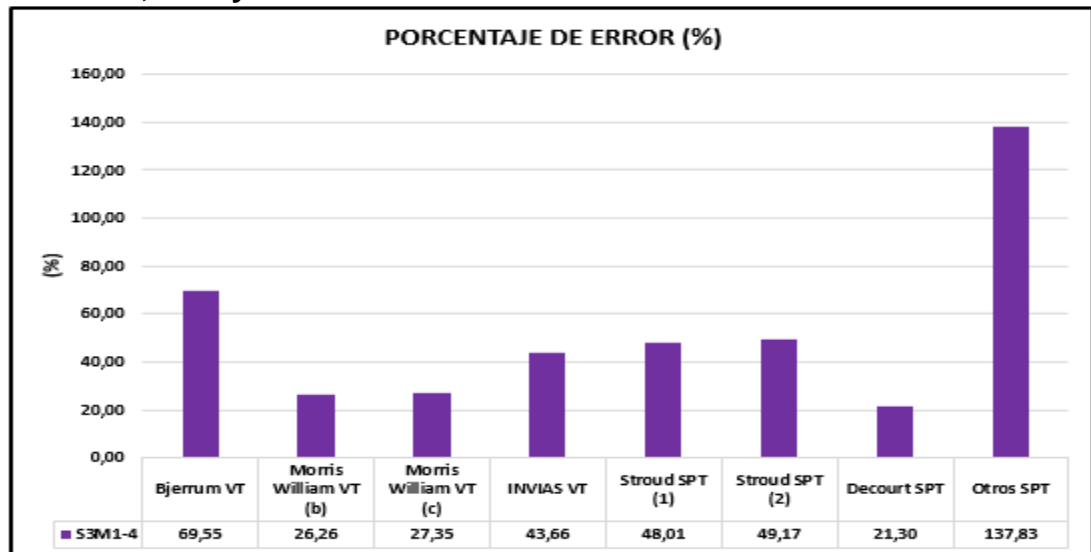
Fuente. Los autores.

**Figura 13. Profundidad Vs Resistencia al corte no drenado Cu. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.**



Fuente. Los autores.

Figura 14. Comparación porcentaje de error de la resistencia al corte no drenada Cu, ensayos in-situ Vs laboratorio. Sondeo: 3 – Muestras: 1-4.



Fuente. Los autores.

## 2.6 ENSAYOS IN SITU Y LABORATORIO REALIZADOS EN EL SONDEO: 2, MUESTRAS: 5-8.

### 2.6.1 Métodos del ensayo SPT.

Cuadro 50. Cálculos para encontrar el número de penetración estándar corregido N60. Sondeo: 3 – Muestra: 8.

| SONDEO: 3 - MUESTRA: 8                                      |        |
|---|--------|
| $N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_s * \eta_R}{60}$ |        |
| N = Numero de penetración medido.                           | 5      |
| $\eta_H$ = Eficiencia del martinete (%).                    | 45     |
| $\eta_B$ = Corrección por el diámetro de la perforación.    | 1      |
| $\eta_s$ = Corrección del muestreador.                      | 1      |
| $\eta_R$ = Corrección por longitud de la barra.             | 0,85   |
| N60 = Numero de penetración estándar corregido.             | 3      |
| Consistencia.   | BLANDA |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 51. Cálculos para encontrar el porcentaje de error, entre el Cu del ensayo de compresión inconfiada y el Cu de cada una de las formulas del SPT. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

| SONDEO: 3 - MUESTRAS: 5-8 |     |                   |                    |            |                           |                          |                          |                         |
|---------------------------|-----|-------------------|--------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| METODO                    | N60 | ECUACION Cu       | UNIDADES           | RESULTADOS | Cu COMPRESION INCONFINADA |                          |                          | PORCENTAJE DE ERROR (%) |
|                           |     |                   |                    |            | ECUACION                  | qu (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |                         |
| Stroud SPT (1)            | 3   | $Cu = 4,5N_{60}$  | KN/m <sup>2</sup>  | 14,40      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 54,13                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,15       |                           |                          |                          |                         |
| Stroud SPT (2)            | 3   | $Cu = KN_{60}$    | KN/m <sup>2</sup>  | 14,08      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 55,15                   |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,14       |                           |                          |                          |                         |
| Decourt SPT               | 3   | $Cu = 10,5N_{60}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 33,60      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 7,03                    |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,34       |                           |                          |                          |                         |
| Otros SPT                 | 3   | $Cu = 29N^{0,72}$ | KN/m <sup>2</sup>  | 67,00      | $Cu = \frac{qu}{2}$       | 0,64                     | 0,32                     | 113,45                  |
|                           |     |                   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,68       |                           |                          |                          |                         |

Fuente. Los autores.

### 2.6.2 Método I.N.V. E – 170.

**Cuadro 52. Cálculos para encontrar la relación de área de la veleta (VA). Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

|                           | mm     | cm    | plg  |
|---------------------------|--------|-------|------|
| Diámetro de la veleta (D) | 50,80  | 5,08  | 2,00 |
| Radio de la veleta (R)    | 25,40  | 2,54  | 1,00 |
| Diámetro de la barra (d)  | 12,70  | 1,27  | 0,50 |
| Radio de la varilla (r)   | 6,35   | 0,64  | 0,25 |
| Altura (h)                | 101,60 | 10,16 | 4,00 |
| Espesor de las aspas      | 1,60   | 0,16  | 0,06 |

|  |   |      |
|--|---|------|
| Relación de área de la veleta (VA).                | % | 12,3 |
| $VA = \frac{4(R - r)e + \pi r^2}{\pi * r^2} * 100$ |   |      |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 53. Lectura del torquimetro en el ensayo de veleta (VA). Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

|                             |       |        |
|-----------------------------|-------|--------|
| Angulo de la veleta         | °     | 45,00  |
| Lectura del torquimetro (T) | Lb*ft | 35,00  |
| Lectura del torquimetro (T) | Lb*Kg | 15,86  |
| Lectura del torquimetro (T) | Kg*cm | 483,26 |

Fuente. Los autores.

**Cuadro 54. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método I.N.V. E – 170. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

| METODO: INVIAS (I.N.V. E - 170)   |                    |        |
|---|--------------------|--------|
| $Cu = \frac{12 * T}{\pi * D^2 \left( \frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)}$ |                    |        |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,95   |
| Índice de plasticidad (IP).   | %                  | 57,70  |
| Factor empírico de corrección.<br>$\mu = 1,05 - 0,045 * IP^{0,5}$                             |                    | 0,71   |
| Cu corregido. $Cu = \mu * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,67   |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64   |
| Cu compresión inconfiada.   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32   |
| Porcentaje de error. $\left  \frac{e_c - e_p}{e_p} \right  * 100$                             | %                  | 110,14 |

Fuente. Los autores.



### 2.6.3 Método Bjerrum VT

**Cuadro 55. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Bjerrum VT. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

| METODO: Bjerrum VT   |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 57,70   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,7 - 0,54 \text{Log}[IP (\%)]$  |                    | 0,75    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1544,85 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,75    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 135,40  |

Fuente. Los autores.

## 2.6.4 Método Morris William VT (b)

Cuadro 56. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (b). Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.

| METODO: Morris William VT (b)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $C_u = \frac{T}{K}$  |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ).   | Lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Índice de plasticidad (IP).  | %                  | 57,70   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 1,18e^{-0,08(IP)} + 0,57$  |                    | 0,58    |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | lb/ft <sup>2</sup> | 1199,79 |
| Cu corregido. $C_u = \lambda * C_u$  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,59    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada ( $q_u$ ).  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{e_c - e_p}{e_p}\right  * 100$  | %                  | 82,82   |

Fuente. Los autores.

### 2.6.4.1 Método Morris William VT (c)

**Cuadro 57. Cálculos para encontrar la resistencia al corte no drenada (Cu) y el porcentaje de error. Método Morris William VT (c). Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

| METODO: Morris William VT (c)  |                    |         |
|--|--------------------|---------|
| $Cu = \frac{T}{K}$   |                    |         |
| Momento de torsion maximo (T).   | Lb*ft              | 35,00   |
| Constante.<br>$K = \left(\frac{\pi}{1728}\right) * \left(\frac{D^2 * H}{2}\right) * \left(1 + \frac{D}{3H}\right)$ | in <sup>3</sup>    | 0,02    |
| Resistencia al corte no drenada (Cu).  | Lb/ft <sup>2</sup> | 2062,65 |
| Limite liquido (LL).   | %                  | 79,40   |
| Factor de corrección.<br>$\lambda = 7,01e^{-0,08(LL)} + 0,57$  |                    | 0,58    |
| Cu corregido.<br>$Cu = \lambda * Cu$   | lb/ft <sup>2</sup> | 1200,92 |
| Cu corregido.<br>$Cu = \lambda * Cu$   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,59    |
| Carga ultima ensayo de compresión inconfiada (qu).   | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,64    |
| Cu compresión inconfiada.  | Kg/cm <sup>2</sup> | 0,32    |
| Porcentaje de error. $\left \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_p}{\varepsilon_p}\right  * 100$                      | %                  | 82,99   |

Fuente. Los autores.

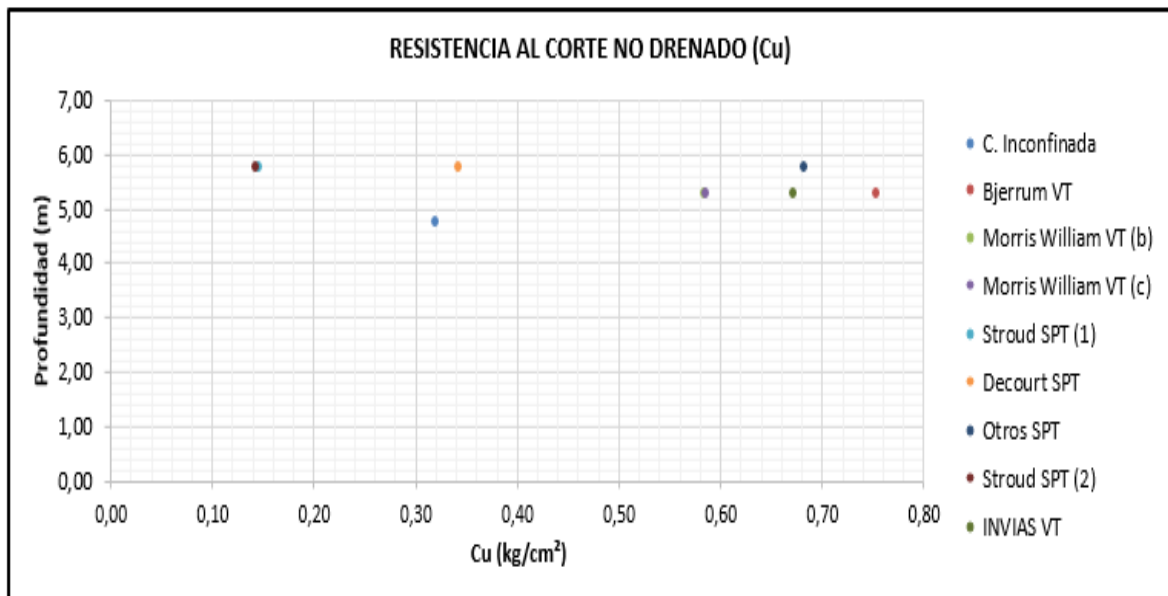
**2.6.5 Resumen de resistencia al corte no drenado (Cu) y porcentaje de error de los ensayos in-situ Vs ensayos de laboratorio. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

**Cuadro 58. Datos para graficar profundidad Vs resistencia al corte no drenada Cu. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**

| SONDEO: 3 - MUESTRAS: 5-8   |                 |      |              |                        |   |
|---|-----------------|------|--------------|------------------------|---|
| ENSAYO  | PROFUNDIDAD (m) |      | PROMEDIO (m) | METODO                 | RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu) Kg/Cm2 |
|   | De              | A    |              |                        |   |
| Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby (SH).  | 4,50            | 5,00 | 4,75         | Compresión Inconfinada | 0,32  |
| Ensayo de veleta de campo (VTA).                                    | 5,00            | 5,50 | 5,25         | Bjerrum VT             | 0,75  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (b)  | 0,59  |
|   |                 |      |              | Morris William VT (c)  | 0,59  |
|   |                 |      |              | INVIAS VT              | 0,67  |
| Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra inalterada (SPT). | 5,50            | 6,00 | 5,75         | Stroud SPT (1)         | 0,15  |
|   |                 |      |              | Stroud SPT (2)         | 0,14  |
|   |                 |      |              | Decourt SPT            | 0,34  |
|   |                 |      |              | Otros SPT              | 0,68  |

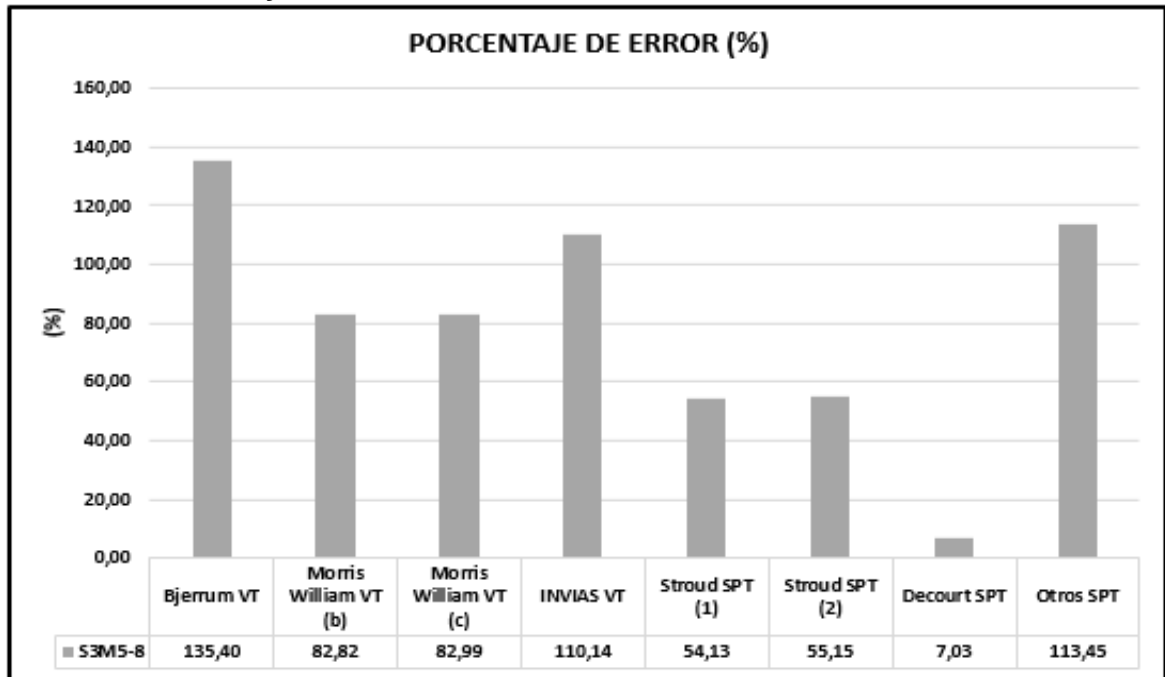
Fuente. Los autores.

**Figura 15. Profundidad Vs Resistencia al corte no drenado Cu. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**



Fuente. Los autores.

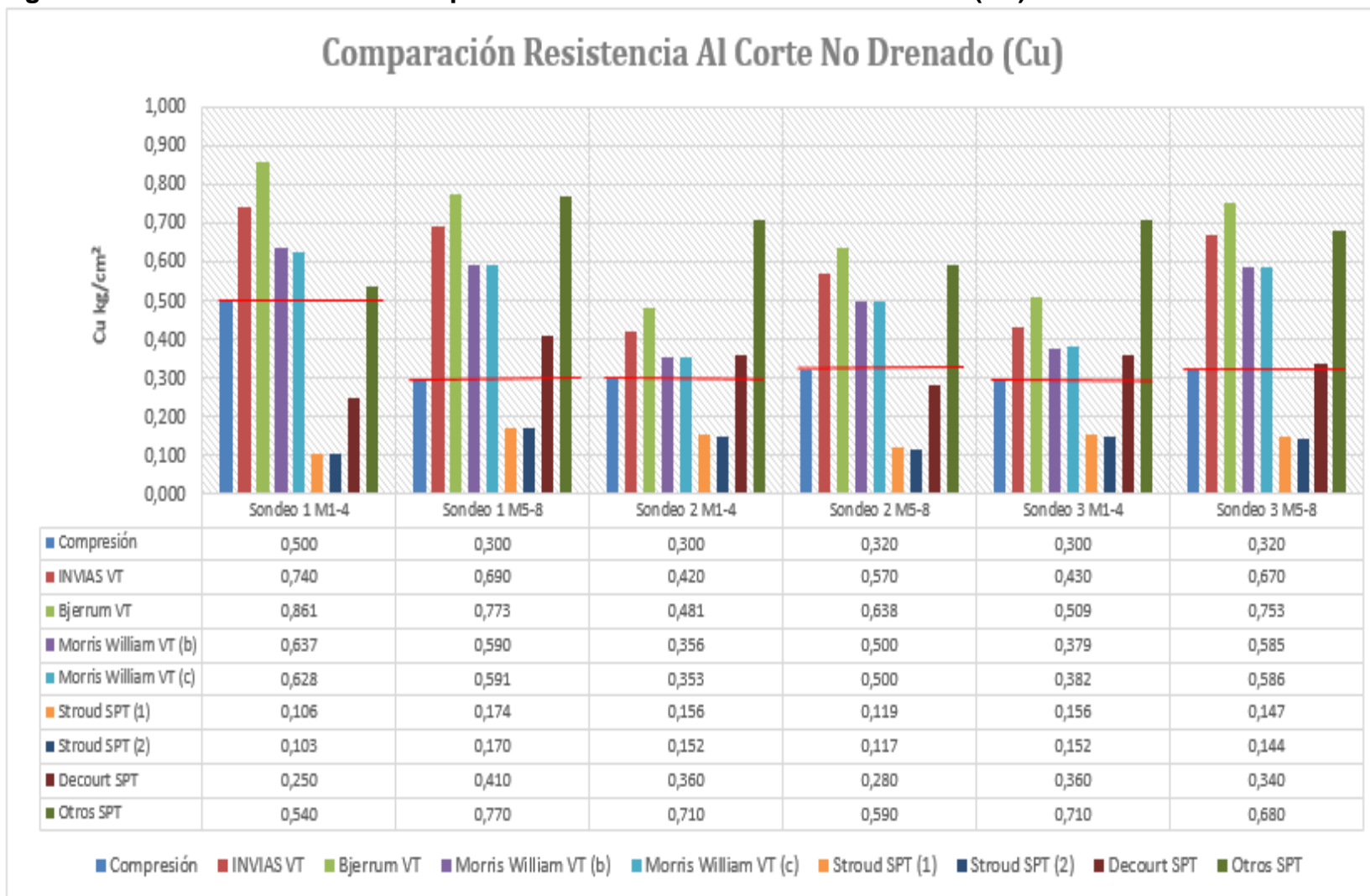
**Figura 16. Comparación porcentaje de error de la resistencia al corte no drenada Cu, ensayos in-situ Vs laboratorio. Sondeo: 3 – Muestras: 5-8.**



Fuente. Los autores.

## 2.7 GRAFICO RESUMEN DE COMPARACION RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Cu).

Figura 17. Grafico resumen de comparación resistencia al corte no drenado (Cu).



Fuente. Los autores.

### **3 ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1 ANALISIS POR SONDEOS.**

##### **3.1.1 Sondeo 1, Muestras: 1-4.**

En la figura 5, se observa que los valores más conservadores a la resistencia al corte no drenado son los arrojados por las ecuaciones formuladas por Stroud y Decourt utilizando el equipo de SPT. Se observa también en la misma que los valores arrojados por las ecuaciones planteadas por Bjerrum y Morris William, son los que menos se aproximan al valor obtenido a través del ensayo de compresión incofinada. En la figura 6, correspondiente al Sondeo: 1 Muestras: 1-4, se puede apreciar que el valor más cercano al valor de la resistencia al corte no drenado de la compresión incofinada es la ecuación de otros investigadores, la cual se calculó con los datos arrojados a través de SPT que tiene un margen de error de 7,70%.

##### **3.1.2 Sondeo 1, Muestras: 5-8.**

En la figura 8, se observa que los valores arrojados por la ecuación de Stroud siguen estando por debajo del valor comparado (compresión incofinada) con un 41,90%. También se puede observar en la figura que las ecuaciones de Bjerrum y otros investigadores tienen un margen de error muy alto que supera el 100%. En cuanto al análisis del estrato de suelo comprendido entre los 4,50 a 6,00 metros de profundidad; los resultados que arrojaron las ecuaciones aplicadas difieren bastante del resultado arrojado por el ensayo de compresión incofinada. La ecuación cuyo resultado tiene un margen de error menor, con relación al resultado arrojado por el ensayo de compresión incofinada, es la de Decourt, con un 35,58%.

##### **3.1.3 Sondeo 2, Muestras: 1-4.**

En la figura 10, se muestra como la ecuación de Stroud SPT (1), continúa siendo inferior al valor comparado (compresión Incofinada) del 48,01% de error. La ecuación con un mayor porcentaje de error (137,83%) es la ecuación de otros investigadores; la ecuación con menor porcentaje de error es la de Morris William método (c), (17,62%.)

##### **3.1.4 Sondeo 2, Muestras: 5-8.**

En la figura 12, se muestra que la ecuación Bjerrum presenta porcentaje de error alto: 99,41%. Las ecuaciones de Stroud muestran también una tendencia conservadora con un porcentaje de error que oscila entre el 62,73% y el 63,56%. La ecuación con menor porcentaje de error es la de Decourt: 3,04%.

### **3.1.5 Sondeo 3, Muestras: 1-4.**

En la figura 14, se observa que las ecuaciones continúan por debajo del valor comparado, con un porcentaje de error de 48,01% a 49,17%. La ecuación con porcentaje alto de error más alto es la de otros investigadores: 137,83%. La ecuación con menor porcentaje de error es la de Decourt: 21,30%.

### **3.1.6 Sondeo 3, Muestras: 5-8.**

En la figura 16, se puede observar que las ecuaciones de Stroud continúan teniendo un comportamiento conservador y por debajo del valor patrón, con un porcentaje entre el 54,13% y el 55,15%. La ecuación que presenta el mayor porcentaje de error es la de Bjerrum: 135,40%; y la ecuación con un porcentaje de error menor es la ecuación de Decourt: 7,03%.

## **3.2 ANALISIS GENERAL**

Se aplicaron diferentes ecuaciones para encontrar la resistencia al corte no drenado, usando los métodos más usados in situ y para la exploración del subsuelo: el ensayo de veleta y SPT. En el sitio se realizó un muestreo continuo, procurando que el suelo ensayado presentara las mismas características.

Los datos obtenidos en campo fueron comparados con el valor arrojado por el ensayo de compresión inconfiada; luego se procedió a graficar cada muestreo por separado para así observar el comportamiento de cada ecuación. El valor más cercano obtenido con el equipo de SPT es el de otros investigadores, con un porcentaje de error del 7,70%. El valor con menos porcentaje de error obtenido con el ensayo de veleta fue el arrojado por la ecuación Morris William (c): 25,52%. La ecuación que arrojó un porcentaje de error más alto fue la de Stroud SPT (2) con 79,37% (ver figura 6).

El siguiente estrato del mismo sondeo que va de 4,50 m a 6,00 m de profundidad; presenta una variación importante de la resistencia al corte no drenado con respecto al estrato anterior. Se observa que el método de otros investigadores SPT presenta un mayor porcentaje de error: 157,66 % y la ecuación de Morris William (c) con un 97,06%. En este tramo, la ecuación que presenta menor porcentaje de error es la de Decourt SPT con un 35,58%. El ensayo de veleta con un menor porcentaje de error fue el de Morris William (b) con un 96,75% (ver figura 8).

En el sondeo 2, a diferencia del sondeo anterior, los ensayos de veleta presentaron el menor porcentaje de error; mientras que el método de otros investigadores SPT, presentó el mayor. La ecuación de Morris William VT (c) presenta un porcentaje de error menor (17,62%) así como la de Decourt SPT (21,30%) (Ver figura 10). En el estrato que va de 4,50 a 6,00 m de profundidad las



ecuaciones planteadas por Bjerrum VT y otros investigadores SPT, presentan los porcentajes de error más altos: 99,41% y 83,81% respectivamente. En el ensayo de veleta el menor porcentaje de error fue el de Decourt SPT con un 13,04%, y el mayor fue el de Morris William VT (c) con 56,17 % (ver figura 12).

Finalmente, en el sondeo 3, se observa que el método de otros investigadores SPT, continúa presentando el mayor porcentaje de error con 137,83%, mientras que el de Decourt SPT presenta el menor (21,30%). En el ensayo de veleta el menor porcentaje de error es el de Morris William (b) con un 26,26% (ver figura 14). Las muestras correspondientes del 5 al 8, las ecuaciones Bjerrum Vt y otros investigadores SPT, presentan los porcentajes más altos de error 135,40% y 113,45 % respectivamente; mientras que la de Decourt SPT presenta un porcentaje de error menor: 7,03% y utilizando el ensayo de veleta, corresponde a Morris William Vt (b) 82,82% (ver figura 16).

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se deben realizar verificaciones de las ecuaciones planteadas para los ensayos in situ, ya que se llegó a estas ecuaciones analizando suelos con características geomorfologías distintas a las del suelo colombiano.

Los ensayos de veleta y SPT son de gran ayuda para obtener los parámetros de diseño; razón por la cual, se deben promover la investigación en otras zonas de Colombia que presenten las características necesarias para la ejecución del ensayo en campo para así, poniendo a prueba las ecuaciones planteadas por los diferentes investigadores, determinar cuál es la ecuación idónea para el tipo de suelo de nuestro país.

- A pesar que el equipo de SPT no está diseñado para obtener la resistencia al corte no drenado, este demostró— al ser usado para aplicar las ecuaciones de mencionados autores— que gracias a él se puede obtener el valor de la resistencia al corte no drenado. Con este equipo, la ecuación de mayor precisión es la planteada por Decourt con un porcentaje de error aceptable en la mayoría de los sondeos realizados.
- Se pensó en un principio que el ensayo in situ, el ensayo de veleta iba a tener un porcentaje de error menor, ya que este equipo está diseñado para obtener la resistencia al corte no drenado, debido a la resistencia que genera el suelo a las espas, y a que el resultado es registrado gracias al torquímetro. Se observó, sin embargo, que el porcentaje de error de este ensayo estuvo por encima del de la ecuación de Decourt, el cual se aplica al equipo SPT.
- En el ensayo de veleta, dos factores humanos externos pueden provocar un mayor porcentaje de error en el valor de la resistencia al corte no drenado. Estos factores determinantes son: al momento de tomar la lectura a través del torquímetro o los ensayos de Límites de Atterberg, a diferencia del ensayo de SPT que solo maneja una variable, con respecto a la caída libre del martillo que corresponde a 0,76 metros, para hincar el muestreador (cuchara partida).
- El sondeo 1 correspondiente a las muestras 1 a 4 presenta una resistencia al corte no drenado de  $0,5 \text{ kg/cm}^2$ , obtenido a través del ensayo de compresión inconfinaada. Este valor esta alto comparado con los otros ensayos realizados en laboratorio, que se encuentran en un rango que oscila de  $0,3 \text{ kg/cm}^2$  a  $0,32 \text{ kg/cm}^2$ . Este dato atípico afectaría el porcentaje de error de las ecuaciones, disminuyéndolo en ocasiones y en otras aumentándolo. Un ejemplo claro de esto es el de la ecuación planteada por otros investigadores para SPT, debido a que en la mayoría de los sondeos, presenta el porcentaje más alto del error, pero en el sondeo: 1, muestras: 1-4, presenta el menor porcentaje de error.

Cada proyecto de investigación en materia de suelos es sólo un avance más en el conocimiento de un aspecto de esta área. En futuras investigaciones deben realizarse un mayor número de sondeos, así como deben obtenerse mayores muestras, para que en el momento de aplicar las ecuaciones, el porcentaje de error entre los ensayos in situ Vs los ensayos de laboratorio sea mucho menor. Así mismo, se deberán aplicar todos los métodos de comparación de análisis de resistencia al corte no drenada ( $C_u$ ), y escoger la relación donde menor sea el porcentaje de error en todos los sondeos tomados.

## REFERENCIAS

APPARAO, K. RAO, V, *Soil Testing Laboratory Manual and Question Bank*. New Delhi: s.n. pág. 63. [En línea]. Laxmi publications [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <[https://books.google.com.co/books?id=xYIHcLr9OFwC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=xYIHcLr9OFwC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)>.

BERMUDEZ, J. y VASQUÉZ, S. *Relación Al Ensayo Cbr En Laboratorio*. [Fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/StudentPapers/SP61.pdf>>.

BRAJA, DAS. 2013. *Fundamentos De Ingeniería Geotécnica* [en línea]. México: Cengage Learning, 2013. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.yoingeniero.xyz/wp-content/uploads/2017/10/Fundamentos-de-Ingenieria-Geotecnica-Braja-M-Das.pdf>>.

BRAJA, DAS. 2012. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* [en línea] [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <https://ubooks.s3.amazonaws.com/uploads/book/raw/1473618071897-tsezkw0dpqawblh3-5fa7781ed5930244df708b073d8832b1/fundamentosdeingenieriadecimentaciones-150913225731-lva1-app6891.pdf>>.

BURLAND, J, JAMIOLKOWSKI, M., VIGGIANI, C. *Underexcavating the Tower of Pisa: Back to Future*. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSE. 2015. Volumen 46 (4):10. [Fecha de consulta 20 septiembre, 2018]

CARMONA, J. y RUGE, J. *Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ*. [En línea] Tecno Lógicas 2015. [Fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n35/v18n35a09.pdf>>.

CASSAN, M., 1982. *Correlaciones entre ensayos «in situ»*. En: *Los ensayos in situ en la mecánica de suelo. Su ejecución e interpretación*. Barcelona: S. editores técnicos asociados. Pág.: 433. [Fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <[https://books.google.com.co/books?id=FHAaR4yRYQC&pg=PA291&source=gbs\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q&f=falsedf](https://books.google.com.co/books?id=FHAaR4yRYQC&pg=PA291&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=falsedf)>.

CASTILLO, F., GONZÁLEZ. O. *Verificación estructural del edificio flores usando elementos finitos embebidos*. Pág.: 17. 2015. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en: <[http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1243/1/castillo\\_fa-gonzales\\_oj.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1243/1/castillo_fa-gonzales_oj.pdf)>.

CUADROS, C. y BERMÚDEZ, J., 2015. *Obtención y selección apropiada del valor de cohesión no drenada para el piedemonte de los cerros orientales de Bogotá usando ensayos in situ*. S.l.: s.n. Pág.: 87.[en línea ] [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2401/1/TG\\_CA\\_CuadrosR-JL\\_MontenegroB.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2401/1/TG_CA_CuadrosR-JL_MontenegroB.pdf)>.

DICCIONARIO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN. [En línea] [Fecha de consulta 12 septiembre 2018]. Disponible: <<http://www.parro.com.ar/definicion-de-carga+axial>>.

DICCIONARIO DE GEOTECNIA. [En línea]. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<https://diccionario.geotecnia.online/diccionario/deposito-lacustre/>>.

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS. *Resistencia al corte no drenado* [en línea] [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/resistencia-al-corte-de-los-suelos-3-resistencia-al-corte-no-drenado/>>.

GEOTECHNICAL SERVICES GROUND SETTLEMENT. *Geosciences, CMW*. [En línea] 2017. [Fecha de consulta 12 septiembre 2018]. Disponible en Internet: <<http://www.cmwgeosciences.com/geotechnical-services/ground-settlement>>.

GUILLÁN LLORENTE, G. *Contribución al conocimiento de los primeros geotécnicos del siglo XX*. Tesis de doctorado. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, departamento de ingeniería y morfología del terreno, 2015. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

HERRERA, D. y NIÑO, L. 2015. *Estimación de la correlación adecuada para la resistencia no drenada de suelos de Piedemonte de los Cerros Orientales a partir del ensayo de veleta*. S.l.: s.n [en línea] [fecha de consulta 22 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2435/3/ARTICULO.pdf>>.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 111. *Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 121-133. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 105. *Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 79-87. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 122. *Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -*

agregado. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 173-183. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 123. *Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 185-205. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 125. *Determinación del límite líquido de los suelos*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 206-226. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 126. *Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 227-236. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 152. *Compresión confinada en muestras de suelos*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 467-478. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 170. *Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 743-759. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 127. *Determinación de los factores de contracción de los suelos*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 237-244. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 154. *Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD)*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 523-543. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. *Consolidación unidimensional de suelos*. E 151-13. Normas de ensayo materiales para carretera. 2013. Bogotá: s.n., pp. 433-466. [Fecha de consulta 22 septiembre 2018].

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 170. *Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 754. [en línea] [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: <http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/SECCI%C3%83%E2%80%9CN%20100%20INV%20E-13.pdf>>.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2013. E – 170. *Ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo*. Normas de ensayo materiales para carretera. S.l.: s.n., pp. 758. [en línea]. [Fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL:

<http://labsueloscivil.upbbga.edu.co/sites/default/files/SECCI%C3%83%E2%80%9CN%20100%20INV%20E-13.pdf>>.

LECHOWICZ, Z. y SZYMANSKI, A., *Evaluation of undrained shear strength of cohesive and organic soils from in situ tests*. La resistance au cisaillement non drainée de sols cohésives et organiques déterminée par l'essai.[en línea] [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <[https://www.issmge.org/uploads/publications/1/30/2001\\_01\\_0102.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/1/30/2001_01_0102.pdf) >.

MONTOYA ARENAS, D, y TORRES REYES, G., 2005. *Geología de la sabana de Bogotá*. [En línea]. Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: [https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe\\_geologia\\_sabana\\_bta.pdf](https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf)>.

NASSAJI, F. y KALANTARI, B., *SPT capability to estimate undrained shear strength of fine-grained soils of Tehran, Iran*. Electronic Journal of Geotechnical.[en línea] 2005 [fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible: <[https://www.researchgate.net/publication/231336983\\_SPT\\_capability\\_to\\_estimate\\_undrained\\_shear\\_strength\\_of\\_fine\\_grained\\_soils\\_of\\_Tehran\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/231336983_SPT_capability_to_estimate_undrained_shear_strength_of_fine_grained_soils_of_Tehran_Iran)>.

RODRÍGUEZ, A. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua: s.n. Pág.: 2. [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <[http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_LAB\\_MEC\\_DE\\_SU\\_ELOS](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_LAB_MEC_DE_SU_ELOS)>.

SCHNAID, F. *In Situ Testing in Geomechanics* [en línea] 2009 [fecha de consulta 27 septiembre, 2018]. Disponible en: <URL: [http://ahmadgeo.persianguig.com/.8oOW6nrmMr/document/\\_In\\_Situ\\_Testing\\_in\\_Geomechanics.pdf](http://ahmadgeo.persianguig.com/.8oOW6nrmMr/document/_In_Situ_Testing_in_Geomechanics.pdf)>.

SUARÉZ, J. *Deslizamientos. Análisis Geotécnico*. [En línea] U. Industrial de Santander. [Fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<http://www.erosion.com.co/2013/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>>.

TAYLOR, D., *Fundamentals of soil mechanics*. United stated of America. S.l.: s.n [en línea]. Pág. 52. 1948 [fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible en: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4380774/mod\\_resource/content/1/Taylor-1948-Fundamentals\\_of\\_Soil\\_Mechanics.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4380774/mod_resource/content/1/Taylor-1948-Fundamentals_of_Soil_Mechanics.pdf)>.

VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L. y OTEO, C., *Ingeniería Geológica*. S.l.: s.n. Pág.: 106. 2002 [Fecha de consulta 12 septiembre, 2018]. Disponible: <[https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi\\_blog/r/Ingenieria\\_Geologica\\_-\\_Gonzalez\\_de\\_Vallejo.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf)>.

WESTERBERG, B., MÜLLER, R. y LARSSON, S., *Evaluation of undrained shear strength of Swedish fine-grained sulphide soils*. Engineering Geology [en línea]. doi 10.1016/j.enggeo.2015.01.007. [Fecha de consulta 20 septiembre, 2018]. Disponible en: <<https://core.ac.uk/download/pdf/82143085.pdf>>.



**ANEXOS**

**ANEXO A.**  
**Estratigrafía del**  
**suelo.**



**INVESTIGACION DEL SUBSUELO**

SONDEO \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_  
 HOJA 1 DE 1

NORTE  
 PROYECTO: UNIVERSIDAD CATÓLICA  
 LOCALIZACION: ENGATIVA PUEBLO

ESTE \_\_\_\_\_ FECHA 17/08/2018

| PROF(m)        | SIMBOLO | DESCRIPCION<br>ESTRATIGRAFICA  | MUESTRA<br>Y/O<br>ENSAYO | TIPO | PROFUNDIDAD (m) |      | ENSAYO DE<br>PENETRACION<br>ESTANDAR (140 lbs)                                 |    |    | RPI<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Recbro<br>(Cm) | NUMERO DE GOLPES N POR PIE |
|----------------|---------|--|--------------------------|------|-----------------|------|--|----|----|---------------------------|----------------|----------------------------|
|                |         |  |                          |      | DE              | A    | 6"   | 6" | 6" |                           |                |                            |
| 0,0            |         |  |                          |      |                 |      |  |    |    |                           |                |                            |
| 0,00           |         |  |                          |      |                 |      |  |    |    |                           |                |                            |
| 0,30           |         | Relleno compuesto de gravas angulares en matriz de limo arenoso.         |                          |      |                 |      |  |    |    |                           |                |                            |
| 1,00           |         | Limo orgánico color negro con rastros de raíces.                         |                          |      |                 |      |  |    |    |                           |                |                            |
| 2,00           |         |  |                          |      |                 |      |  |    |    |                           |                |                            |
| 3,00           |         | Arcilla color gris claro con manchas de oxidación, de consistencia baja. | 1                        | SH   | 2,30            | 2,80 |  |    |    |                           |                |                            |
|                |         |  | 2                        | VTA  | 2,80            | 3,05 |  |    |    |                           |                |                            |
|                |         |  | 3                        | VTA  | 3,05            | 3,30 |  |    |    |                           |                |                            |
| 4              |         |  | 4                        | SPT  | 3,40            | 3,90 | 1  | 1  | 3  |                           | 40             |                            |
| 5,00           |         | Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.                        | 5                        | SH   | 4,50            | 5,00 | 2  | 3  | 1  |                           |                |                            |
|                |         |  | 6                        | VTA  | 5,00            | 5,25 |  |    |    |                           |                |                            |
|                |         |  | 7                        | VTA  | 5,25            | 5,50 |  |    |    |                           |                |                            |
| 6,00           |         |  | 8                        | SPT  | 5,50            | 6,00 | 3  | 3  | 3  |                           | 40             |                            |
| Taladro :      |         | Nivel Freático : 1,90 m.   |                          |      |                 |      | SPT: Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra alterada. (SPLIT SPOON) |    |    |                           |                |                            |
| Manual         |         | X  |                          |      |                 |      | SH: Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby.              |    |    |                           |                |                            |
| Operador:      |         |  |                          |      |                 |      | VTA: Ensayo de veleta de campo   |    |    |                           |                |                            |
| Jiosman Bernal |         | Observaciones:   |                          |      |                 |      | BNQ: Avance con corona NQ  |    |    |                           |                |                            |



**INVESTIGACION DEL SUBSUELO**  
**SONDEO** \_\_\_\_\_ **2** \_\_\_\_\_  
**HOJA** 1 **DE** 1

**NORTE** \_\_\_\_\_ **ESTE** \_\_\_\_\_ **FECHA** 17/08/2018  
**PROYECTO:** UNIVERSIDAD CATÓLICA  
**LOCALIZACION** ENGATIVA PUEBLO

| PROF(m) | SIMBOLO |   | DESCRIPCION<br>ESTRATIGRAFICA  | MUESTRA<br>Y/O<br>ENSAYO | TIPO | PROFUNDIDAD (m) |   |    | ENSAYO DE<br>PENETRACION<br>ESTANDAR (140 lbs) |    |    | RPI<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Recbro<br>(Cm) | NUMERO DE GOLPES N POR PIE |
|---------|---------|---|--|--------------------------|------|-----------------|---|----|--|----|----|---------------------------|----------------|----------------------------|
|         | DE      | A |  |                          |      | DE              | A | 6" | 6"   | 6" |    |                           |                |                            |
| 0,0     | 0,00    |   | Relleno compuesto de gravas angulares en matriz de limo arenoso.         |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         | 0,50    |   |  |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         | 0,20    |   | Limo orgánico color negro con rastros de raíces.                         |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
| 1,00    | 1,20    |   | Arcilla color gris claro con manchas de oxidación, de consistencia baja. |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
| 2,00    |         |   |  |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
| 3,00    |         |   |  | 1 SH                     | 2,30 | 2,80            |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         |         |   |  | 2 VTA                    | 2,80 | 3,05            |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         |         |   |  | 3 VTA                    | 3,05 | 3,30            |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
| 4       | 3,9     |   |  | 4 SPT                    | 3,30 | 3,80            | 3 | 3  | 3  |    | 40 |                           |                |                            |
| 5,00    |         |   |  |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
| 6,00    | 6,00    |   | Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.                        |                          |      |                 |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         |         |   |  | 5 SH                     | 4,00 | 4,50            |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         |         |   |  | 6 VTA                    | 4,50 | 4,75            |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         |         |   |  | 7 VTA                    | 4,75 | 5,00            |   |    |  |    |    |                           |                |                            |
|         |         |   |  | 8 SPT                    | 5    | 5,5             | 3 | 2  | 2  |    | 40 |                           |                |                            |

Taladro : Nivel Freático : 2,15 m. SPT: Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra alterada. (SPLIT SPOON)  
Manual X SH: Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby.  
Operador: VTA: Ensayo de veleta de campo  
Jiosman Bernal Observaciones: BNQ: Avance con corona NQ



**INVESTIGACION DEL SUBSUELO**

SONDEO 3  
 HOJA 1 DE 1

NORTE  
 PROYECTO: UNIVERSIDAD CATÓLICA  
 LOCALIZACION ENGATIVA PUEBLO

ESTE  
 FECHA 17/08/2018

| PROF(m) | SIMBOLO |   | DESCRIPCION<br>ESTRATIGRAFICA  | MUESTRA<br>Y/O<br>ENSAYO | TIPO             | PROFUNDIDAD (m)      |                      | ENSAYO DE<br>PENETRACION<br>ESTANDAR (140 lbs) |    |    | RPI<br>Kg/cm <sup>2</sup> | Recbro<br>(Cm) | NUMERO DE GOLPES N POR PIE |
|---------|---------|---|--|--------------------------|------------------|----------------------|----------------------|--|----|----|---------------------------|----------------|----------------------------|
|         | DE      | A |  |                          |                  | DE                   | A                    | 6"   | 6" | 6" |                           |                |                            |
| 0,0     | 0,00    |   | Relleno compuesto de gravas angulares en matriz de limo arenoso.         |                          |                  |                      |                      |  |    |    |                           |                |                            |
| 1,00    | 0,80    |   | Limo orgánico color negro con rastros de raíces.                         |                          |                  |                      |                      |  |    |    |                           |                |                            |
| 2,00    | 1,20    |   | Arcilla color gris claro con manchas de oxidación, de consistencia baja. | 1<br>2<br>3              | SH<br>VTA<br>VTA | 2,30<br>2,80<br>3,05 | 2,80<br>3,05<br>3,30 |  |    |    |                           |                |                            |
| 3,00    | 3,9     |   | Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.                        | 4                        | SPT              | 3,30                 | 3,80                 | 1  | 3  | 3  |                           | 40             |                            |
| 4,00    | 6,00    |   | Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.                        | 5<br>6<br>7              | SH<br>VTA<br>VTA | 4,50<br>5,00<br>5,25 | 5,00<br>5,25<br>5,50 |  |    |    |                           |                |                            |
| 5,00    | 6,00    |   |  | 8                        | SPT              | 5,50                 | 6,00                 | 2  | 2  | 3  |                           | 40             |                            |

Taladro : Nivel Freático : 2,0 m. SPT: Ensayo de penetración estándar obteniendo muestra alterada. (SPLIT SPOON)  
 Manual X SH: Muestra inalterada obtenida con tubo de pared delgada Shelby.  
 Operador: VTA: Ensayo de veleta de campo  
 Jiosman Bernal Observaciones: BNQ: Avance con corona NQ

**ANEXO B.**  
**Ensayos de límites**  
**de atterberg y**  
**granulometría.**



## LIMITES DE ATTERBERG (INV E 125 -13 y 126-13)

|         |            |
|---------|------------|
| CODIGO  | PER-FT-02  |
| VERSION | 1          |
| FECHA   | 08/08/2016 |

|               |  |              |   |                 |               |
|---------------|--|--------------|---|-----------------|---------------|
| CLIENTE :     | Universidad Catolica de Colombia.                                      |              |   |                 |               |
| PROYECTO:     | Proyecto de grado.   | MUESTRA No.: | 4 | FECHA:          | 19/09/2018    |
| LOCALIZACIÓN: | Engativa pueblo.   | PERFORACIÓN: | 1 | PROFUNDIDAD(m): | 3,4      3,90 |
| DESCRIPCIÓN:  | Arcilla de alta plasticidad color gris claro con manchas de oxidacion. |              |   |                 |               |

### LIMITE LIQUIDO

|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| No. de Golpes                    | 35    | 26    | 16    |
| Plato No.                        | 126   | 46    | 102   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 27,34 | 28,41 | 27,35 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 22,35 | 23,57 | 21,74 |
| Recipiente, (g)                  | 13,53 | 15,59 | 13,08 |
| % Humedad                        | 56,6% | 60,7% | 64,8% |

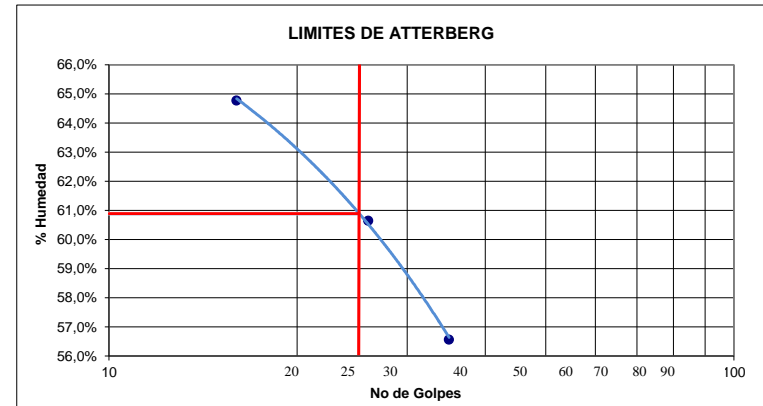
### LIMITE PLASTICO

|                                  |       |       |        |
|----------------------------------|-------|-------|--------|
| Plato No.                        | 147   | 73    | P48    |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 23,12 | 21,18 | 160,70 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 21,69 | 19,67 | 124,29 |
| Recipiente, (g)                  | 15,84 | 13,42 | 42,85  |
| % Humedad                        | 24,4% | 24,2% | 44,7%  |

### HUMEDAD NATURAL

### RESULTADOS

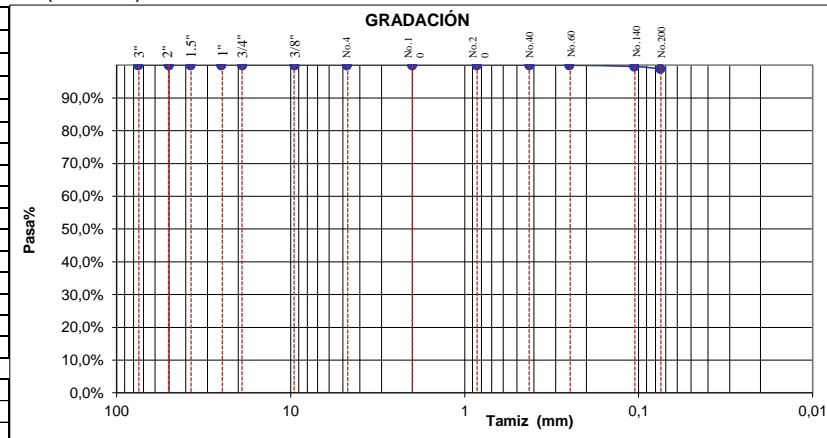
|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Límite Líquido :         | 60,9% |
| Límite Plástico :        | 24,3% |
| Índice Plasticidad :     | 36,6% |
| Índice de Consistencia : | 0,44  |
| Índice de Consistencia : | 0,56  |
| Índice de flujo :        | 23,69 |
| Índice de tenacidad :    | 1,545 |



### GRANULOMETRIA (INV E 123-13)

|                          |                   |            |        |
|--------------------------|-------------------|------------|--------|
| Peso de la Muestra, (g): | 300,25            | P2, g:     | 3,38   |
| Tamiz                    | Peso retenido (g) | % Retenido | % Pasa |
| 3"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 2"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1.5"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/4"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/8"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.4                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.10                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.20                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.40                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.60                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.140                   | 1,23              | 0,4%       | 99,6%  |
| No.200                   | 2,15              | 0,7%       | 98,9%  |
| FONDO                    | 296,9             | 98,9%      | 0,0%   |

|                  |       |       |         |
|------------------|-------|-------|---------|
| Índice de Grupo: | 42    | 0,0%  | % Grava |
| A.A.S.H.T.O. :   | A-7-6 | 1,1%  | % Arena |
| S.U.C.S. :       | CH    | 98,9% | % Finos |



### OBSERVACIONES

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| ELABORÓ                          | REVISÓ                        |
| NOMBRE: GILDARDO VARGAS QUINTERO | NOMBRE: JHONN VARGAS QUINTERO |
| CARGO: TECNICO LABORATORISTA     | CARGO: ING GEOTECNISTA        |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.



## LIMITES DE ATTERBERG (INV E 125 -13 y 126-13)

|         |            |
|---------|------------|
| CODIGO  | PER-FT-02  |
| VERSION | 1          |
| FECHA   | 08/08/2016 |

|               |   |              |   |                 |               |
|---------------|---|--------------|---|-----------------|---------------|
| CLIENTE :     | Universidad Catolica de Colombia.               |              |   |                 |               |
| PROYECTO:     | Proyecto de grado.                              | MUESTRA No.: | 8 | FECHA:          | 19/08/2018    |
| LOCALIZACIÓN: | Engativa pueblo.                                | PERFORACIÓN: | 1 | PROFUNDIDAD(m): | 5,5      6,00 |
| DESCRIPCIÓN:  | Arcilla de alta plasticidad color gris verdoso. |              |   |                 |               |

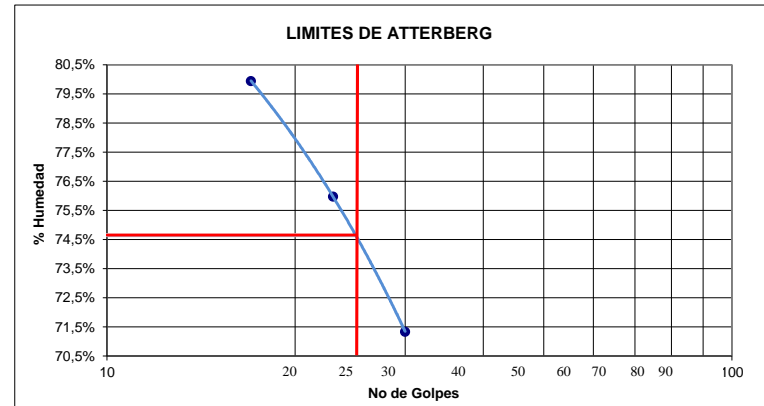
### LIMITE LIQUIDO

|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| No. de Golpes                    | 30    | 23    | 17    |
| Plato No.                        | 47    | 12    | 83    |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 29,84 | 30,10 | 27,76 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 23,79 | 23,71 | 21,94 |
| Recipiente, (g)                  | 15,31 | 15,30 | 14,66 |
| % Humedad                        | 71,3% | 76,0% | 79,9% |

### LIMITE PLASTICO

|                                  |       |       |        |
|----------------------------------|-------|-------|--------|
| Plato No.                        | 191   | 140   | P62    |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 20,33 | 20,69 | 165,50 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 19,15 | 19,34 | 118,38 |
| Recipiente, (g)                  | 13,70 | 13,07 | 35,49  |
| % Humedad                        | 21,7% | 21,5% | 56,8%  |

### HUMEDAD NATURAL



### RESULTADOS

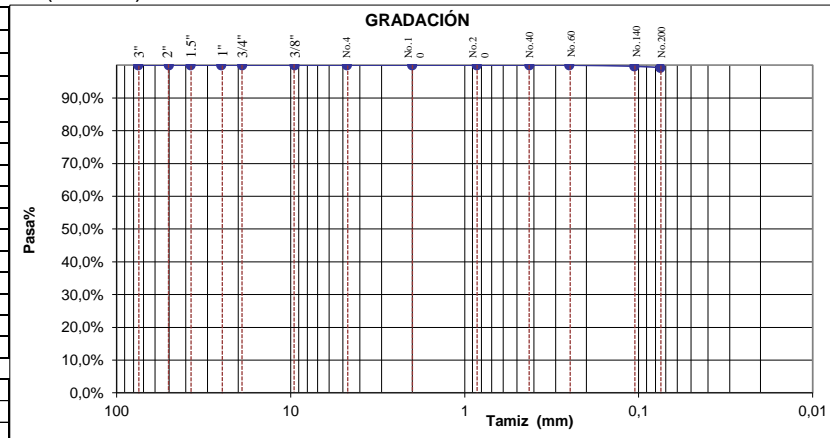
|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Límite Líquido :         | 74,7% |
| Límite Plástico :        | 21,6% |
| Índice Plasticidad :     | 53,1% |
| Índice de Consistencia : | 0,34  |
| Índice de Consistencia : | 0,66  |
| Índice de flujo :        | 34,76 |
| Índice de tenacidad :    | 1,526 |

### GRANULOMETRIA (INV E 123-13)

|                          |                   |            |        |
|--------------------------|-------------------|------------|--------|
| Peso de la Muestra, (g): | 289,54            | P2, g:     | 2,18   |
| Tamiz                    | Peso retenido (g) | % Retenido | % Pasa |
| 3"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 2"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1.5"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/4"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/8"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.4                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.10                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.20                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.40                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.60                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.140                   | 0,95              | 0,3%       | 99,7%  |
| No.200                   | 1,23              | 0,4%       | 99,2%  |
| FONDO                    | 287,4             | 99,2%      | 0,0%   |

|                  |       |       |         |
|------------------|-------|-------|---------|
| Indice de Grupo: | 60    | 0,0%  | % Grava |
| A.A.S.H.T.O. :   | A-7-6 | 0,8%  | % Arena |
| S.U.C.S. :       | CH    | 99,2% | % Finos |

### GRADACIÓN



|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| OBSERVACIONES                    |                               |
| ELABORÓ                          | REVISÓ                        |
| NOMBRE: GILDARDO VARGAS QUINTERO | NOMBRE: JHONN VARGAS QUINTERO |
| CARGO: TECNICO LABORATORISTA     | CARGO: ING GEOTECNISTA        |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.



|         |            |
|---------|------------|
| CODIGO  | PER-FT-02  |
| VERSION | 1          |
| FECHA   | 08/08/2016 |

|               |  |              |   |                 |               |
|---------------|--|--------------|---|-----------------|---------------|
| CLIENTE :     | Universidad Catolica de Colombia.                                      |              |   |                 |               |
| PROYECTO:     | Proyecto de grado.   | MUESTRA No.: | 4 | FECHA:          | 19/08/2018    |
| LOCALIZACIÓN: | Engativa pueblo.   | PERFORACIÓN: | 2 | PROFUNDIDAD(m): | 3,3      3,80 |
| DESCRIPCIÓN:  | Arcilla de alta plasticidad color gris claro con manchas de oxidacion. |              |   |                 |               |

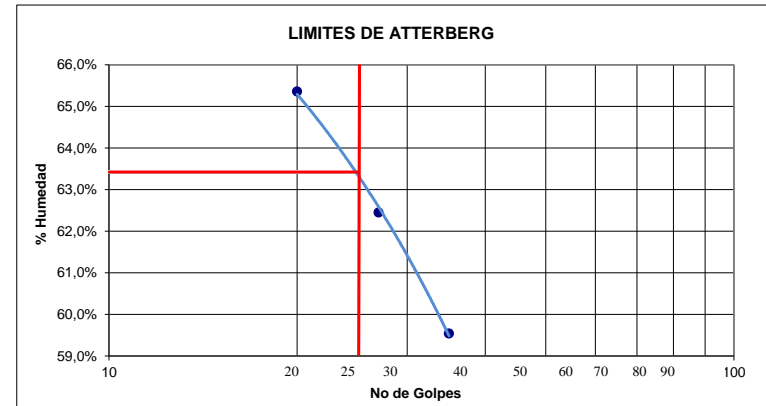
**LIMITE LIQUIDO**

|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| No. de Golpes                    | 35    | 27    | 20    |
| Plato No.                        | 150   | 75    | 162   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 31,21 | 28,63 | 29,57 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 25,13 | 23,59 | 23,21 |
| Recipiente, (g)                  | 14,92 | 15,52 | 13,48 |
| % Humedad                        | 59,5% | 62,5% | 65,4% |

**LIMITE PLASTICO**

|                                  |       |       |        |
|----------------------------------|-------|-------|--------|
| Plato No.                        | 186   | 20    | P34    |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 22,42 | 22,44 | 116,71 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 20,85 | 21,00 | 90,16  |
| Recipiente, (g)                  | 14,17 | 15,06 | 42,99  |
| % Humedad                        | 23,5% | 24,2% | 56,3%  |

**HUMEDAD NATURAL**

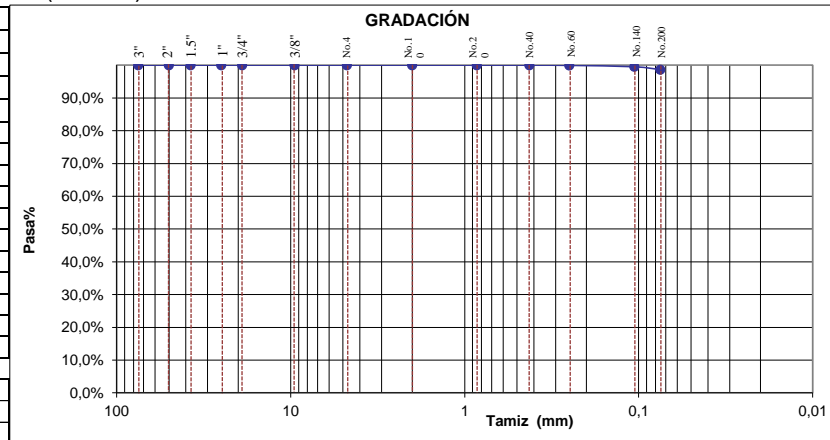


**RESULTADOS**

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Límite Líquido :         | 63,4% |
| Límite Plástico :        | 23,9% |
| Índice Plasticidad :     | 39,6% |
| Índice de Consistencia : | 0,18  |
| Índice de Consistencia : | 0,82  |
| Índice de flujo :        | 23,89 |
| Índice de tenacidad :    | 1,656 |

**GRANULOMETRIA (INV E 123-13)**

|                          |                   |            |        |
|--------------------------|-------------------|------------|--------|
| Peso de la Muestra, (g): | 293,60            | P2, g:     | 3,98   |
| Tamiz                    | Peso retenido (g) | % Retenido | % Pasa |
| 3"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 2"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1.5"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/4"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/8"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.4                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.10                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.20                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.40                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.60                    | 0,19              | 0,1%       | 99,9%  |
| No.140                   | 1,23              | 0,4%       | 99,5%  |
| No.200                   | 2,56              | 0,9%       | 98,6%  |
| FONDO                    | 289,6             | 98,6%      | 0,0%   |



|                  |       |       |         |
|------------------|-------|-------|---------|
| Índice de Grupo: | 45    | 0,0%  | % Grava |
| A.A.S.H.T.O. :   | A-7-6 | 1,4%  | % Arena |
| S.U.C.S. :       | CH    | 98,6% | % Finos |

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| OBSERVACIONES                    |                               |
| ELABORÓ                          | REVISÓ                        |
| NOMBRE: GILDARDO VARGAS QUINTERO | NOMBRE: JHONN VARGAS QUINTERO |
| CARGO: TECNICO LABORATORISTA     | CARGO: ING GEOTECNISTA        |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

|               |   |                 |               |
|---------------|---|-----------------|---------------|
| CLIENTE :     | Universidad Catolica de Colombia.                                     |                 |               |
| PROYECTO:     | Proyecto de grado.  | MUESTRA No.:    | 8             |
|               |   | FECHA:          | 19/08/2018    |
| LOCALIZACIÓN: | Engativa pueblo.  | PERFORACIÓN:    | 2             |
|               |   | PROFUNDIDAD(m): | 5,0      5,50 |
| DESCRIPCIÓN:  | Arcilla de alta plasticidad color gris verdoso, de consistencia baja. |                 |               |

**LIMITE LIQUIDO**

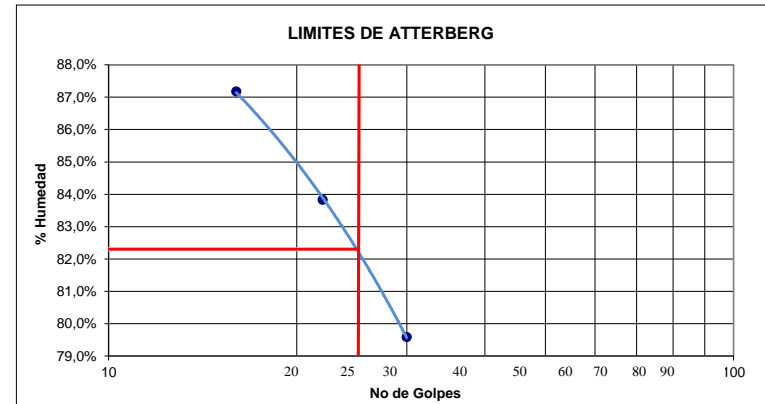
|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| No. de Golpes                    | 30    | 22    | 16    |
| Plato No.                        | 130   | 8     | 178   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 28,41 | 27,59 | 28,56 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 21,78 | 22,04 | 22,44 |
| Recipiente, (g)                  | 13,45 | 15,42 | 15,42 |
| % Humedad                        | 79,6% | 83,8% | 87,2% |

**LIMITE PLASTICO**

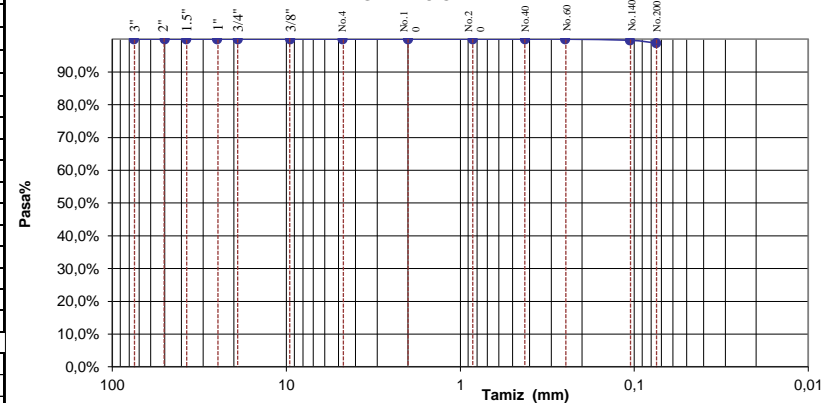
|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Plato No.                        | 35    | 75    | P53   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 21,56 | 21,79 | 88,50 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 20,41 | 20,65 | 69,12 |
| Recipiente, (g)                  | 15,30 | 15,52 | 35,53 |
| % Humedad                        | 22,5% | 22,2% | 57,7% |

**HUMEDAD NATURAL**
**RESULTADOS**

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Límite Líquido :         | 82,3% |
| Límite Plástico :        | 22,4% |
| Índice Plasticidad :     | 59,9% |
| Índice de Consistencia : | 0,41  |
| Índice de Consistencia : | 0,59  |
| Índice de flujo :        | 27,78 |
| Índice de tenacidad :    | 2,158 |


**GRANULOMETRIA (INV E 123-13)**

|                          |                   |            |        |
|--------------------------|-------------------|------------|--------|
| Peso de la Muestra, (g): | 294,80            | P2, g:     | 3,53   |
| Tamiz                    | Peso retenido (g) | % Retenido | % Pasa |
| 3"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 2"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1.5"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/4"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/8"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.4                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.10                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.20                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.40                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.60                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.140                   | 0,99              | 0,3%       | 99,7%  |
| No.200                   | 2,54              | 0,9%       | 98,8%  |
| FONDO                    | 291,3             | 98,8%      | 0,0%   |

**GRADACIÓN**


|                  |       |       |         |
|------------------|-------|-------|---------|
| Índice de Grupo: | 68    | 0,0%  | % Grava |
| A.A.S.H.T.O. :   | A-7-6 | 1,2%  | % Arena |
| S.U.C.S. :       | CH    | 98,8% | % Finos |

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| OBSERVACIONES                    |                               |
| ELABORÓ                          | REVISÓ                        |
| NOMBRE: GILDARDO VARGAS QUINTERO | NOMBRE: JHONN VARGAS QUINTERO |
| CARGO: TECNICO LABORATORISTA     | CARGO: ING GEOTECNISTA        |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

|         |            |
|---------|------------|
| CODIGO  | PER-FT-02  |
| VERSION | 1          |
| FECHA   | 08/08/2016 |

|               |  |              |   |                 |               |
|---------------|--|--------------|---|-----------------|---------------|
| CLIENTE :     | Universidad Catolica de Colombia.                                      |              |   |                 |               |
| PROYECTO:     | Proyecto de grado.   | MUESTRA No.: | 4 | FECHA:          | 19/08/2018    |
| LOCALIZACIÓN: | Engativa pueblo.   | PERFORACIÓN: | 3 | PROFUNDIDAD(m): | 3,3      3,80 |
| DESCRIPCIÓN:  | Arcilla de alta plasticidad color gris claro con manchas de oxidación. |              |   |                 |               |

### LIMITE LIQUIDO

|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| No. de Golpes                    | 35    | 27    | 20    |
| Plato No.                        | 150   | 75    | 162   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 31,21 | 28,63 | 29,57 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 25,84 | 24,09 | 23,79 |
| Recipiente, (g)                  | 14,92 | 15,52 | 13,48 |
| % Humedad                        | 49,2% | 53,0% | 56,1% |

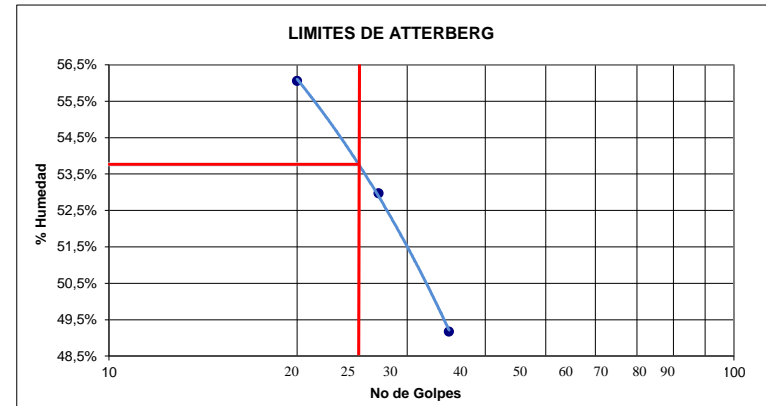
### LIMITE PLASTICO

|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Plato No.                        | 138   | 3     | P59   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 20,96 | 20,85 | 94,09 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 19,68 | 19,57 | 77,83 |
| Recipiente, (g)                  | 13,75 | 13,57 | 36,75 |
| % Humedad                        | 21,6% | 21,3% | 39,6% |

### HUMEDAD NATURAL

### RESULTADOS

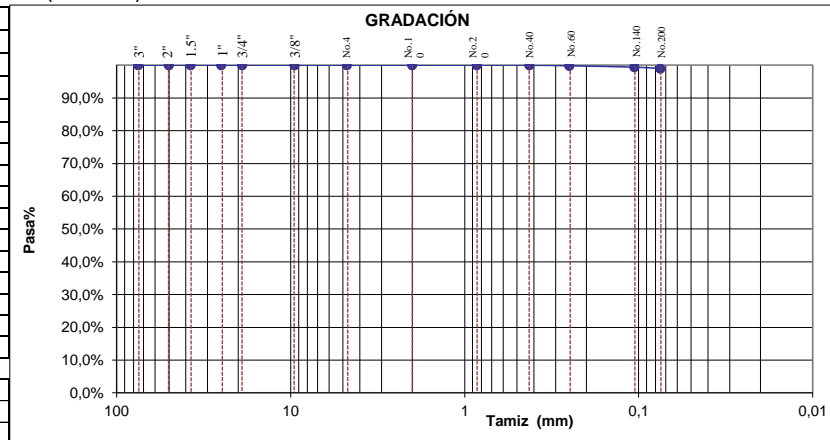
|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Límite Líquido :         | 53,8% |
| Límite Plástico :        | 21,5% |
| Índice Plasticidad :     | 32,3% |
| Índice de Consistencia : | 0,44  |
| Índice de Consistencia : | 0,56  |
| Índice de flujo :        | 28,21 |
| Índice de tenacidad :    | 1,145 |



### GRANULOMETRIA (INV E 123-13)

|                          |                   |            |        |
|--------------------------|-------------------|------------|--------|
| Peso de la Muestra, (g): | 325,10            | P2, g:     | 3,46   |
| Tamiz                    | Peso retenido (g) | % Retenido | % Pasa |
| 3"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 2"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1.5"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/4"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/8"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.4                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.10                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.20                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.40                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.60                    | 0,63              | 0,2%       | 99,8%  |
| No.140                   | 1,27              | 0,4%       | 99,4%  |
| No.200                   | 1,56              | 0,5%       | 98,9%  |
| FONDO                    | 321,6             | 98,9%      | 0,0%   |

|                  |       |       |         |
|------------------|-------|-------|---------|
| Indice de Grupo: | 36    | 0,0%  | % Grava |
| A.A.S.H.T.O. :   | A-7-6 | 1,1%  | % Arena |
| S.U.C.S. :       | CH    | 98,9% | % Finos |



### OBSERVACIONES

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| ELABORÓ                          | REVISÓ                        |
| NOMBRE: GILDARDO VARGAS QUINTERO | NOMBRE: JHONN VARGAS QUINTERO |
| CARGO: TECNICO LABORATORISTA     | CARGO: ING GEOTECNISTA        |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

|         |            |
|---------|------------|
| CODIGO  | PER-FT-02  |
| VERSION | 1          |
| FECHA   | 08/08/2016 |

|               |   |              |   |                 |               |
|---------------|---|--------------|---|-----------------|---------------|
| CLIENTE :     | Universidad Catolica de Colombia.               |              |   |                 |               |
| PROYECTO:     | Proyecto de grado.                              | MUESTRA No.: | 8 | FECHA:          | 19/08/2018    |
| LOCALIZACIÓN: | Engativa pueblo.                                | PERFORACIÓN: | 3 | PROFUNDIDAD(m): | 5,5      6,00 |
| DESCRIPCIÓN:  | Arcilla de alta plasticidad color gris verdoso. |              |   |                 |               |

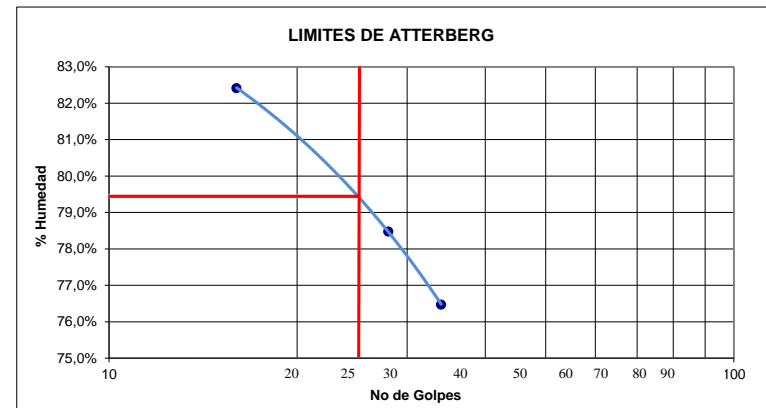
**LIMITE LIQUIDO**

|                                  |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| No. de Golpes                    | 34    | 28    | 16    |
| Plato No.                        | 85    | 71    | 114   |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 28,43 | 29,72 | 28,37 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 22,84 | 22,79 | 21,62 |
| Recipiente, (g)                  | 15,53 | 13,96 | 13,43 |
| % Humedad                        | 76,5% | 78,5% | 82,4% |

**LIMITE PLASTICO**

|                                  |       |       |        |
|----------------------------------|-------|-------|--------|
| Plato No.                        | 195   | 124   | P61    |
| Recipiente + Muestra Húmeda, (g) | 21,78 | 22,08 | 104,26 |
| Recipiente + Muestra Seca, (g)   | 20,40 | 20,89 | 78,81  |
| Recipiente, (g)                  | 14,07 | 15,39 | 33,89  |
| % Humedad                        | 21,8% | 21,6% | 56,7%  |

**HUMEDAD NATURAL**



**RESULTADOS**

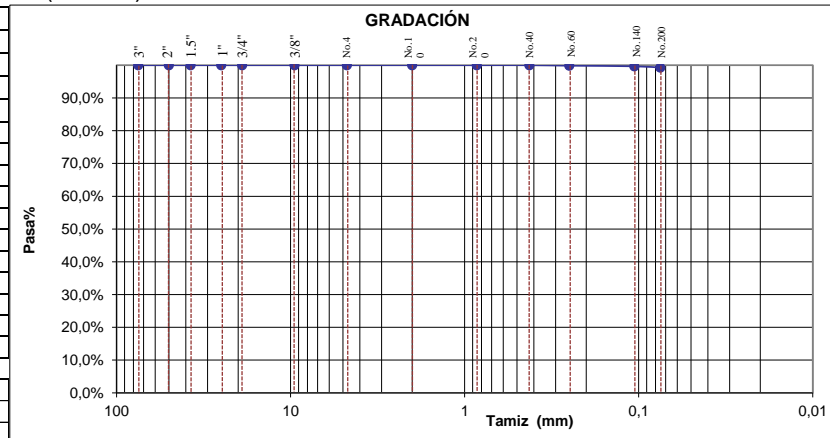
|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Límite Líquido :         | 79,4% |
| Límite Plástico :        | 21,7% |
| Índice Plasticidad :     | 57,7% |
| Índice de Consistencia : | 0,39  |
| Índice de Consistencia : | 0,61  |
| Índice de flujo :        | 17,73 |
| Índice de tenacidad :    | 3,256 |

**GRANULOMETRIA (INV E 123-13)**

|                          |                   |            |        |
|--------------------------|-------------------|------------|--------|
| Peso de la Muestra, (g): | 300,95            | P2, g:     | 2,24   |
| Tamiz                    | Peso retenido (g) | % Retenido | % Pasa |
| 3"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 2"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1.5"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 1"                       | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/4"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| 3/8"                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.4                     | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.10                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.20                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.40                    | 0                 | 0,0%       | 100,0% |
| No.60                    | 0,47              | 0,2%       | 99,8%  |
| No.140                   | 0,56              | 0,2%       | 99,7%  |
| No.200                   | 1,21              | 0,4%       | 99,3%  |
| FONDO                    | 298,7             | 99,3%      | 0,0%   |

|                  |       |       |         |
|------------------|-------|-------|---------|
| Índice de Grupo: | 66    | 0,0%  | % Grava |
| A.A.S.H.T.O. :   | A-7-6 | 0,7%  | % Arena |
| S.U.C.S. :       | CH    | 99,3% | % Finos |

**GRADACIÓN**



**OBSERVACIONES**

|                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| ELABORÓ                          | REVISÓ                        |
| NOMBRE: GILDARDO VARGAS QUINTERO | NOMBRE: JHONN VARGAS QUINTERO |
| CARGO: TECNICO LABORATORISTA     | CARGO: ING GEOTECNISTA        |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

**ANEXO C.**  
**Ensayos de**  
**compresión**  
**inconfinada.**



**ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA**  
**NTC 1527**

|         |            |
|---------|------------|
| CODIGO  | PER-FT-03  |
| VERSION | 0          |
| FECHA   | 02/10/2014 |

CLIENTE: Universidad Católica

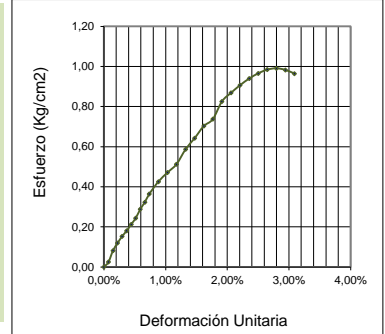
|   |                    |
|---|--------------------|
| LOCALIZACIÓN: Engativá Pueblo   | FECHA:13/09/2018   |
| DESCRIPCIÓN: Arcilla color gris claro con manchas de oxidación, de consistencia baja. | MUESTRA No.:1      |
| PROFUNDIDAD (m): 2.10-2.60  | PERFORACIÓN No.: 1 |

| PROBETA                    |                  |                |
|----------------------------|------------------|----------------|
| DIMENSIONES DE LA MUESTRA  | INICIAL PROMEDIO | FINAL PROMEDIO |
| Diámetro (cm)              | 6,25             | 6,31           |
| Altura (cm)                | 13,59            | 13,44          |
| Área (cm <sup>2</sup> )    | 30,68            | 31,27          |
| Peso (g)                   | 740,10           | 735,40         |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 416,936          | 420,393        |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,775            | 1,749          |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,227            | 1,209          |

FOTO MUESTRA



GRAFICO DE LA MUESTRA



**HUMEDAD NATURAL**

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Recipiente No.        | P48    |
| Peso suelo húmedo (g) | 160,70 |
| Peso suelo seco (g)   | 124,29 |
| Peso de la lata (g)   | 42,85  |
| Húmedad (%)           | 44,7%  |

Qu= 0,99 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Cu= 0,50 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Consistencia del suelo: Media

| DEFORMACIÓN 0.001" | CARGA (Kg) | DEFORMACION UNITARIA (%) | 1 - DEFORMACIÓN UNITARIA | ÁREA CORREGIDA cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup> |
|--------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0                  | 0          | 0,00%                    | 1,000                    | 30,68                          | 0,00                           |
| 10                 | 0,76       | 0,07%                    | 0,999                    | 30,70                          | 0,02                           |
| 20                 | 2,52       | 0,15%                    | 0,999                    | 30,72                          | 0,08                           |
| 30                 | 3,66       | 0,22%                    | 0,998                    | 30,75                          | 0,12                           |
| 40                 | 4,70       | 0,29%                    | 0,997                    | 30,77                          | 0,15                           |
| 50                 | 5,55       | 0,37%                    | 0,996                    | 30,79                          | 0,18                           |
| 60                 | 6,56       | 0,44%                    | 0,996                    | 30,82                          | 0,21                           |
| 70                 | 7,51       | 0,52%                    | 0,995                    | 30,84                          | 0,24                           |
| 80                 | 8,89       | 0,59%                    | 0,994                    | 30,86                          | 0,29                           |
| 90                 | 9,96       | 0,66%                    | 0,993                    | 30,88                          | 0,32                           |
| 100                | 11,26      | 0,74%                    | 0,993                    | 30,91                          | 0,36                           |
| 120                | 13,18      | 0,88%                    | 0,991                    | 30,95                          | 0,43                           |
| 140                | 14,60      | 1,03%                    | 0,990                    | 31,00                          | 0,47                           |
| 160                | 15,93      | 1,18%                    | 0,988                    | 31,05                          | 0,51                           |
| 180                | 18,26      | 1,32%                    | 0,987                    | 31,09                          | 0,59                           |
| 200                | 20,02      | 1,47%                    | 0,985                    | 31,14                          | 0,64                           |
| 220                | 21,92      | 1,62%                    | 0,984                    | 31,18                          | 0,70                           |
| 240                | 23,03      | 1,77%                    | 0,982                    | 31,23                          | 0,74                           |
| 260                | 25,83      | 1,91%                    | 0,981                    | 31,28                          | 0,83                           |
| 280                | 27,21      | 2,06%                    | 0,979                    | 31,33                          | 0,87                           |
| 300                | 28,45      | 2,21%                    | 0,978                    | 31,37                          | 0,91                           |
| 320                | 29,53      | 2,35%                    | 0,976                    | 31,42                          | 0,94                           |
| 340                | 30,40      | 2,50%                    | 0,975                    | 31,47                          | 0,97                           |
| 360                | 31,03      | 2,65%                    | 0,974                    | 31,51                          | 0,98                           |
| 380                | 31,29      | 2,80%                    | 0,972                    | 31,56                          | 0,99                           |
| 400                | 31,08      | 2,94%                    | 0,971                    | 31,61                          | 0,98                           |
| 420                | 30,54      | 3,09%                    | 0,969                    | 31,66                          | 0,96                           |

|                                  |                               |        |  |
|----------------------------------|-------------------------------|--------|--|
| ELABORO                          |                               | REVISO |  |
| Nombre: GILDARDO VARGAS QUINTERO | Nombre: JHONN VARGAS QUINTERO |        |  |
| Cargo: TÉCNICO LABORATORISTA     | Cargo: ING GEOTECNISTA        |        |  |

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

CLIENTE: Universidad Católica

LOCALIZACIÓN: Engativá Pueblo

FECHA:13/09/2018

DESCRIPCIÓN: Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.

MUESTRA No.:5

PROFUNDIDAD (m): 4.50-5.00

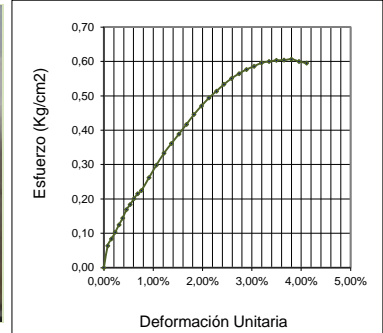
PERFORACIÓN No.: 1

| PROBETA                    |                  |                |
|----------------------------|------------------|----------------|
| DIMENSIONES DE LA MUESTRA  | INICIAL PROMEDIO | FINAL PROMEDIO |
| Diámetro (cm)              | 6,29             | 6,32           |
| Altura (cm)                | 13,15            | 12,95          |
| Área (cm <sup>2</sup> )    | 31,11            | 31,40          |
| Peso (g)                   | 601,10           | 599,00         |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 409,051          | 406,784        |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,470            | 1,473          |
| g/cm <sup>3</sup>          | 0,937            | 0,939          |

FOTO MUESTRA



GRAFICO DE LA MUESTRA



**HUMEDAD NATURAL**

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Recipiente No.        | P62    |
| Peso suelo húmedo (g) | 165,50 |
| Peso suelo seco (g)   | 118,38 |
| Peso de la lata (g)   | 35,49  |
| Humedad (%)           | 56,8%  |

Qu= 0,61 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Cu= 0,30 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Consistencia del suelo Media

| DEFORMACIÓN 0.001" | CARGA (Kg) | DEFORMACION UNITARIA (%) | 1 - DEFORMACIÓN UNITARIA | ÁREA CORREGIDA cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup> |
|--------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0                  | 0          | 0,00%                    | 1,000                    | 31,11                          | 0,00                           |
| 10                 | 1,99       | 0,08%                    | 0,999                    | 31,13                          | 0,06                           |
| 20                 | 2,60       | 0,15%                    | 0,998                    | 31,15                          | 0,08                           |
| 30                 | 3,21       | 0,23%                    | 0,998                    | 31,18                          | 0,10                           |
| 40                 | 3,89       | 0,30%                    | 0,997                    | 31,20                          | 0,12                           |
| 50                 | 4,51       | 0,38%                    | 0,996                    | 31,23                          | 0,14                           |
| 60                 | 5,27       | 0,46%                    | 0,995                    | 31,25                          | 0,17                           |
| 70                 | 5,75       | 0,53%                    | 0,995                    | 31,27                          | 0,18                           |
| 80                 | 6,29       | 0,61%                    | 0,994                    | 31,30                          | 0,20                           |
| 90                 | 6,74       | 0,68%                    | 0,993                    | 31,32                          | 0,22                           |
| 100                | 7,04       | 0,76%                    | 0,992                    | 31,34                          | 0,22                           |
| 120                | 8,22       | 0,91%                    | 0,991                    | 31,39                          | 0,26                           |
| 140                | 9,39       | 1,06%                    | 0,989                    | 31,44                          | 0,30                           |
| 160                | 10,49      | 1,22%                    | 0,988                    | 31,49                          | 0,33                           |
| 180                | 11,40      | 1,37%                    | 0,986                    | 31,54                          | 0,36                           |
| 200                | 12,29      | 1,52%                    | 0,985                    | 31,59                          | 0,39                           |
| 220                | 13,20      | 1,67%                    | 0,983                    | 31,64                          | 0,42                           |
| 240                | 14,12      | 1,83%                    | 0,982                    | 31,68                          | 0,45                           |
| 260                | 14,94      | 1,98%                    | 0,980                    | 31,73                          | 0,47                           |
| 280                | 15,70      | 2,13%                    | 0,979                    | 31,78                          | 0,49                           |
| 300                | 16,36      | 2,28%                    | 0,977                    | 31,83                          | 0,51                           |
| 320                | 17,01      | 2,43%                    | 0,976                    | 31,88                          | 0,53                           |
| 340                | 17,58      | 2,59%                    | 0,974                    | 31,93                          | 0,55                           |
| 360                | 18,06      | 2,74%                    | 0,973                    | 31,98                          | 0,56                           |
| 380                | 18,48      | 2,89%                    | 0,971                    | 32,03                          | 0,58                           |
| 400                | 18,80      | 3,04%                    | 0,970                    | 32,08                          | 0,59                           |
| 420                | 19,15      | 3,19%                    | 0,968                    | 32,13                          | 0,60                           |
| 440                | 19,31      | 3,35%                    | 0,967                    | 32,18                          | 0,60                           |
| 460                | 19,45      | 3,50%                    | 0,965                    | 32,23                          | 0,60                           |
| 480                | 19,50      | 3,65%                    | 0,963                    | 32,28                          | 0,60                           |
| 500                | 19,62      | 3,80%                    | 0,962                    | 32,34                          | 0,61                           |
| 520                | 19,44      | 3,95%                    | 0,960                    | 32,39                          | 0,60                           |
| 540                | 19,31      | 4,11%                    | 0,959                    | 32,44                          | 0,60                           |

ELABORO

REVISO

Nombre: GILDARDO VARGAS QUINTERO

Nombre: JHONN VARGAS QUINTERO

Cargo: TÉCNICO LABORATORISTA

Cargo: ING GEOTECNISTA

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

CLIENTE: Universidad Católica

LOCALIZACIÓN: Engativá Pueblo

FECHA: 13/09/2018

DESCRIPCIÓN: Arcilla color gris claro con manchas de oxidación, de consistencia baja.

MUESTRA No.: 1

PROFUNDIDAD (m): 2.30-2.80

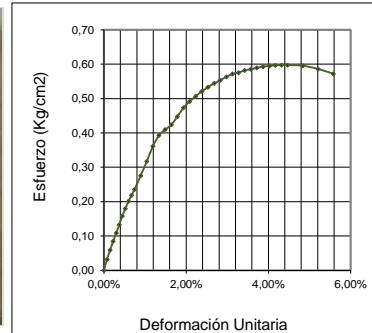
PERFORACIÓN No.: 2

| PROBETA                    |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| DIMENSIONES DE LA MUESTRA  | INICIAL  | FINAL    |
|                            | PROMEDIO | PROMEDIO |
| Diámetro (cm)              | 6,24     | 6,33     |
| Altura (cm)                | 13,43    | 12,72    |
| Área (cm <sup>2</sup> )    | 30,58    | 31,50    |
| Peso (g)                   | 670,50   | 666,10   |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 410,812  | 400,616  |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,632    | 1,663    |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,044    | 1,064    |

**FOTO MUESTRA**



**GRAFICO DE LA MUESTRA**



**HUMEDAD NATURAL**

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| Recipiente No.        | P34          |
| Peso suelo húmedo (g) | 116,71       |
| Peso suelo seco (g)   | 90,16        |
| Peso de la lata (g)   | 42,99        |
| <b>Humedad (%)</b>    | <b>56.3%</b> |

Consistencia del suelo  
**Qu= 0,60 Ka/cm<sup>2</sup>**  
**Cu= 0,30 Ka/cm<sup>2</sup>**  
 Media

| DEFORMACIÓN<br>0.001" | CARGA<br>(Kg) | DEFORMACION<br>UNITARIA (%) | 1 - DEFORMACIÓN<br>UNITARIA | ÁREA CORREGIDA<br>cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0                     | 0             | 0,00%                       | 1,000                       | 30,58                             | 0,00                              |
| 10                    | 0,99          | 0,07%                       | 0,999                       | 30,60                             | 0,03                              |
| 20                    | 1,80          | 0,15%                       | 0,999                       | 30,63                             | 0,06                              |
| 30                    | 2,58          | 0,22%                       | 0,998                       | 30,65                             | 0,08                              |
| 40                    | 3,33          | 0,30%                       | 0,997                       | 30,67                             | 0,11                              |
| 50                    | 4,08          | 0,37%                       | 0,996                       | 30,70                             | 0,13                              |
| 60                    | 4,86          | 0,45%                       | 0,996                       | 30,72                             | 0,16                              |
| 70                    | 5,53          | 0,52%                       | 0,995                       | 30,74                             | 0,18                              |
| 80                    | 6,18          | 0,60%                       | 0,994                       | 30,76                             | 0,20                              |
| 90                    | 6,72          | 0,67%                       | 0,993                       | 30,79                             | 0,22                              |
| 100                   | 7,26          | 0,74%                       | 0,993                       | 30,81                             | 0,24                              |
| 120                   | 8,51          | 0,89%                       | 0,991                       | 30,86                             | 0,28                              |
| 140                   | 9,81          | 1,04%                       | 0,990                       | 30,90                             | 0,32                              |
| 160                   | 11,18         | 1,19%                       | 0,988                       | 30,95                             | 0,36                              |
| 180                   | 12,18         | 1,34%                       | 0,987                       | 31,00                             | 0,39                              |
| 200                   | 12,71         | 1,49%                       | 0,985                       | 31,04                             | 0,41                              |
| 220                   | 13,17         | 1,64%                       | 0,984                       | 31,09                             | 0,42                              |
| 240                   | 13,93         | 1,79%                       | 0,982                       | 31,14                             | 0,45                              |
| 260                   | 14,76         | 1,94%                       | 0,981                       | 31,19                             | 0,47                              |
| 280                   | 15,35         | 2,08%                       | 0,979                       | 31,23                             | 0,49                              |
| 300                   | 15,86         | 2,23%                       | 0,978                       | 31,28                             | 0,51                              |
| 320                   | 16,32         | 2,38%                       | 0,976                       | 31,33                             | 0,52                              |
| 340                   | 16,73         | 2,53%                       | 0,975                       | 31,38                             | 0,53                              |
| 360                   | 17,10         | 2,68%                       | 0,973                       | 31,42                             | 0,54                              |
| 380                   | 17,42         | 2,83%                       | 0,972                       | 31,47                             | 0,55                              |
| 400                   | 17,75         | 2,98%                       | 0,970                       | 31,52                             | 0,56                              |
| 420                   | 18,06         | 3,13%                       | 0,969                       | 31,57                             | 0,57                              |
| 440                   | 18,20         | 3,28%                       | 0,967                       | 31,62                             | 0,58                              |
| 460                   | 18,44         | 3,42%                       | 0,966                       | 31,67                             | 0,58                              |
| 480                   | 18,57         | 3,57%                       | 0,964                       | 31,71                             | 0,59                              |
| 500                   | 18,73         | 3,72%                       | 0,963                       | 31,76                             | 0,59                              |
| 520                   | 18,86         | 3,87%                       | 0,961                       | 31,81                             | 0,59                              |
| 540                   | 18,96         | 4,02%                       | 0,960                       | 31,86                             | 0,60                              |
| 560                   | 19,05         | 4,17%                       | 0,958                       | 31,91                             | 0,60                              |
| 580                   | 19,09         | 4,32%                       | 0,957                       | 31,96                             | 0,60                              |
| 600                   | 19,13         | 4,47%                       | 0,955                       | 32,01                             | 0,60                              |
| 650                   | 19,14         | 4,84%                       | 0,952                       | 32,14                             | 0,60                              |
| 700                   | 18,91         | 5,21%                       | 0,948                       | 32,26                             | 0,59                              |
| 750                   | 18,53         | 5,58%                       | 0,944                       | 32,39                             | 0,57                              |

ELABORÓ

REVISÓ

Nombre: GILDARDO VARGAS QUINTERO

Nombre: JHONN VARGAS QUINTERO

Cargo: TÉCNICO LABORATORISTA

Cargo: ING GEOTECNISTA

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.



CLIENTE: Universidad Católica

LOCALIZACIÓN: Engativá Pueblo

FECHA:13/09/2018

DESCRIPCIÓN: Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.

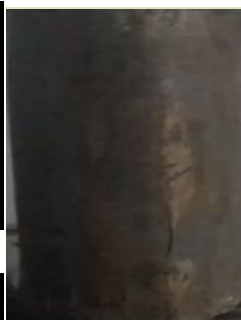
MUESTRA No.:5

PROFUNDIDAD (m): 4.00-4.50

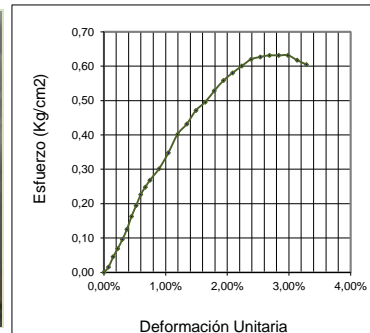
PERFORACIÓN No.: 2

| DIMENSIONES DE LA MUESTRA  | INICIAL  | FINAL    |
|----------------------------|----------|----------|
|                            | PROMEDIO | PROMEDIO |
| Diámetro (cm)              | 6,29     | 6,34     |
| Altura (cm)                | 13,41    | 13,20    |
| Área (cm <sup>2</sup> )    | 31,07    | 31,54    |
| Peso (g)                   | 598,00   | 594,30   |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 416,593  | 416,280  |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,435    | 1,428    |
| g/cm <sup>3</sup>          | 0,910    | 0,905    |

**FOTO MUESTRA**



**GRAFICO DE LA MUESTRA**



**HUMEDAD NATURAL**

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| Recipiente No.        | P53          |
| Peso suelo húmedo (g) | 88,50        |
| Peso suelo seco (g)   | 69,12        |
| Peso de la lata (g)   | 35,53        |
| <b>Húmedad (%)</b>    | <b>57,7%</b> |

Qu= 0,63 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Cu= 0,32 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Consistencia del suelo: Media

| DEFORMACIÓN<br>0.001" | CARGA<br>(Kg) | DEFORMACION<br>UNITARIA (%) | 1 - DEFORMACIÓN<br>UNITARIA | ÁREA CORREGIDA<br>cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0                     | 0             | 0,00%                       | 1,000                       | 31,07                             | 0,00                              |
| 10                    | 0,47          | 0,07%                       | 0,999                       | 31,10                             | 0,02                              |
| 20                    | 1,41          | 0,15%                       | 0,999                       | 31,12                             | 0,05                              |
| 30                    | 2,14          | 0,22%                       | 0,998                       | 31,14                             | 0,07                              |
| 40                    | 2,98          | 0,30%                       | 0,997                       | 31,17                             | 0,10                              |
| 50                    | 3,91          | 0,37%                       | 0,996                       | 31,19                             | 0,13                              |
| 60                    | 5,09          | 0,45%                       | 0,996                       | 31,21                             | 0,16                              |
| 70                    | 6,07          | 0,52%                       | 0,995                       | 31,24                             | 0,19                              |
| 80                    | 7,08          | 0,60%                       | 0,994                       | 31,26                             | 0,23                              |
| 90                    | 7,76          | 0,67%                       | 0,993                       | 31,28                             | 0,25                              |
| 100                   | 8,40          | 0,75%                       | 0,993                       | 31,31                             | 0,27                              |
| 120                   | 9,47          | 0,90%                       | 0,991                       | 31,35                             | 0,30                              |
| 140                   | 10,92         | 1,04%                       | 0,990                       | 31,40                             | 0,35                              |
| 160                   | 12,64         | 1,19%                       | 0,988                       | 31,45                             | 0,40                              |
| 180                   | 13,60         | 1,34%                       | 0,987                       | 31,50                             | 0,43                              |
| 200                   | 14,87         | 1,49%                       | 0,985                       | 31,54                             | 0,47                              |
| 220                   | 15,66         | 1,64%                       | 0,984                       | 31,59                             | 0,50                              |
| 240                   | 16,72         | 1,79%                       | 0,982                       | 31,64                             | 0,53                              |
| 260                   | 17,70         | 1,94%                       | 0,981                       | 31,69                             | 0,56                              |
| 280                   | 18,43         | 2,09%                       | 0,979                       | 31,74                             | 0,58                              |
| 300                   | 19,10         | 2,24%                       | 0,978                       | 31,78                             | 0,60                              |
| 320                   | 19,74         | 2,39%                       | 0,976                       | 31,83                             | 0,62                              |
| 340                   | 19,99         | 2,54%                       | 0,975                       | 31,88                             | 0,63                              |
| 360                   | 20,17         | 2,69%                       | 0,973                       | 31,93                             | 0,63                              |
| 380                   | 20,19         | 2,83%                       | 0,972                       | 31,98                             | 0,63                              |
| 400                   | 20,24         | 2,98%                       | 0,970                       | 32,03                             | 0,63                              |
| 420                   | 19,81         | 3,13%                       | 0,969                       | 32,08                             | 0,62                              |
| 440                   | 19,44         | 3,28%                       | 0,967                       | 32,13                             | 0,61                              |

ELABORÓ

REVISÓ

Nombre: GILDARDO VARGAS QUINTERO

Nombre: JHONN VARGAS QUINTERO

Cargo: TÉCNICO LABORATORISTA

Cargo: ING GEOTECNISTA

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

CLIENTE: Universidad Católica

LOCALIZACIÓN: Engativá Pueblo

FECHA:13/09/2018

DESCRIPCIÓN: Arcilla color gris claro con manchas de oxidación, de consistencia baja.

MUESTRA No.:1

PROFUNDIDAD (m): 2.30-2.80

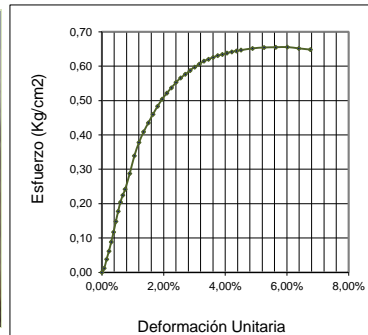
PERFORACIÓN No.: 2

| PROBETA                    |                  |                |
|----------------------------|------------------|----------------|
| DIMENSIONES DE LA MUESTRA  | INICIAL PROMEDIO | FINAL PROMEDIO |
| Diámetro (cm)              | 6,28             | 6,32           |
| Altura (cm)                | 13,31            | 12,95          |
| Área (cm <sup>2</sup> )    | 30,97            | 31,37          |
| Peso (g)                   | 717,30           | 715,00         |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 412,172          | 406,146        |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,740            | 1,760          |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,247            | 1,261          |

**FOTO MUESTRA**



**GRAFICO DE LA MUESTRA**



**HUMEDAD NATURAL**

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| Recipiente No.        | P59          |
| Peso suelo húmedo (g) | 94,09        |
| Peso suelo seco (g)   | 77,83        |
| Peso de la lata (g)   | 36,75        |
| <b>Humedad (%)</b>    | <b>39,6%</b> |

Qu= 0,66 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Cu= 0,33 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Consistencia del suelo Media

| DEFORMACIÓN 0.001" | CARGA (Kg) | DEFORMACION UNITARIA (%) | 1 - DEFORMACIÓN UNITARIA | ÁREA CORREGIDA cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup> |
|--------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0                  | 0          | 0,00%                    | 1,000                    | 30,97                          | 0,00                           |
| 10                 | 0,37       | 0,08%                    | 0,999                    | 31,00                          | 0,01                           |
| 20                 | 1,18       | 0,15%                    | 0,998                    | 31,02                          | 0,04                           |
| 30                 | 1,91       | 0,23%                    | 0,998                    | 31,04                          | 0,06                           |
| 40                 | 2,75       | 0,30%                    | 0,997                    | 31,07                          | 0,09                           |
| 50                 | 3,64       | 0,38%                    | 0,996                    | 31,09                          | 0,12                           |
| 60                 | 4,61       | 0,45%                    | 0,995                    | 31,12                          | 0,15                           |
| 70                 | 5,54       | 0,53%                    | 0,995                    | 31,14                          | 0,18                           |
| 80                 | 6,38       | 0,60%                    | 0,994                    | 31,16                          | 0,20                           |
| 90                 | 7,00       | 0,68%                    | 0,993                    | 31,19                          | 0,22                           |
| 100                | 7,55       | 0,75%                    | 0,992                    | 31,21                          | 0,24                           |
| 120                | 8,99       | 0,90%                    | 0,991                    | 31,26                          | 0,29                           |
| 140                | 10,63      | 1,05%                    | 0,989                    | 31,30                          | 0,34                           |
| 160                | 11,85      | 1,20%                    | 0,988                    | 31,35                          | 0,38                           |
| 180                | 12,84      | 1,35%                    | 0,986                    | 31,40                          | 0,41                           |
| 200                | 13,68      | 1,50%                    | 0,985                    | 31,45                          | 0,44                           |
| 220                | 14,48      | 1,65%                    | 0,983                    | 31,50                          | 0,46                           |
| 240                | 15,25      | 1,80%                    | 0,982                    | 31,54                          | 0,48                           |
| 260                | 15,92      | 1,95%                    | 0,980                    | 31,59                          | 0,50                           |
| 280                | 16,51      | 2,10%                    | 0,979                    | 31,64                          | 0,52                           |
| 300                | 17,03      | 2,25%                    | 0,977                    | 31,69                          | 0,54                           |
| 320                | 17,55      | 2,40%                    | 0,976                    | 31,74                          | 0,55                           |
| 340                | 18,00      | 2,56%                    | 0,974                    | 31,79                          | 0,57                           |
| 360                | 18,35      | 2,71%                    | 0,973                    | 31,84                          | 0,58                           |
| 380                | 18,74      | 2,86%                    | 0,971                    | 31,89                          | 0,59                           |
| 400                | 19,09      | 3,01%                    | 0,970                    | 31,93                          | 0,60                           |
| 420                | 19,38      | 3,16%                    | 0,968                    | 31,98                          | 0,61                           |
| 440                | 19,70      | 3,31%                    | 0,967                    | 32,03                          | 0,61                           |
| 460                | 19,91      | 3,46%                    | 0,965                    | 32,08                          | 0,62                           |
| 480                | 20,11      | 3,61%                    | 0,964                    | 32,13                          | 0,63                           |
| 500                | 20,31      | 3,76%                    | 0,962                    | 32,18                          | 0,63                           |
| 520                | 20,44      | 3,91%                    | 0,961                    | 32,23                          | 0,63                           |
| 540                | 20,61      | 4,06%                    | 0,959                    | 32,29                          | 0,64                           |
| 560                | 20,76      | 4,21%                    | 0,958                    | 32,34                          | 0,64                           |
| 580                | 20,87      | 4,36%                    | 0,956                    | 32,39                          | 0,64                           |
| 600                | 20,98      | 4,51%                    | 0,955                    | 32,44                          | 0,65                           |
| 650                | 21,23      | 4,88%                    | 0,951                    | 32,57                          | 0,65                           |
| 700                | 21,40      | 5,26%                    | 0,947                    | 32,69                          | 0,65                           |
| 750                | 21,51      | 5,64%                    | 0,944                    | 32,82                          | 0,66                           |
| 800                | 21,61      | 6,01%                    | 0,940                    | 32,96                          | 0,66                           |
| 850                | 21,57      | 6,39%                    | 0,936                    | 33,09                          | 0,65                           |
| 900                | 21,54      | 6,76%                    | 0,932                    | 33,22                          | 0,65                           |

ELABORÓ

REVISÓ

Nombre: GILDARDO VARGAS QUINTERO

Nombre: JHONN VARGAS QUINTERO

Cargo: TÉCNICO LABORATORISTA

Cargo: ING GEOTECNISTA

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

CLIENTE: Universidad Católica

LOCALIZACIÓN: Engativá Pueblo

FECHA: 13/09/2018

DESCRIPCIÓN: Arcilla color gris verdoso, de consistencia baja.

MUESTRA No.: 5

PROFUNDIDAD (m): 4.50-5.00

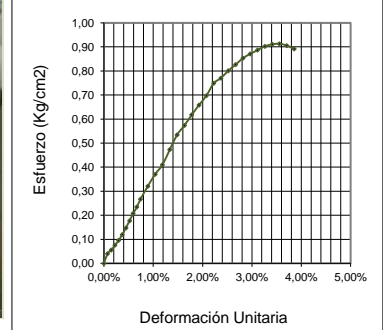
PERFORACIÓN No.: 3

| PROBETA                    |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| DIMENSIONES DE LA MUESTRA  | INICIAL  | FINAL    |
|                            | PROMEDIO | PROMEDIO |
| Diámetro (cm)              | 6,27     | 6,39     |
| Altura (cm)                | 13,49    | 13,14    |
| Área (cm <sup>2</sup> )    | 30,88    | 32,07    |
| Peso (g)                   | 612,30   | 611,60   |
| Volumen (cm <sup>3</sup> ) | 416,418  | 421,286  |
| g/cm <sup>3</sup>          | 1,470    | 1,452    |
| g/cm <sup>3</sup>          | 0,939    | 0,927    |

**FOTO MUESTRA**



**GRAFICO DE LA MUESTRA**



**HUMEDAD NATURAL**

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| Recipiente No.        | P61          |
| Peso suelo húmedo (g) | 104,26       |
| Peso suelo seco (g)   | 78,81        |
| Peso de la lata (g)   | 33,89        |
| <b>Humedad (%)</b>    | <b>56.7%</b> |

Qu= 0,91 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Cu= 0,46 **Ka/cm<sup>2</sup>**  
Consistencia del suelo: Media

| DEFORMACIÓN<br>0.001" | CARGA<br>(Kg) | DEFORMACION<br>UNITARIA (%) | 1 - DEFORMACIÓN<br>UNITARIA | ÁREA CORREGIDA<br>cm <sup>2</sup> | RESISTENCIA<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0                     | 0             | 0,00%                       | 1,000                       | 30,88                             | 0,00                              |
| 10                    | 1,25          | 0,07%                       | 0,999                       | 30,90                             | 0,04                              |
| 20                    | 1,72          | 0,15%                       | 0,999                       | 30,92                             | 0,06                              |
| 30                    | 2,33          | 0,22%                       | 0,998                       | 30,95                             | 0,08                              |
| 40                    | 2,95          | 0,30%                       | 0,997                       | 30,97                             | 0,10                              |
| 50                    | 3,71          | 0,37%                       | 0,996                       | 30,99                             | 0,12                              |
| 60                    | 4,57          | 0,44%                       | 0,996                       | 31,01                             | 0,15                              |
| 70                    | 5,50          | 0,52%                       | 0,995                       | 31,04                             | 0,18                              |
| 80                    | 6,44          | 0,59%                       | 0,994                       | 31,06                             | 0,21                              |
| 90                    | 7,28          | 0,67%                       | 0,993                       | 31,08                             | 0,23                              |
| 100                   | 8,31          | 0,74%                       | 0,993                       | 31,11                             | 0,27                              |
| 120                   | 10,00         | 0,89%                       | 0,991                       | 31,15                             | 0,32                              |
| 140                   | 11,56         | 1,04%                       | 0,990                       | 31,20                             | 0,37                              |
| 160                   | 12,81         | 1,19%                       | 0,988                       | 31,25                             | 0,41                              |
| 180                   | 14,80         | 1,33%                       | 0,987                       | 31,29                             | 0,47                              |
| 200                   | 16,75         | 1,48%                       | 0,985                       | 31,34                             | 0,53                              |
| 220                   | 18,00         | 1,63%                       | 0,984                       | 31,39                             | 0,57                              |
| 240                   | 19,41         | 1,78%                       | 0,982                       | 31,44                             | 0,62                              |
| 260                   | 20,73         | 1,93%                       | 0,981                       | 31,48                             | 0,66                              |
| 280                   | 21,98         | 2,08%                       | 0,979                       | 31,53                             | 0,70                              |
| 300                   | 23,64         | 2,22%                       | 0,978                       | 31,58                             | 0,75                              |
| 320                   | 24,37         | 2,37%                       | 0,976                       | 31,63                             | 0,77                              |
| 340                   | 25,38         | 2,52%                       | 0,975                       | 31,67                             | 0,80                              |
| 360                   | 26,21         | 2,67%                       | 0,973                       | 31,72                             | 0,83                              |
| 380                   | 27,11         | 2,82%                       | 0,972                       | 31,77                             | 0,85                              |
| 400                   | 27,71         | 2,97%                       | 0,970                       | 31,82                             | 0,87                              |
| 420                   | 28,26         | 3,11%                       | 0,969                       | 31,87                             | 0,89                              |
| 440                   | 28,81         | 3,26%                       | 0,967                       | 31,92                             | 0,90                              |
| 460                   | 29,11         | 3,41%                       | 0,966                       | 31,97                             | 0,91                              |
| 480                   | 29,24         | 3,56%                       | 0,964                       | 32,02                             | 0,91                              |
| 500                   | 29,04         | 3,71%                       | 0,963                       | 32,07                             | 0,91                              |
| 520                   | 28,65         | 3,86%                       | 0,961                       | 32,11                             | 0,89                              |

ELABORÓ

REVISÓ

Nombre: GILDARDO VARGAS QUINTERO

Nombre: JHONN VARGAS QUINTERO

Cargo: TÉCNICO LABORATORISTA

Cargo: ING GEOTECNISTA

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

**ANEXO D.**  
**Resumen de**  
**laboratorio y carta**  
**de plasticidad.**

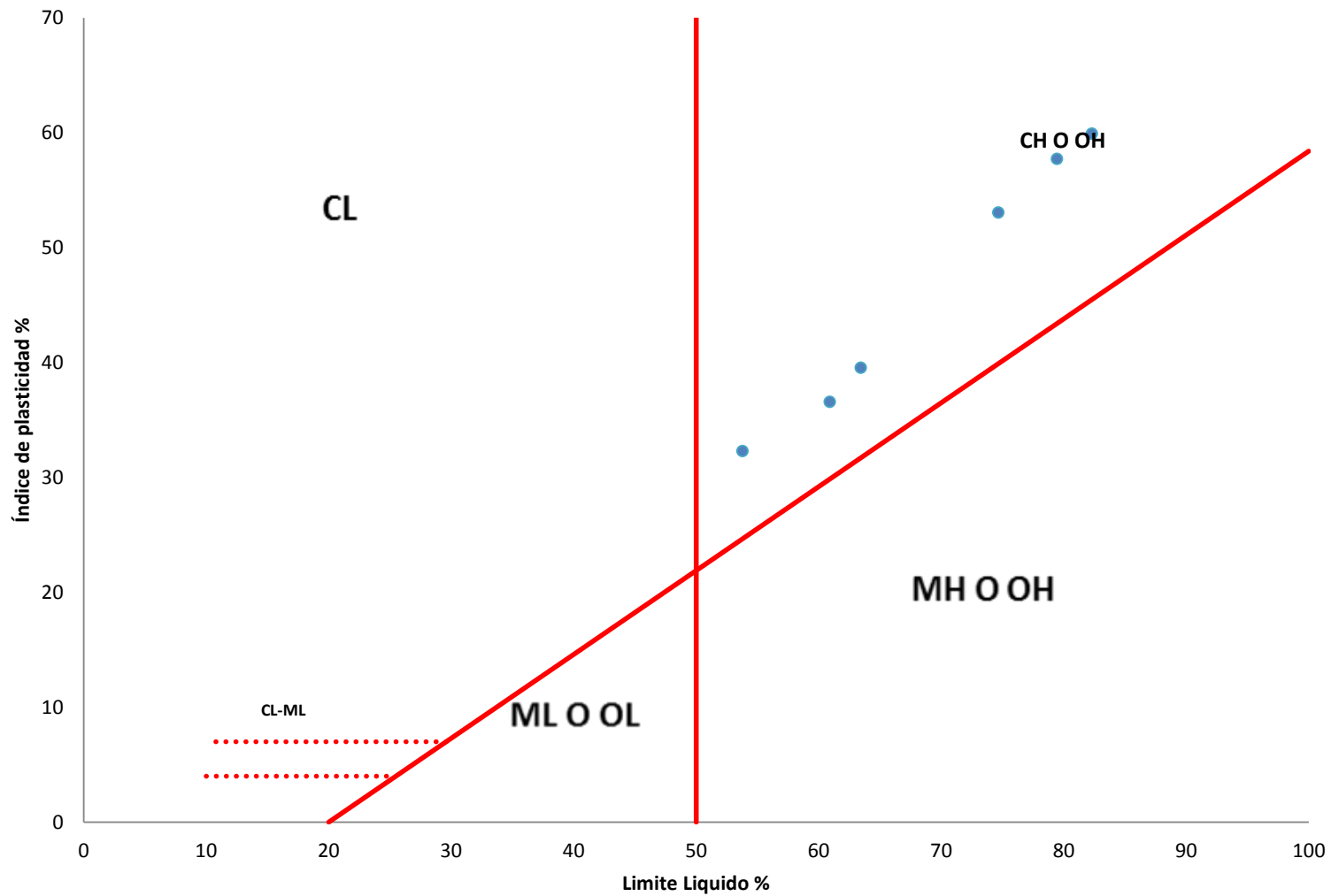
## ESTUDIOS GEOTECNICOS RESUMEN DE LABORATORIO

| SONDEO | MUESTRA | PROF.<br>(m) | Prof.<br>Promedio<br>(m) | HUMEDAD<br>% | LIMITES DE ATTERBERG<br>% |       |       | $\gamma$<br>g/cm <sup>3</sup> | C<br>Kg/cm <sup>2</sup> | C <sub>e</sub><br>Kg/cm <sup>2</sup> | $\phi$ | M.O<br>% | PORCENTAJE ACUMULADO<br>% |       |       | CLASIFICACION<br>DE SUELOS<br><br>SUCS |
|--------|---------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------|----------|---------------------------|-------|-------|--|
|        |         |              |                          |              | L.L.                      | L.P.  | I.P.  |                               |                         |                                      |        |          | Grava                     | Arena | Fino  |  |
| S - 01 | M - 4   | 3,40 - 3,90  | 3,65                     | 44,71        | 61                        | 24    | 37    |                               |                         |                                      |        |          | 0,00                      | 1,13  | 98,87 | CH                                     |
| S - 01 | M - 8   | 5,50 - 6,00  | 5,75                     | 56,85        | 75                        | 22    | 53    |                               |                         |                                      |        |          | 0,00                      | 0,75  | 99,25 | CH                                     |
| S - 02 | M - 4   | 3,30 - 3,80  | 3,55                     | 56,29        | 63                        | 24    | 40    |                               |                         |                                      |        |          | 0,00                      | 1,36  | 98,64 | CH                                     |
| S - 02 | M - 8   | 5,00 - 5,50  | 5,25                     | 57,70        | 82,30                     | 22,36 | 59,94 |                               |                         |                                      |        |          | 0,00                      | 1,20  | 98,80 | CH                                     |
| S - 03 | M - 4   | 3,30 - 3,80  | 3,55                     | 39,58        | 53,77                     | 21,46 | 32,31 |                               |                         |                                      |        |          | 0,00                      | 1,06  | 98,94 | CH                                     |
| S - 03 | M - 8   | 5,50 - 6,00  | 5,75                     | 56,66        | 79,44                     | 21,72 | 57,73 |                               |                         |                                      |        |          | 0,00                      | 0,74  | 99,26 | CH                                     |

El resultado del ( $P_e$ ) esta corregida por la densidad del agua y la humedad. Mayores detalles en la hoja del ensayo

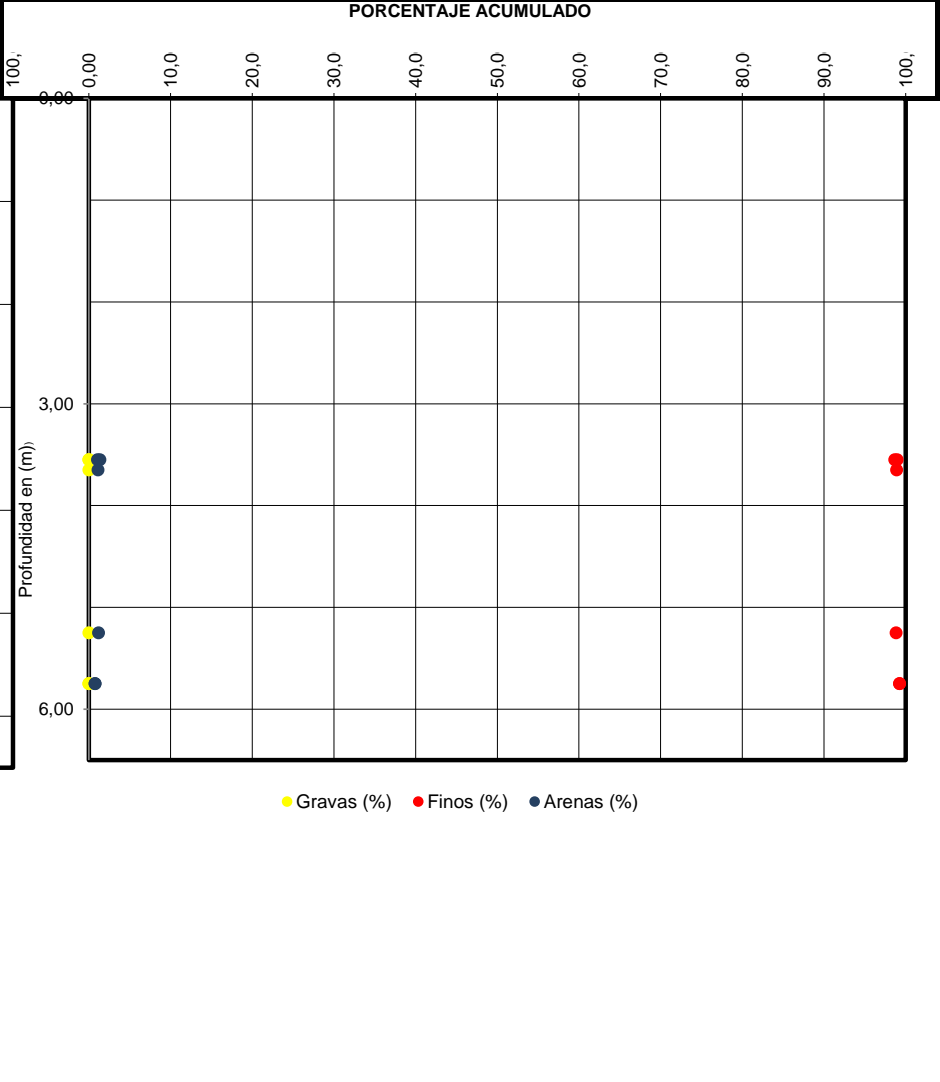
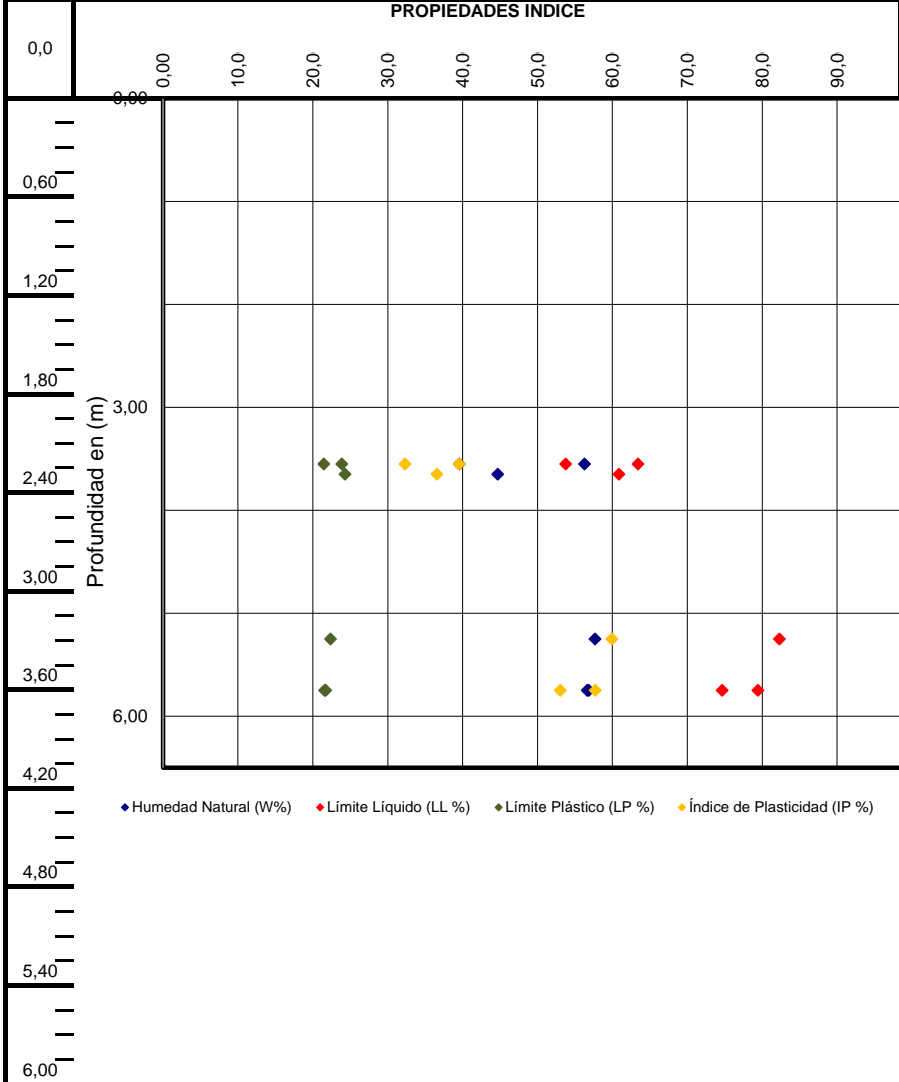
|                     |   |                  |      |      |      |      |  |  |  |  |  |  |     |     |      |
|---------------------|---|------------------|------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|-----|-----|------|
| <b>CANTIDAD</b>     | : | Nº               | 6    | 6    | 6    | 0    |  |  |  |  |  |  | 6   | 6   | 6    |
| <b>PROMEDIO</b>     | : | X                | 52,0 | 69,1 | 22,6 | 46,5 |  |  |  |  |  |  | 0,0 | 1,0 | 99,0 |
| <b>VALOR MAXIMO</b> | : | V <sub>max</sub> | 57,7 | 82,3 | 24,3 | 59,9 |  |  |  |  |  |  | 0,0 | 1,4 | 99,3 |
| <b>VALOR MINIMO</b> | : | V <sub>min</sub> | 39,6 | 53,8 | 21,5 | 32,3 |  |  |  |  |  |  | 0,0 | 0,7 | 98,6 |

# Carta de Plasticidad



PROYECTO: Universidad Católica de Colombia.

LOCALIZACION Engativa pueblo.



OBSERVACIONES

**ANEXO E.**

**Registro**

**Fotográfico.**



# REGISTRO FOTOGRÁFICO

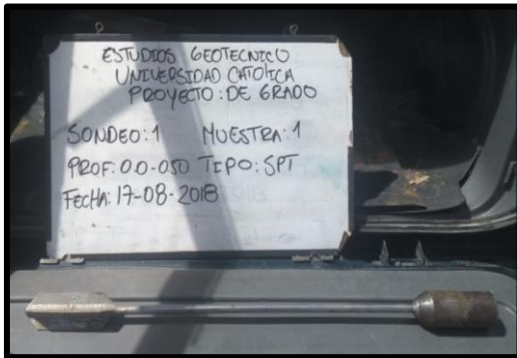


Figura 18. Veleta.



Figura 19. Tubo de pared delgada.



Figura 20. Cuchara partida.



Figura 21. Maquina multiensayos.



Figura 22. Panoramica sondeo 3.



Figura 23. Panoramica sondeo 1.



Figura 24. Panoramica lectura veleta.



Figura 25. Panoramica sondeo 2.

# REGISTRO FOTOGRÁFICO

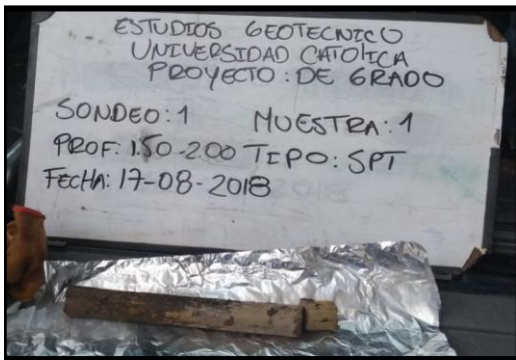


Figura 26. Muestra SPT S1 - M1.

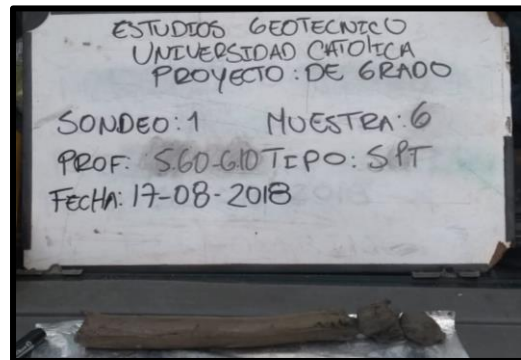


Figura 27. Muestra SPT S1 - M6.

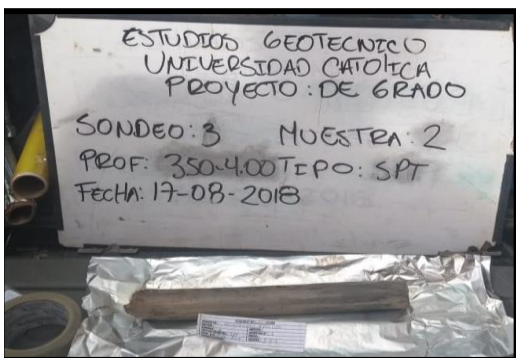


Figura 28. Muestra SPT S3 - M2.

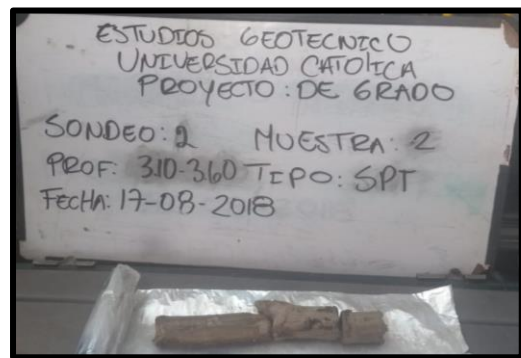


Figura 29. Muestra SPT S2 - M2.



Figura 30. Sondeo 1, Muestra 4.



Figura 31. Sondeo 5, Muestra 8.



Figura 32. Sondeo 2, Muestra 4.



Figura 33. Sondeo 2, Muestra 8.

# REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 34. Sondeo 3, Muestra 4.



Figura 35. Sondeo 3, Muestra 8.