

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON  
ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA  
DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN**

**CAMILO HERNÁNDEZ MÉNDEZ**

**WILSON YAMEL PÉREZ QUEMBA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON  
ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA  
DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN**

**CAMILO HERNÁNDEZ MÉNDEZ**

**WILSON YAMEL PÉREZ QUEMBA**

**Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Infraestructura Vial**

**Director**

**Álvaro de La Cruz Correa Arroyave**

**Doctor en Ingeniería y Mecánica de Rocas**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Director Trabajo de Grado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

## DEDICATORIA

El siguiente trabajo de grado va dedicado a dos personas muy especiales en mi vida mi madre y mi esposa, quienes siempre han estado presentes en todos los momentos importantes a lo largo de mi vida académica y en especial en el desarrollo de este trabajo que ha tenido una serie de altibajos que por fortuna se han logrado superar.

Por otra parte también se lo quiero dedicar a mi padre quien en los últimos días no ha pasado por las mejores situaciones de salud y quien a través de toda su vida ha sido un ejemplo de fortaleza y me ha enseñado que sea cual sea la situación hay que salir adelante y nunca desfallecer.

Para terminar le quiero de dicar este trabajo a mi hijo, quien hasta ahora está en el vientre de mi amada esposa y por quien voy a darlo todo en la vida, ojalá un día cuando ya crezca y se interese por los temas académicos pueda sentirse orgulloso de su padre y porque no seguir su ejemplo y compartir el gusto por esta linda profesión como lo es la ingeniería civil.

Camilo Hernández Méndez

Este proyecto de grado está dedicado a mi madre Paulina Quemba por su apoyo incondicional y sus buenas enseñanzas, a mi Padre Segundo Pérez quien hace unos años falleció y aún sigue en mis recuerdos y que se, no me ha descuidado, a mis hijos Nicolás e Isabella por quienes se hacen los esfuerzos en la vida, a mi hermano una persona incondicional a Nidia Alexandra Garzón Ojeda con quien espero pasar el resto de mi vida y me ha tenido mucha paciencia.

También quiero darle una dedicación especial a la Ingeniera Adriana Del Pilar Soacha Ortega Directora de la Maestría en Infraestructura Vial por el apoyo que nos dio al Ingeniero Camilo Hernández y a mí, cuando le propusimos este proyecto luego de sortear dificultades con propuestas anteriores, Dios la tenga en su gloria.

Wilson Yamel Pérez Quemba

### AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de sacar este trabajo adelante por iluminarme el camino a lo largo de estos años en los que a nivel mundial han pasado tantos sucesos en los que se ha visto afectada la población mundial como lo ha sido la pandemia por la Covid -19.

Por otro lado doy gracias a la Universidad Santo Tomás y en especial al Doctor Álvaro Correa quien fue nuestro director de tesis y quien nos guio en el desarrollo de la construcción de este gran proyecto, no menos importante agradezco profundamente y con gran cariño a mi compañero de tesis el Ingeniero Wilson Pérez quien ha sido de gran apoyo para la ejecución de este proyecto a través de su constancia entrega y dedicación.

. Camilo Hernández Méndez

Agradezco en primer lugar a Dios por ser esa fuerza espiritual y motivacional que me sacó adelante en el transcurso de la Maestría y en todos los momentos de mi vida.

Agradezco a mi familia por la unidad y apoyo brindados en mi vida profesional.

También agradezco a la Universidad Santo Tomás, a los profesores y compañeros de la Maestría en Infraestructura Vial, a Gerdau Diaco y su planta en el Municipio de Tuta (Boyacá) por aportarnos el material de escoria, a Flores El Futuro en el Municipio de Nemocón (Cundinamarca) por permitirnos sus instalaciones para ejecutar el tramo de prueba, a las empresas que nos colaboraron con sus servicios profesionales de ensayos de campo y de laboratorio como son: GMAS, ALPHA 1 S.A.S., GEOTECINA & CIMENTACIONES y STALO GROUP S.A.S.

También agradezco, al Ingeniero Camilo Hernández por hacerme partícipe de esta tesis, que ya venía trabajando.

Un agradecimiento especial al Doctor Álvaro Correa Arroyave, director de Tesis, por su paciencia y dedicación en el desarrollo de este proyecto de grado, que gracias a sus sugerencias, experiencia y conocimiento nos guiaron para sacar adelante este aporte para la Infraestructura Vial de nuestro país.

Wilson Yamel Pérez Quemba

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad evaluar el comportamiento del terreno natural con adiciones de escoria de acería de Gerdau Diaco, como capa de mejoramiento de la subrasante en el suelo de Nemocón. Para ello, se realiza un proceso que consiste en adicionar escoria de acería a una subrasante específica en los terrenos de Flores El Futuro en el municipio de Nemocón, para ello se construyen dos (2) tramos de prueba. El primer tramo se realiza con excavación manual y compactación con un apisonador o compactador tipo canguro (conocido como “saltarín”) y el segundo tramo consiste en excavar mecánicamente con retroexcavadora y un vibro compactador tipo benitín para su terminación.

Se extraen muestras para los ensayos de laboratorio correspondientes y se realiza el seguimiento de los tramos para observar el comportamiento de la escoria en la subrasante. Dicha observación que se acompaña con investigaciones más avanzadas y unos tramos de prueba más amplios, con la finalidad de proponer a municipios pequeños la implementación de estas técnicas en sus vías terciarias de acuerdo al tipo de subrasante que tengan. En este sentido, la escoria resulta más benéfica para el medio ambiente; toda vez, que de una parte con su uso se evitan residuos en ríos que afectan la fauna y la flora, de otra parte, el aprovechamiento del material en la construcción de vías terciarias afianzando la producción más limpia. Finalmente, una de las conclusiones más importantes es que con el uso de la escoria se ayuda a mitigar la polución comparada con las vías que son mejoradas con recebos tradicionales.

**Palabras clave:** escoria de acería de Gerdau Diaco, medio ambiente, subrasante, vías, suelo, terreno natural y evaluación.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	25
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
3.	JUSTIFICACIÓN .....	35
4.	OBJETIVOS .....	43
4.1	GENERAL .....	43
4.2	ESPECÍFICOS .....	43
5.	ALCANCE .....	44
6.	ESTADO DEL ARTE .....	45
7.	MARCO CONTEXTUAL .....	114
7.1	MARCO CONTEXTUAL E INSTITUCIONAL .....	114
7.2	MARCO LEGAL O NORMATIVO .....	114
7.3	GLOSARIO .....	115
8.	MÉTODOLÓGÍA .....	119
8.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	119
8.2	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	119
8.3	INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN: 128	
8.4	TRAMOS DE PRUEBA .....	129
9.	ESTUDIO DE TRÁNSITO .....	182
9.1	ENFOQUE Y METODOLOGÍA UTILIZADA .....	184
9.1.1	Enfoque .....	184
9.2	METODOLOGÍA .....	184
9.2.1	Recopilación de información existente .....	184
9.2.2	Caracterización del cultivo de flores .....	185
9.2.3	Cadena de flores en Colombia .....	185
9.2.4	Indicadores de producción .....	185
9.2.5	Floristería El futuro .....	186
9.2.6	Logística de transporte de flores .....	186
9.2.7	Tipologías vehiculares .....	188
9.3	TABULACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS .....	188
9.3.1	Cantidad de viajes anuales .....	188
9.3.2	Estimación del TPDA .....	189
9.4	CÁLCULO DEL TRÁNSITO DE DISEÑO .....	189
9.4.1	Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual .....	190

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

9.4.2	Tasas de crecimiento.....	190
9.5	ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS EN EL PERÍODO DE DISEÑO.....	190
9.5.1	Tránsito normal.....	190
9.5.2	Estimación de ejes equivalentes en el período de diseño .....	191
9.5.3	Cálculo de Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el año de la medición del tránsito.....	191
10.	PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	194
10.1	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	194
10.2	CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.....	194
10.2.1	Límites de Atterberg para Tramo de prueba 1 .....	194
10.3	ENSAYOS DE CBR .....	204
10.3.1	Ensayo de CBR tramo de prueba inalterado .....	204
10.3.2	Límites de Atterberg para Tramo de prueba 2 .....	214
10.3.3	Análisis de CBR para Tramo de prueba 2 .....	219
10.3.4	Análisis de resultados del CBR en el Tramo de prueba 1.....	230
10.3.5	Análisis de resultados del CBR en el Tramo de prueba 2.....	233
10.3.6	Registro fotográfico en el Tramo de prueba 1 .....	236
10.3.7	Registro fotográfico en el Tramo de prueba 2.....	238
10.3.8	Ensayo de CBR tramo con adición de escoria de acería.....	240
10.4	ENSAYO TRIAXIAL EN EL TRAMO DE PRUEBA .....	242
11.	DIAGNÓSTICO .....	250
11.1	DIAGNÓSTICO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES OBJETOS DE ESTUDIO.....	250
11.2	CARACTERIZACIÓN DE TRAMO DE PRUEBA .....	250
11.2.1	Caracterización de material Límites de Atterberg .....	250
11.2.2	Comparación CBR natural y tramo de prueba .....	254
11.2.3	Ensayo Triaxial Cu.....	254
12.	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	258
13.	CONCLUSIONES.....	259
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	260
15.	DOCUMENTOS ANEXOS.....	270

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Estado de la Red Vial primaria pavimentada en el año 2020.....	33
Figura 2. Estado de la Red Vial primaria pavimentada hasta el primer semestre del año 2021.....	33
Figura 3. Estado de la Red Vial primaria no pavimentada en el año 2020.....	34
Figura 4. Estado de la Red Vial primaria no pavimentada hasta el primer semestre del año 2021.....	34
Figura 5. Historia de Gerdau y el acero en Colombia.....	36
Figura 6. Proceso Siderúrgico en Colombia.....	37
Figura 7. Proceso de lixiviación.....	62
Figura 8. Pruebas de CBR. ....	70
Figura 9. Curva de esfuerzo cortante-desplazamiento de corte (14% de contenido de humedad del Grupo G20 por 1 día de tiempo de curado).....	75
Figura 10. Contenido de humedad, curva de resistencia al corte.....	76
Figura 11. Curva de resistencia al corte – contenido de humedad.....	76
Figura 12. Asentamiento vertical a lo largo de la línea central del terraplén. ...	77
Figura 13. Variación de los límites de Atterberg con el contenido de escoria de acería. ....	79
Figura 14. Utilización de escoria de acería en Japón, Europa, Estado Unidos y China.....	81
Figura 15. Progresión de la producción mundial de acero bruto desde 1950 hasta 2017. ....	82
Figura 16. Clasificación de las escorias siderúrgicas según su procedencia. ...	83
Figura 17. Proceso de fabricación del acero y de las escorias generadas.....	85
Figura 18. Esquema de un Horno Cuchara (Landa, P., 2017). ....	90
Figura 19. Proceso de fabricación del HEA (Cañas G., J., 2012).....	90
Figura 20. Proceso de fabricación del HEA (Cañas G., J., 2012).....	91
Figura 21. Representación esquemática del proceso de fabricación del acero en Horno Eléctrico de Arco y posterior refino en Horno Cuchara (Yildirim & Prezzi, 2011). ....	92
Figura 22. Generalidades sobre Gerdau en el mundo. ....	107
Figura 23. Ruta desde la planta de Gerdau Diaco en Tuta (Boyacá) hasta los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón (Cundinamarca).....	138
Figura 24. Localización de los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro. ....	138
Figura 25. Localización de los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro. ....	139
Figura 26. Localización de los tramos de prueba 1 y 2. ....	139

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 27. <i>Tramo de prueba 1, vista en planta.</i> .....	140
Figura 28. <i>Tramo de prueba 1, vista en perfil con la estratigrafía.</i> .....	141
Figura 29. <i>Tramo de prueba 2, vista en planta.</i> .....	159
Figura 30. <i>Tramo de prueba 2, vista en perfil con la estratigrafía.</i> .....	160
Figura 31. <i>Especificaciones de la retroexcavadora John Deere, utilizada en la implementación del tramo de prueba 2.</i> .....	167
Figura 32. <i>Especificaciones del rodillo compactador, utilizado en la implementación del tramo de prueba 2.</i> .....	168
Figura 33. <i>Camión de diseño Tipo C3, vista en corte.</i> .....	179
Figura 34. <i>Camión de diseño Tipo C3, vista superior.</i> .....	179
Figura 35. <i>Camión de diseño Tipo C2, vista en corte.</i> .....	180
Figura 36. <i>Camión de diseño Tipo C2, vista superior.</i> .....	180
Figura 37. <i>Pesos y dimensiones del vehículo de diseño – C3 (Mintransporte, 2004).</i> .....	181
Figura 38. <i>Localización general de la zona de estudio.</i> .....	182
Figura 39. <i>Floristería el Futuro en Nemocón.</i> .....	183
Figura 40. <i>Composición de la cadena de flores en Colombia.</i> .....	185
Figura 41. <i>Tipos de cajas para empaques de flores.</i> .....	187
Figura 42. <i>Camión tipo para el transporte de flores</i> .....	188
Figura 43. <i>Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.</i> .....	196
Figura 44. <i>Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.</i> .....	198
Figura 45. <i>Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.</i> .....	201
Figura 46. <i>Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.</i> .....	203
Figura 47. <i>Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1, de 0.00 m a 0.020 m.</i> .....	205
Figura 48. <i>Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 2, de 0.10 m – 0.30 m.</i> .....	207
Figura 49. <i>Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3.</i> .....	208
Figura 50. <i>Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1 del Apique 2.</i> .....	210
Figura 51. <i>Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 2 en el Tramo 1.</i> ..	212
Figura 52. <i>Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3, en el Tramo de Prueba 1 con adición de escoria.</i> .....	214
Figura 53. <i>Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.</i> .....	216

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 54. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	219
Figura 55. CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 1 en el Tramo de prueba 2. ....	220
Figura 56. CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 2 en el Tramo de prueba 2. ....	222
Figura 57. Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2. ....	224
Figura 58. Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 1 en el Tramo de prueba 2. ....	225
Figura 59. Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 2 en el Tramo de prueba 2. ....	227
Figura 60. Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2. ....	229
Figura 61. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria. ....	230
Figura 62. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria. ....	230
Figura 63. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno con adiciones de escoria. ....	231
Figura 64. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno con adiciones de escoria. ....	231
Figura 65. Comparación del CBR de Tramo 1 de prueba entre el terreno natural y adición de escoria. ....	232
Figura 66. Se muestra CBR comparación de Tramo 1 de prueba entre natural y adición de escoria. ....	232
Figura 67. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria. ....	233
Figura 68. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria. ....	233
Figura 69. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno con adiciones de escoria. ....	234
Figura 70. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno con adiciones de escoria. ....	234
Figura 71. Comparación del CBR de Tramo 2 de prueba entre el terreno natural y adición de escoria. ....	235
Figura 72. Comparación del CBR de Tramo 2 de prueba entre el terreno natural y adición de escoria. ....	235
Figura 73. Resultado del ensayo de CBR del suelo natural con la escoria de acería. ....	241

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 74. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	249
Figura 75. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	249
Figura 76. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	255
Figura 77. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	256
Figura 78. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	257
Figura 79. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	257

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Carta Gerdau Diaco, donde se atiende la solicitud del material de escoria.....	270
Anexo 2. Registro Único Tributario de Flores el Futuro S.A. ....	271
Anexo 3. Cámara de Comercio de Flores el Futuro S.A. ....	272
Anexo 4. Carta de aceptación de Flores El Futuro S.A., para la implementación del tramo de prueba en la vía de acceso a sus cultivos. ....	273
Anexo 5. Cotización para la elaboración de sección delgada de roca, digitalización de secciones delgadas y análisis de pH por cinta marcadora en la escoria de acería. ....	274
Anexo 6. Cotización para la determinación elemental y mineralógica mediante las técnicas de Fluorescencia de Rayos (WDXRF y EDXRF) en la escoria de acería. ....	275
Anexo 7. Cotización para el ensayo de Abrasión de la escoria de acería. ....	276
Anexo 8. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. ....	277
Anexo 9. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-2, de 0.10 m a 0.30 m.....	278
Anexo 10. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-3, de 0.10 m a 0.30 m.....	279
Anexo 11. Resultados de laboratorio del contenido de materia orgánica del suelo en el tramo de prueba 1. ....	280
Anexo 12. Resultado del registro de Campo, descripción del subsuelo en el tramo de prueba 1. ....	281
Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1. ....	282
Anexo 14. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-2. ....	283
Anexo 15. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-3. ....	284
Anexo 16. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-4. ....	285
Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3. ....	286
Anexo 18. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería. ....	287

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 19. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería. ....	288
Anexo 20. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería. ....	289
Anexo 21. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería. ....	290
Anexo 22. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería. ....	291
Anexo 23. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería. ....	292
Anexo 24. Resultado del ensayo de Fluorescencia de Rayos X en la escoria de acería. ....	293
Anexo 25. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Perforación AP-2, muestra M-1.....	294
Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.....	295
Anexo 27. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-3.....	296
Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1. ....	297
Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3. ....	298
Anexo 30. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	299
Anexo 31. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	300
Anexo 32. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	301
Anexo 33. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	302
Anexo 34. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	303
Anexo 35. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	304
Anexo 36. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	305

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 37. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.....	306
Anexo 38. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3. ....	307
Anexo 39. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-1. ....	308
Anexo 40. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-2. ....	309
Anexo 41. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-3. ....	310
Anexo 42. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.....	311
Anexo 43. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.....	312
Anexo 44. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.....	313
Anexo 45. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.....	314
Anexo 46. Resultados del ensayo de abrasión en la escoria de acería. ....	315
Anexo 47. Resultados de la granulometría en la escoria de acería. ....	316
Anexo 48. Resultado de análisis pH en la escoria de acería. ....	317
Anexo 49. Resultado de análisis de pH en la escoria de acería.....	318
Anexo 50. Digitalización de sección delgada de la escoria de acería. ....	319
Anexo 51. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR Muestra No1 Profundidad 0.00 m - 0.20 m. CBR NATURAL T1 SN K0+0.03. ....	320

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

### ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. <i>Vía acceso al cultivo (Floristería El Futuro)</i> .....	38
Fotografía 2. <i>Vía interna del cultivo (Floristería El Futuro)</i> .....	38
Fotografía 3. <i>Material descargado en el tramo 1 de prueba en el Municipio de Nemocón</i> .....	39
Fotografía 4. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	39
Fotografía 5. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	40
Fotografía 6. <i>Tipo de suelo denominado Moorum</i> .....	69
Fotografía 7. <i>Escorias de horno eléctrico de arco: EAFS (izq.) y LFS (der.)(CEDEX, 2011) (EUROSLAG, 2017)</i> .....	87
Fotografía 8. <i>Muestra de la escoria obtenida de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta – Boyacá</i> .....	88
Fotografía 9. <i>Escorias de HEA: EAFS (izquierda.) y LFS (derecha.)(Cañas G., J., 2012) (Hernández, J., 2007)</i> .....	95
Fotografía 10. <i>Muestra de la escoria obtenida de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta – Boyacá</i> .....	95
Fotografía 11. <i>Vía intermunicipal desde tuta hacia el municipio de Toca</i> .....	110
Fotografía 12. <i>Vía intermunicipal desde tuta hacia el municipio de Toca, utilización de agregado siderúrgico a lo largo de 14 Km</i> .....	110
Fotografía 13. <i>Ensayo de desgaste de los agregados. Tamizado y máquina de los Ángeles</i> .....	123
Fotografía 14. <i>Ensayo de desgaste de los agregados. Esferas de acero y máquina de los Ángeles</i> .....	123
Fotografía 15. <i>Caras Fracturadas en los Agregados. Determinación de la masa de la muestra</i> .....	124
Fotografía 16. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	129
Fotografía 17. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	130
Fotografía 18. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	130
Fotografía 19. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	131
Fotografía 20. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	131
Fotografía 21. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá)</i> .....	132

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 22. <i>Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).</i> .....	132
Fotografía 23. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).</i> .....	133
Fotografía 24. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).</i> .....	133
Fotografía 25. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).</i> .....	134
Fotografía 26. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).</i> .....	134
Fotografía 27. <i>Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).</i> .....	135
Fotografía 28. <i>Carga de la escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba. ....</i>	135
Fotografía 29. <i>Carga de la escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba. ....</i>	136
Fotografía 30. <i>Salida de la escoria del patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba. ....</i>	136
Fotografía 31. <i>Salida de la escoria del patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba. ....</i>	137
Fotografía 32. <i>Tramo de prueba 1 en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro. ....</i>	142
Fotografía 33. <i>Tramo de prueba 1 en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro. ....</i>	142
Fotografía 34. <i>Tramo de prueba 1 en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro. ....</i>	143
Fotografía 35. <i>Abscisado del tramo de prueba 1.....</i>	143
Fotografía 36. <i>Nivelación del tramo de prueba 1.....</i>	144
Fotografía 37. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.....</i>	145
Fotografía 38. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.....</i>	145
Fotografía 39. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.....</i>	146
Fotografía 40. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.....</i>	146
Fotografía 41. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.....</i>	147
Fotografía 42. <i>Toma de muestras del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra 2. ....</i>	147

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 43. <i>Toma de muestras del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra 3.</i> .....	148
Fotografía 44. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.</i> .....	148
Fotografía 45. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.</i> .....	149
Fotografía 46. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.</i> .....	149
Fotografía 47. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.</i> .....	150
Fotografía 48. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.</i> .....	150
Fotografía 49. <i>Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.</i> .....	151
Fotografía 50. <i>Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.</i> .....	151
Fotografía 51. <i>Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.</i> .....	152
Fotografía 52. <i>Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.</i> .....	152
Fotografía 53. <i>Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.</i> .....	153
Fotografía 54. <i>Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.</i> .....	153
Fotografía 55. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.</i> .....	154
Fotografía 56. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.</i> .....	154
Fotografía 57. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.</i> .....	155
Fotografía 58. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.</i> .....	155
Fotografía 59. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 1.</i> .....	156
Fotografía 60. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.</i> .....	156
Fotografía 61. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 2.</i> .....	157
Fotografía 62. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 2.</i> .....	157

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 63. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 2.</i> .....	158
Fotografía 64. <i>Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 3.</i> .....	158
Fotografía 65. <i>Descarga de la escoria de Gerdau Diaco en el tramo de prueba 2.</i> .....	161
Fotografía 66. <i>Descarga de la escoria de Gerdau Diaco en el tramo de prueba 2.</i> .....	161
Fotografía 67. <i>Material descargado en el sector del tramo de prueba 2.</i> .....	162
Fotografía 68. <i>Estado del tramo de prueba 2, antes de la intervención.</i> .....	162
Fotografía 69. <i>Abscisado del tramo de prueba 2.</i> .....	163
Fotografía 70. <i>Abscisado del tramo de prueba 2.</i> .....	163
Fotografía 71. <i>Nivelación del tramo de prueba 2.</i> .....	164
Fotografía 72. <i>Nivelación del tramo de prueba 2.</i> .....	164
Fotografía 73. <i>Nivelación del tramo de prueba 2.</i> .....	165
Fotografía 74. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 2, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.</i> .....	166
Fotografía 75. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 2, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.</i> .....	166
Fotografía 76. <i>Toma de muestras en el tramo de prueba 2, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.</i> .....	167
Fotografía 77. <i>Retroexcavadora John Deere, utilizada en la implementación del tramo de prueba 2.</i> .....	168
Fotografía 78. <i>Retroexcavadora John Deere, utilizada en la implementación del tramo de prueba 2.</i> .....	169
Fotografía 79. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.</i> .....	170
Fotografía 80. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.</i> .....	170
Fotografía 81. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.</i> .....	171
Fotografía 82. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.</i> .....	171
Fotografía 83. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.</i> .....	172
Fotografía 84. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.</i> .....	172
Fotografía 85. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.</i> .....	173

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 86. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.</i> .....	173
Fotografía 87. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.</i> .....	174
Fotografía 88. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.</i> .....	174
Fotografía 89. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.</i> .....	175
Fotografía 90. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.</i> .....	175
Fotografía 91. <i>Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.</i> .....	176
Fotografía 92. <i>Toma de la muestra 1 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.</i> .....	176
Fotografía 93. <i>Toma de la muestra 2 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.</i> .....	177
Fotografía 94. <i>Toma de la muestra 3 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.</i> .....	177
Fotografía 95. <i>Toma de la muestra 3 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.</i> .....	178
Fotografía 96. <i>Tramo 1 de prueba.</i> .....	236
Fotografía 97. <i>Tramo 1 de prueba.</i> .....	237
Fotografía 98. <i>Tramo 2 de prueba.</i> .....	238
Fotografía 99. <i>Tramo 2 de prueba.</i> .....	239

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. <i>Estado de la red vial primaria a diciembre de 2020, vías pavimentadas.</i>	27
Tabla 2. <i>Estado de la red vial primaria a junio de 2021, vías pavimentadas.</i>	28
Tabla 3. <i>Estado de la red vial primaria a diciembre de 2020, vías sin pavimentar.</i>	29
Tabla 4. <i>Estado de la red vial primaria a junio de 2021, vías sin pavimentar.</i>	30
Tabla 5. <i>Estado de la red vial primaria a diciembre de 2020, calificación total.</i>	31
Tabla 6. <i>Estado de la red vial primaria a junio de 2021, calificación total.</i>	32
Tabla 7. <i>Presencia de GERDAU DIACO en Colombia.</i>	41
Tabla 8. <i>Dosificación del mortero patrón.</i>	46
Tabla 9. <i>Porcentaje de absorción de agua.</i>	46
Tabla 10. <i>Composición química de la escoria en estudio.</i>	47
Tabla 11. <i>Resumen de los ensayos con sus respectivas Normas ASTM, (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales).</i>	47
Tabla 12. <i>Resumen de los Ensayos de las Muestras de Escorias Analizadas (fase inicial).</i>	48
Tabla 13. <i>Promedio de muestras analizadas.</i>	49
Tabla 14. <i>Resumen de las propiedades obtenidas de las escorias comparadas con las especificaciones técnicas.</i>	50
Tabla 15. <i>Tipo de estabilización para suelo.</i>	50
Tabla 16. <i>Resumen de los ensayos con sus respectivas Normas ASTM.</i>	52
Tabla 17. <i>Condiciones climáticas y climatológicas de la Provincia de Pisco (Perú) y el Municipio de Nemocón (Colombia).</i>	54
Tabla 18. <i>Resultados de ensayos de Laboratorio.</i>	55
Tabla 19. <i>Composición química de la escoria negra.</i>	56
Tabla 20. <i>Top de los 10 países productores de acero.</i>	65
Tabla 21. <i>Óxidos típicos de la escoria de hierro y acero.</i>	67
Tabla 22. <i>Propiedades físicas de la escoria.</i>	71
Tabla 23. <i>Propiedades químicas de la escoria.</i>	71
Tabla 24. <i>Propiedades químicas de la escoria en diferentes países.</i>	80
Tabla 25. <i>Rangos compositivos típicos de escorias de hierro (arrabio) y acero (EUROSLAG, 2017). (Lewis, 1982) (Yildirim &amp; Prezzi, 2011)</i>	86
Tabla 26. <i>Propiedades físicas de los áridos siderúrgicos vs áridos naturales (Sheen, Wang, &amp; Sun, 2013) (Hernández, 2007).</i>	86
Tabla 27. <i>Composición química de las EAFS.</i>	92
Tabla 28. <i>Composición mineralógica de las EAFS.</i>	93

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 29. <i>Composición química de las LFS (Cañas G., J., 2012) (CEDEX, 2011) (Herrero Vázquez, T., 2015).</i> .....	94
Tabla 30. <i>Composición mineralógica de las LFS.</i> .....	94
Tabla 31. <i>Propiedades físico-mecánicas de las EAFS y LFS.</i> .....	96
Tabla 32. <i>Resultados de ensayos según normas ASTM en escorias negras.</i> 102	
Tabla 33. <i>Ensayos de mecánica de suelos y método de ensayo.</i> .....	103
Tabla 34. <i>Producción anual de acero en Colombia.</i> .....	104
Tabla 35. <i>Caracterización química de la escoria.</i> .....	104
Tabla 36. <i>Resultados prueba de peligrosidad realizada internamente en el año 2007.</i> .....	106
Tabla 37. <i>Generación de las escorias de acería eléctrica por tonelada de acero producida.</i> .....	107
Tabla 38. <i>Composición química de las escorias de acería eléctrica, agregado siderúrgico de fusión.</i> .....	108
Tabla 39. <i>Composición química de las escorias de acería eléctrica, agregado siderúrgico de Afino.</i> .....	108
Tabla 40. <i>Tipo de Ensayo y Norma del ensayo, para Caracterización – Escoria de Acería.</i> .....	121
Tabla 41. <i>Masa mínima en gramos ensayo porcentaje de caras fracturadas.</i> .....	124
Tabla 42. <i>Penetración Según Tipo de Agregado.</i> .....	125
Tabla 43. <i>Ensayos físicos a realizar a la arcilla.</i> .....	126
Tabla 44. <i>Materiales que se emplearon en el estudio.</i> .....	128
Tabla 45. <i>Ensayos realizados a la mezcla.</i> .....	128
Tabla 46. <i>Resultado de la nivelación en el tramo de prueba 1.</i> .....	144
Tabla 47. <i>Resultado de la nivelación en el tramo de prueba 2.</i> .....	165
Tabla 48. <i>Vehículos aforados en campo (repeticiones).</i> .....	184
Tabla 49. <i>Indicadores de producción.</i> .....	186
Tabla 50. <i>Cajas para el empaque de flores.</i> .....	186
Tabla 51. <i>Características de empackado de flores para exportación.</i> .....	187
Tabla 52. <i>Resumen volúmenes de tránsito.</i> .....	189
Tabla 53. <i>Tránsito promedio diario anual.</i> .....	190
Tabla 54. <i>Crecimiento del tránsito normal.</i> .....	190
Tabla 55. <i>Factores de daño INVIAS.</i> .....	191
Tabla 56. <i>Nivel de confiabilidad.</i> .....	192
Tabla 57. <i>Cálculo de ejes equivalentes Tramo de prueba Floristería El Futuro.</i> .....	193

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 58. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad. ....	194
Tabla 59. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.....	195
Tabla 60. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	195
Tabla 61. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad. ....	196
Tabla 62. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.....	197
Tabla 63. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	198
Tabla 64. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	199
Tabla 65. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.....	199
Tabla 66. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	200
Tabla 67. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	201
Tabla 68. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.....	202
Tabla 69. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	202
Tabla 70. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1, de 0.00 m a 0.020 m. ....	204
Tabla 71. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 2. ....	206
Tabla 72. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3. ....	208
Tabla 73. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1 del Apique 2.....	209
Tabla 74. Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 2 en el Tramo 1. ...	211
Tabla 75. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3, en el Tramo de Prueba 1 con adición de escoria.....	213
Tabla 76. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad. ....	214
Tabla 77. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.....	215
Tabla 78. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad. ....	216
Tabla 79. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad. ....	217

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 80. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.....	218
Tabla 81. <i>Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.</i> .....	218
Tabla 82. <i>CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 1 en el Tramo de prueba 2.</i> .....	220
Tabla 83. <i>CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 2 en el Tramo de prueba 2.</i> .....	221
Tabla 84. <i>Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2.</i> .....	223
Tabla 85. <i>Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 1 en el Tramo de prueba 2.</i> .....	225
Tabla 86. <i>Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 2 en el Tramo de prueba 2.</i> .....	226
Tabla 87. <i>Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2.</i> .....	228
Tabla 88. <i>Resultado del ensayo de CBR del suelo natural con la escoria de acería.</i> .....	240
Tabla 89. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	242
Tabla 90. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería</i> .....	245
Tabla 91. <i>Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	247
Tabla 92. <i>Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba.</i> .....	250
Tabla 93. <i>Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba.</i> .....	250
Tabla 94. <i>Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba.</i> .....	251
Tabla 95. <i>Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería, del Sondeo No. AP-1, muestra M-1.</i> .....	252
Tabla 96. <i>Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	252
Tabla 97. <i>Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.</i> .....	253
Tabla 98. <i>Resumen y comparación de los resultados de clasificación (límites), entre el terreno natural y el tramo de prueba (con escoria de acería).</i> .....	253
Tabla 99. <i>CBR tramo de prueba 1, suelo natural sin alterar.</i> .....	254
Tabla 100. <i>CBR tramo de prueba 1, mezcla.</i> .....	254

## 1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial en un país es uno de los pilares fundamentales de su economía y desarrollo, por lo cual los últimos gobiernos han implementado cambios al sistema de contratación sobre la construcción y mejoramiento de vías de alta circulación para transporte de carga, transporte de alimentos y turismo.

Como ya se mencionó se están haciendo esfuerzos para el desarrollo de las vías principales, se habla de vías de cuarta generación, también conocidas como Carreteras 4G bajo el esquema de Concesión Vial.

No menos importantes son las vías secundarias y terciarias, por donde sale la producción agrícola y ganadera hacia las principales ciudades del territorio nacional. En todo proyecto de infraestructura vial sin importar si es una carretera primaria, secundaria, terciaria o de terreno plano, ondulado, montañoso o escarpado, los agregados o materiales para su construcción hacen posible la viabilidad o no del desarrollo de estos proyectos y esto depende de las distancias donde se localicen las fuentes de materiales y su posible explotación teniendo en cuenta el punto de vista ambiental.

De acuerdo con el Plan Vial departamental Cundinamarca diciembre 2017.

El transporte terrestre se constituye en el principal modo de comunicación en todo el territorio departamental, a través de las vías de primer, segundo y tercer orden, se realiza la mayor parte del intercambio comercial de los productos generados en Cundinamarca, así como el transporte de pasajeros en su interior. El estado actual de la malla vial, es en su mayoría bueno/regular. El mejoramiento de las vías no solo beneficia la producción agropecuaria de la región, sino en general el desarrollo de todas las actividades económicas y sociales. Actualmente se viene realizando una inversión considerable para garantizar el adecuado estado de las vías, proyectado en el Plan de Desarrollo Cundinamarca “Unidos podemos más”. (Gobernación de Cundinamarca, diciembre de 2017).

La Gobernación de Boyacá presenta su informe de actualización plan vial departamental 2018 – 2027, donde concluye que, el Departamento de Boyacá en general, tiene un porcentaje bajo de vías con superficie de rodadura en pavimento y un alto porcentaje de vías con superficie de rodadura en afirmado, por lo tanto, requiere muchos recursos para el mejoramiento de las vías. (Gobernación de Boyacá, 2017).

La estrategia empleada se basa en iniciar la consulta bibliográfica enfocada al comportamiento de la escoria como material de mejoramiento para la sub-rasante de las vías de origen arcilloso, aprovechando el acceso a las bases de datos y recursos que brinda la Universidad Santo Tomás, y establecer mediante esta el punto de partida desde el cual se va a orientar la investigación.

Con el propósito de establecer la conveniencia o no de la adición de escoria a sub-rasantes de materiales finos, se realizarán diversos ensayos de laboratorio.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Posterior a esto se considerarán los resultados obtenidos, y así mismo, se determinará la mejor opción en porcentaje de la mezcla del material arcilloso con la escoria, y de esta manera poder entregar un informe con las conclusiones y recomendaciones; el cual busca sentar las bases para investigaciones futuras respecto al tema, y poder profundizar en el mismo.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia frente a los demás países miembros de la Alianza del Pacífico, se encuentra muy atrasada en temas de infraestructura vial, en lo que respecta a carreteras y vías férreas, lo que lo hace un país menos competitivo frente a los demás países en el comercio internacional, esto debido a sus altos costos de transporte, los tiempos de desplazamiento son muy largos y los principales centros de producción se encuentra bastante lejos de los puertos, lo que incurre a más costos (Quiroga Tavera, 2019).

La utilización de materiales alternos como parte de las estructuras de un pavimento puede ayudar a mejorar las condiciones de las vías terciarias o rurales del país, que garanticen su mayor durabilidad y vida útil.

La red terciaria en nuestro país no tiene desarrollo, estas vías no tienen un mantenimiento rutinario que garanticen un nivel de servicio ideal para su tránsito, ocasionando demoras en los recorridos, daños a los vehículos e incomodidades para los usuarios (Instituto Nacional de Vías [INVÍAS], 2021).

Los departamentos de Cundinamarca y Boyacá son grandes departamentos agrícolas y ganaderos del centro del país y no disponen de vías adecuadas para darle salida a sus productos. También busca optimizar e incrementar el estado de bienestar de los residentes de los municipios, que puedan comercializar más fácil sus productos y sea la oportunidad de generar turismo. Lo anterior de acuerdo con la Gobernación de Cundinamarca en el desarrollo del Plan vial departamental Cundinamarca diciembre 2017y la Gobernación de Boyacá en la presentación de la actualización Plan Vial Departamental 2018 – 2027.

A continuación, se presenta un resumen de la información sectorizada por Direcciones Territoriales para la Red Vial Nacional a cargo de INVÍAS e incluye únicamente la Red Vial Primaria, no hay datos sobre el estado actual la Red Terciaria, se presentan datos del año 2020 y datos actualizados a junio de 2021, confirmando la situación descrita en los párrafos anteriores.

En la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, se presenta el estado de la red vial primaria en los años 2020 y 2021.

Tabla 1. Estado de la red vial primaria a diciembre de 2020, vías pavimentadas.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	PAVIMENTADO (Km), AÑO 2020				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
ANTIOQUIA	17.00	113.78	190.19	213.59	1.00
ATLÁNTICO	0.56	6.96	0.00	0.00	0.00
BOLÍVAR	16.35	57.13	46.00	35.61	0.00
BOYACÁ	47.33	184.61	302.29	133.35	2.00
CALDAS	75.33	68.70	34.97	2.07	0.00
CAQUETÁ	124.85	113.21	99.56	51.21	0.00

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	PAVIMENTADO (Km), AÑO 2020				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
CASANARE	1.93	152.44	231.23	174.91	0.00
CAUCA	109.89	169.19	245.48	113.99	1.03
CESAR	74.47	129.26	98.15	139.55	20.08
CHOCÓ	21.59	87.61	52.43	3.66	0.00
CÓRDOBA	40.04	47.01	67.87	84.25	0.00
CUNDINAMARCA	11.89	73.42	91.90	31.80	0.00
GUAJIRA	17.23	107.46	16.03	7.93	0.00
HUILA	40.02	90.30	78.88	56.62	0.97
MAGDALENA	39.58	76.17	20.04	6.80	15.87
META	44.25	153.57	136.11	15.20	2.40
NARIÑO	173.20	309.04	125.46	94.43	0.00
N. DE SANTANDER	19.98	154.91	142.73	109.59	0.00
PUTUMAYO	93.72	46.69	6.03	3.37	0.00
QUINDÍO	37.72	35.52	41.02	2.00	0.00
RISARALDA	13.80	100.92	64.21	29.38	0.00
SANTANDER	110.45	464.30	280.86	87.43	14.16
SUCRE	35.92	38.92	29.52	35.68	10.99
TOLIMA	5.85	219.37	57.64	23.05	0.00
VALLE	253.71	192.04	266.53	65.10	0.46
OCAÑA	0.61	218.92	67.59	59.40	8.48
S. ANDRÉS y PROV.	12.00	8.50	16.00	8.80	0.00
<b>TOTAL RED VIAL</b>	<b>1439.27</b>	<b>3419.95</b>	<b>2808.71</b>	<b>1588.77</b>	<b>77.44</b>
	<b>15.42%</b>	<b>36.64%</b>	<b>30.09%</b>	<b>17.02%</b>	<b>0.83%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 10 de Febrero de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial#2020>.

Tabla 2. Estado de la red vial primaria a junio de 2021, vías pavimentadas.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	PAVIMENTADO (Km), AÑO 2021				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
ANTIOQUIA	51.37	122.24	222.38	227.11	1.00
ATLÁNTICO	18.75	4.81	2.49	0.00	0.00
BOLÍVAR	15.98	74.94	48.40	15.78	0.00
BOYACÁ	41.44	196.93	288.15	145.44	2.00
CALDAS	72.24	89.70	18.01	0.00	0.00
CAQUETÁ	138.70	90.23	83.06	86.31	0.00
CASANARE	1.93	154.76	222.38	182.77	0.00
CAUCA	105.01	176.50	243.30	118.38	1.15
CESAR	88.08	154.82	98.80	103.86	15.98

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	PAVIMENTADO (Km), AÑO 2021				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
CHOCÓ	35.72	80.78	50.99	3.78	0.00
CÓRDOBA	51.32	33.21	68.36	90.14	0.00
CUNDINAMARCA	6.41	69.54	69.95	64.03	0.00
GUAJIRA	34.44	74.64	26.75	12.91	0.00
HUILA	35.01	94.39	76.42	65.15	0.97
MAGDALENA	39.58	75.89	20.32	8.19	14.47
META	46.02	173.31	120.62	11.85	0.88
NARIÑO	169.25	300.27	142.33	93.00	0.38
N. DE SANTANDER	19.98	140.90	135.20	131.04	0.00
PUTUMAYO	97.74	46.31	5.75	4.85	0.00
QUINDÍO	39.99	30.37	40.35	2.00	0.00
RISARALDA	13.90	95.05	76.41	25.09	0.00
SANTANDER	120.53	369.26	273.03	95.29	15.66
SUCRE	35.00	24.54	32.94	45.26	14.95
TOLIMA	5.85	133.06	46.56	20.54	0.00
VALLE	241.10	205.87	252.64	70.22	6.66
OCAÑA	0.61	218.48	64.86	62.57	8.48
S. ANDRÉS y PROV.	12.00	10.50	15.00	7.80	0.00
<b>TOTAL RED VIAL</b>	<b>1537.93</b>	<b>3241.31</b>	<b>2745.43</b>	<b>1693.35</b>	<b>82.58</b>
	<b>16.54%</b>	<b>34.85%</b>	<b>29.52%</b>	<b>18.21%</b>	<b>0.89%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 6 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>.

Tabla 3. Estado de la red vial primaria a diciembre de 2020, vías sin pavimentar.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	SIN PAVIMENTAR (Km), AÑO 2020				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
ANTIOQUIA	0.00	0.00	2.49	0.00	0.00
ATLÁNTICO	19.30	3.14	20.00	19.06	0.00
BOLIVAR	0.00	0.00	0.00	2.55	0.00
BOYACÁ	0.00	4.60	61.40	107.20	0.09
CALDAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAQUETÁ	0.00	25.36	6.19	24.96	0.00
CASANARE	0.17	19.12	20.79	7.60	0.10
CAUCA	0.00	120.87	325.49	182.58	10.15
CESAR	0.00	0.00	0.00	18.20	10.19
CHOCÓ	0.00	0.00	36.06	47.53	29.38
CÓRDOBA	1.52	14.41	22.03	11.93	0.00
CUNDINAMARCA	0.00	2.99	9.88	17.73	0.00
GUAJIRA	0.00	0.92	9.34	0.00	0.00
HUILA	0.00	22.92	109.19	80.03	1.18
MAGDALENA	0.00	0.00	2.87	58.74	24.45

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	SIN PAVIMENTAR (Km), AÑO 2020				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
META	0.00	45.15	113.38	61.63	13.13
NARIÑO	3.37	1.94	0.00	2.43	10.35
N. DE SANTANDER	0.00	0.00	72.40	34.76	6.00
PUTUMAYO	0.00	10.05	45.11	76.98	0.00
QUINDÍO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RISARALDA	0.00	0.00	17.42	18.20	2.98
SANTANDER	0.00	28.04	28.93	80.83	23.17
SUCRE	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00
TOLIMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VALLE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OCAÑA	0.00	0.00	0.00	2.98	1.85
S. ANDRÉS y PROV.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL RED VIAL</b>	<b>24.36</b>	<b>300.16</b>	<b>902.97</b>	<b>855.92</b>	<b>133.02</b>
	<b>1.10%</b>	<b>13.54%</b>	<b>40.74%</b>	<b>38.62%</b>	<b>6.00%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 10 de Febrero de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial#2020>.

Tabla 4. Estado de la red vial primaria a junio de 2021, vías sin pavimentar.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
TERRITORIAL	SIN PAVIMENTAR (Km), AÑO 2021				
	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO
ANTIOQUIA	0.00	0.25	7.73	0.00	0.00
ATLÁNTICO	0.00	3.47	8.30	28.08	2.90
BOLIVAR	0.00	2.55	0.00	0.00	0.00
BOYACÁ	0.00	1.21	43.64	123.85	0.09
CALDAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAQUETÁ	0.00	29.24	15.05	11.87	0.00
CASANARE	0.17	20.12	18.80	8.60	0.10
CAUCA	2.11	97.19	265.69	259.88	9.40
CESAR	0.00	0.00	1.00	23.90	3.49
CHOCÓ	0.00	0.00	52.43	34.03	20.45
CÓRDOBA	2.44	13.65	13.01	16.92	0.00
CUNDINAMARCA	0.00	0.58	17.37	11.27	0.00
GUAJIRA	0.00	6.71	3.55	0.00	0.00
HUILA	0.00	23.52	105.36	84.43	0.00
MAGDALENA	0.00	0.00	18.02	34.66	36.82
META	4.05	45.63	103.44	79.08	0.00
NARIÑO	2.25	0.00	0.00	2.36	10.35
N. DE SANTANDER	0.00	0.00	72.40	34.76	6.00
PUTUMAYO	0.00	9.99	43.26	75.79	0.00
QUINDÍO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RISARALDA	0.00	0.00	17.42	16.46	2.98
SANTANDER	0.00	9.88	45.77	78.23	27.10

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN					
SUCRE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOLIMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VALLE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OCAÑA	0.00	0.00	0.00	1.01	3.82
S. ANDRÉS y PROV.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL RED VIAL</b>	<b>11.03</b>	<b>264.00</b>	<b>852.24</b>	<b>925.19</b>	<b>123.50</b>
	<b>0.51%</b>	<b>12.13%</b>	<b>39.17%</b>	<b>42.52%</b>	<b>5.68%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 6 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

Tabla 5. Estado de la red vial primaria a diciembre de 2020, calificación total.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN				
TERRITORIAL	RED TOTAL CALIFICADA, AÑO 2020			
	PAV.	SIN PAV.	INTERV.	TOTAL
ANTIOQUIA	535.56	2.49	0.00	538.04
ATLÁNTICO	7.52	61.50	0.00	69.02
BOLIVAR	155.09	2.55	0.00	157.64
BOYACÁ	669.58	173.29	0.00	842.87
CALDAS	181.07	0.00	0.00	181.07
CAQUETÁ	388.83	56.51	0.00	445.34
CASANARE	560.51	47.78	0.00	608.29
CAUCA	639.58	639.09	0.00	1278.67
CESAR	461.51	28.39	0.00	489.90
CHOCÓ	165.29	112.97	0.00	278.26
CÓRDOBA	239.17	49.89	0.00	289.06
CUNDINAMARCA	209.01	30.60	0.00	239.61
GUAJIRA	148.65	10.26	0.00	158.91
HUILA	266.79	213.32	0.00	480.11
MAGDALENA	158.46	86.06	0.00	244.52
META	351.53	233.29	0.00	584.82
NARIÑO	702.13	18.09	0.00	720.22
N. DE SANTANDER	427.21	113.16	0.00	540.37
PUTUMAYO	149.81	132.14	0.00	281.95
QUINDÍO	116.26	0.00	0.00	116.26
RISARALDA	208.31	38.60	0.00	246.91
SANTANDER	957.20	160.97	8.74	1126.91
SUCRE	151.03	0.65	0.00	151.68
TOLIMA	305.91	0.00	0.00	305.91
VALLE	777.84	0.00	17.60	795.44
OCAÑA	355.00	4.83	0.00	359.83
S. ANDRÉS y PROV.	45.30	0.00	0.00	45.30
<b>TOTAL RED VIAL</b>	<b>9334.15</b>	<b>2216.43</b>	<b>26.34</b>	<b>11576.92</b>
	<b>80.63%</b>	<b>19.15%</b>	<b>0.23%</b>	

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 10 de Febrero de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial#2020>.

Tabla 6. Estado de la red vial primaria a junio de 2021, calificación total.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN				
TERRITORIAL	RED TOTAL CALIFICADA, AÑO 2021			
	PAV.	SIN PAV.	INTERV.	TOTAL
ANTIOQUIA	624.11	7.98	0.00	632.09
ATLÁNTICO	26.05	42.75	0.00	68.80
BOLIVAR	155.09	2.55	0.00	157.65
BOYACÁ	673.97	168.80	0.00	842.76
CALDAS	179.95	0.00	0.00	179.95
CAQUETÁ	398.29	56.16	0.00	454.45
CASANARE	561.83	47.78	0.00	609.61
CAUCA	644.35	634.28	0.00	1278.63
CESAR	461.54	28.39	0.00	489.93
CHOCÓ	171.27	106.91	0.00	278.18
CÓRDOBA	243.03	46.03	0.00	289.06
CUNDINAMARCA	209.92	29.22	0.00	239.15
GUAJIRA	148.74	10.26	0.00	159.00
HUILA	271.93	213.31	0.00	485.24
MAGDALENA	158.45	89.50	0.00	247.95
META	352.68	232.21	0.00	584.89
NARIÑO	705.24	14.96	0.00	720.19
N. DE SANTANDER	427.12	113.16	0.00	540.28
PUTUMAYO	154.65	129.04	0.00	283.69
QUINDÍO	112.71	0.00	0.00	112.71
RISARALDA	210.45	36.86	0.00	247.31
SANTANDER	873.77	160.98	0.00	1034.75
SUCRE	152.69	0.00	0.00	152.69
TOLIMA	205.99	0.00	0.00	205.99
VALLE	776.50	0.00	17.60	794.10
OCAÑA	355.00	4.83	0.00	359.83
S. ANDRÉS y PROV.	45.30	0.00	0.00	45.30
<b>TOTAL RED VIAL</b>	<b>9300.60</b>	<b>2175.96</b>	<b>17.60</b>	<b>11494.16</b>
	<b>80.92%</b>	<b>18.93%</b>	<b>0.15%</b>	

Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 6 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

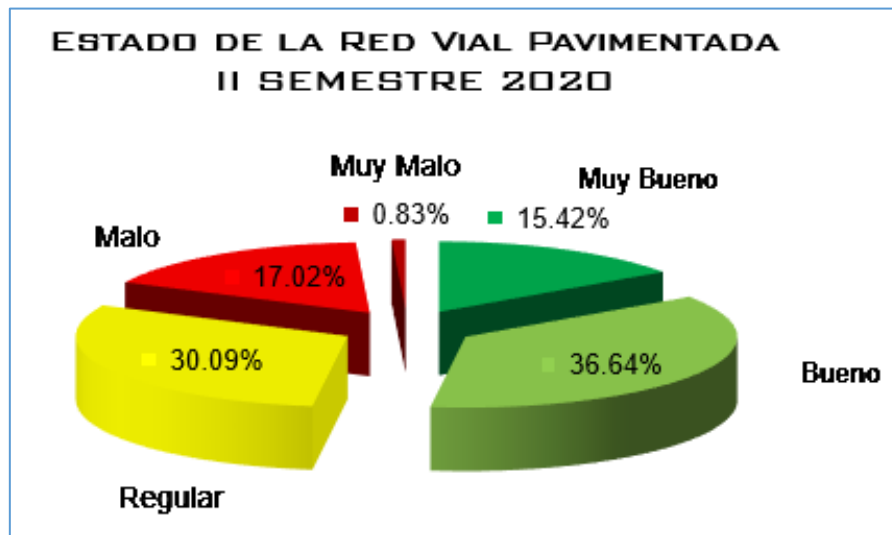
Como se observa en las tablas presentadas anteriormente, en el departamento de Boyacá se presenta un aumento de las vías primarias pavimentadas en 4.38 Km y en el departamento de Cundinamarca se reporta un aumento de las vías primarias pavimentadas en 0.92 Km, también se observa que el estado de las vías no ha mejorado teniendo en cuenta que para el año 2020 los estados de pavimento para muy bueno y bueno mencionados suman 52.06% y para el año 2021 esta suma disminuyó a 51.39%. Teniendo en cuenta lo anterior, sigue siendo preocupante que no se ha mejorado la infraestructura vial en la red primaria, por lo cual se deduce que la red terciaria puede también mantener la

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

tendencia baja en su desarrollo y lo que se requiere es fortalecer la red terciaria ya que esta es la que conduce a las veredas donde se ubican los cultivos agrícolas y la ganadería.

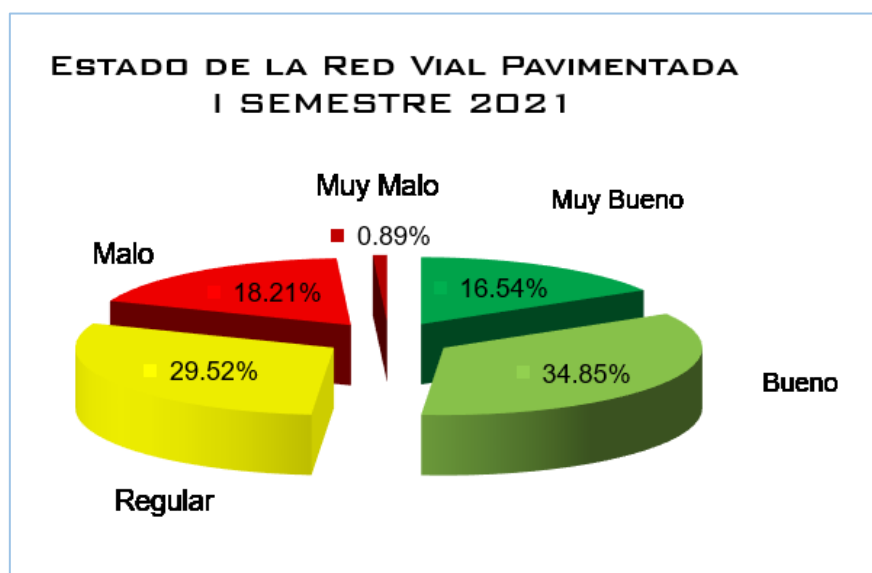
En la Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se presenta la información que el INVÍAS, entrega sobre el estado de la red vial primaria para el segundo semestre de los años 2020 y 2021, donde se resume a nivel nacional el estado actual de las vías en Colombia.

Figura 1. Estado de la Red Vial primaria pavimentada en el año 2020.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 10 de Febrero de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial#2020>.

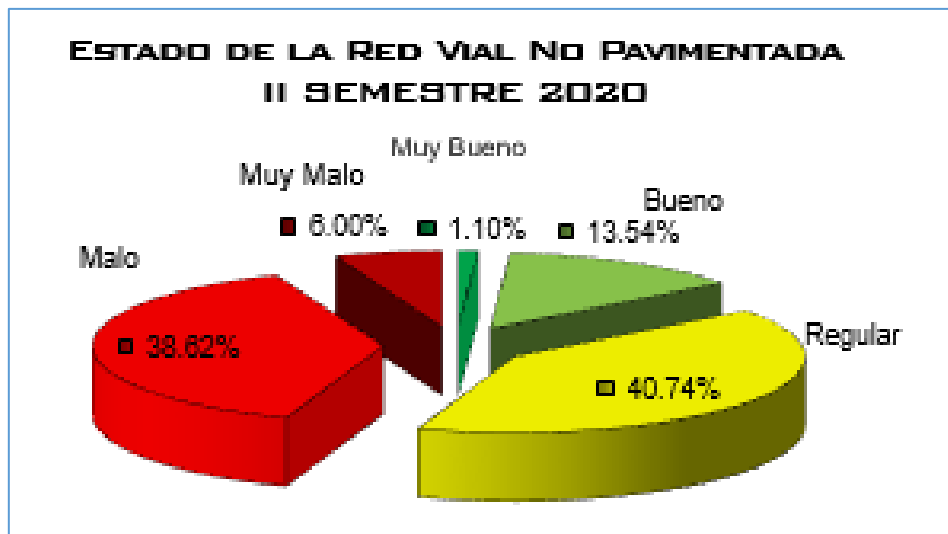
Figura 2. Estado de la Red Vial primaria pavimentada hasta el primer semestre del año 2021.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 6 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

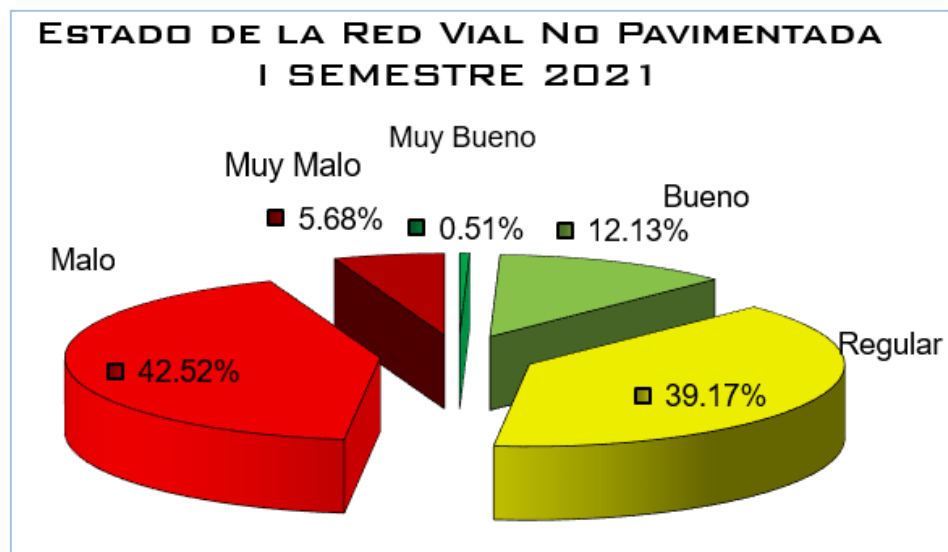
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 3. Estado de la Red Vial primaria no pavimentada en el año 2020.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 10 de Febrero de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial#2020>.

Figura 4. Estado de la Red Vial primaria no pavimentada hasta el primer semestre del año 2021.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 6 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. 300621\_criterio\_tec\_estado\_red\_vial\_i\_sem\_2021.xlsx (live.com).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Según la revista portafolio (2020), indica que en 2019 la industria del acero manifestó un aumento del 7.0% en ventas en Colombia.

Colombia en la actualidad es el tercer productor de acero de Latinoamérica con 1'335.000 toneladas por año, antecedido por de Brasil y México. El departamento de Boyacá aporta el 70.0% de la producción nacional, dado que tres de las 5 plantas siderúrgicas con las que cuenta el país se encuentran en este departamento, mientras que las 2 restantes esta ubicadas en Cali y Manizales, aportando el 30.0% restante (Urrego, 2020, p. 1).

Lo anterior indica que la producción de escoria también estará en aumento y en Boyacá en un mayor porcentaje.

Tres (3) de las grandes siderúrgicas ubicadas en Colombia: Acerías Paz del Río, Gerdau Diaco y Sidenal, se sitúan en Boyacá.

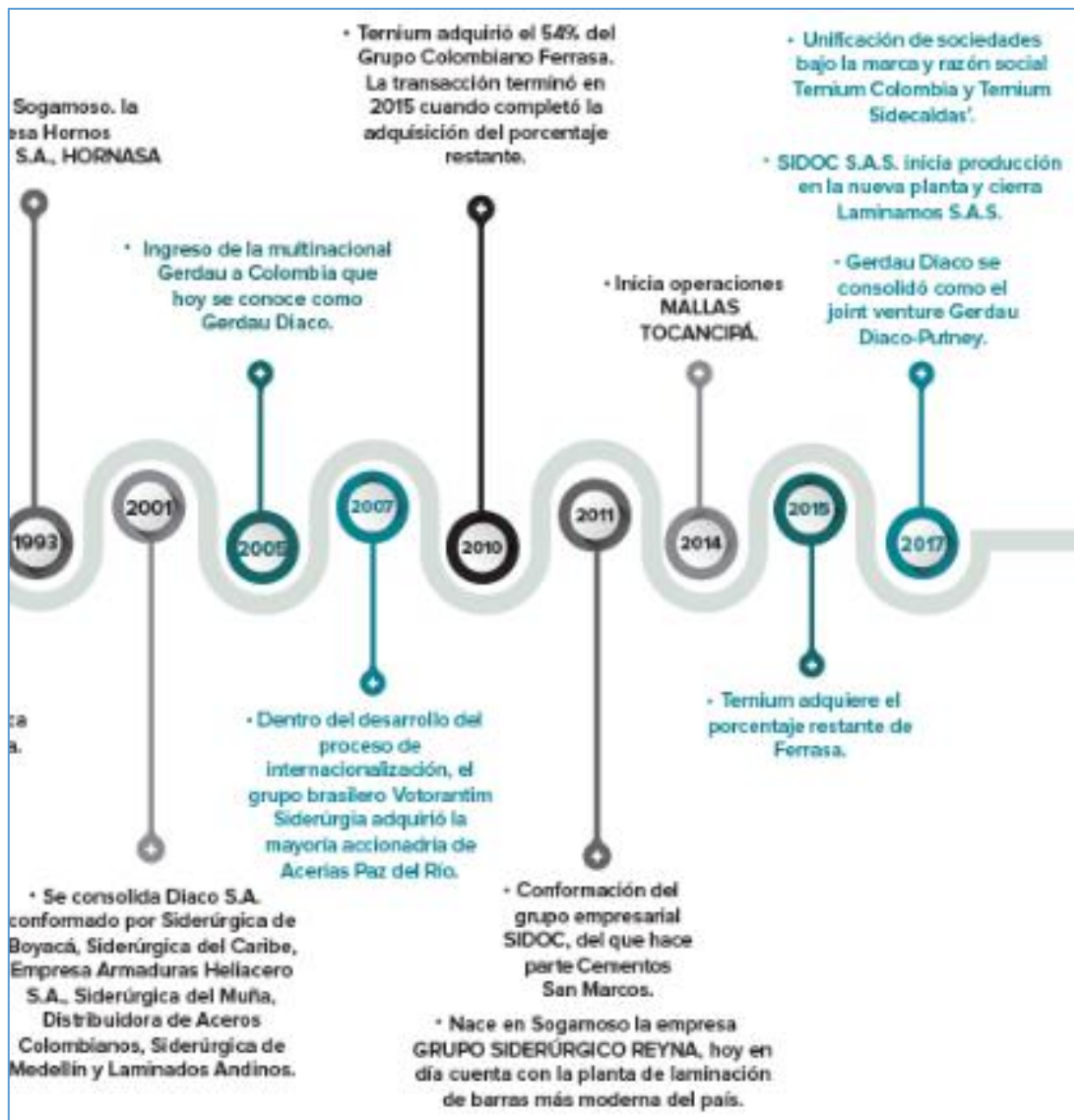
La revista Semana, en un resumen de su artículo: Boyacá y su larga historia con la producción del acero en Colombia, hace una mención del Acero de Tuta, donde destaca lo siguiente:

Uno de los pilares de la industria de aceros largos es la firma brasileña Gerdau Diaco, la cual cuenta con plantas en 14 países de Latinoamérica. Con el propósito de conservar la delantera y mantenerse actualizada frente a otras siderúrgicas, implemento diversos proyectos para conservar el medioambiente, por medio de la disminución del consumo de energía y el restablecimiento de fuentes hídricas en su planta ubicada en Tuta Boyacá, siendo esta una de las primordiales entre las cuatro que la firma dispone en Colombia. Dos de las actividades esenciales de la compañía son el reciclaje de chatarra ferrosa y la producción de acero líquido, con las cuales logra una producción anual que supera las 500.000 toneladas de acero al año en Colombia (Sandoval, 2018, p. 1).

La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), en su Comité Colombiano de Productores de Acero, presenta la historia del acero en Colombia, donde se extrae el resumen gráfico de la entrada de Gerdau a la nación, lo anterior se presenta en la Figura 5.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 5. Historia de Gerdau y el acero en Colombia.

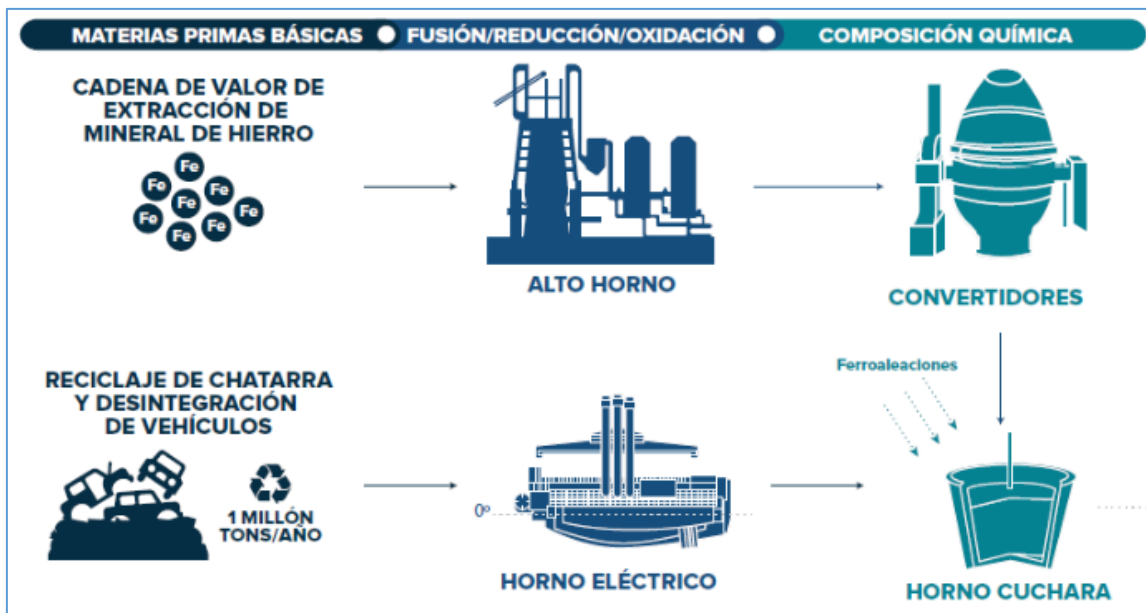


Fuente: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI] (2020). Comité Colombiano de Productores de Acero. ANDI <http://www.andi.com.co/Home/Camara/6-comite-colombiano-de-productores-de-acero>.

El acero en Colombia se produce a través de dos (2) procesos: el proceso siderúrgico integrado y el proceso siderúrgico semi-integrado. En la Figura 6 se resumen los procesos mencionados, presentados por el Comité Colombiano de Productores de Acero, como Proceso Siderúrgico en Colombia (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI], 2020).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 6. Proceso Siderúrgico en Colombia.



*Fuente:* Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI] (2020). Comité Colombiano de Productores de Acero. ANDI <http://www.andi.com.co/Home/Camara/6-comite-colombiano-de-productores-de-acero>.

Cuando se usa la chatarra como materia principal para la fabricación del acero se obtienen desechos denominados escorias negras de horno de arco eléctrico (ENHAE). En Colombia se presenta una alta producción de estas escorias, dado que por cada tonelada de acero que se fabrica se están generando alrededor de 0,1 a 0,3 toneladas de escoria. En Colombia se obtiene una alta cantidad de residuos ENHAE, lo cual induce a buscar maneras para aprovechar dicho material de una forma técnica y sostenible, aún más, considerando que el uso de este material para la construcción de carreteras genera un elevado impacto en el ambiente (Sánchez, 2016, p. 64 – 72).

En la Fotografía 1 y Fotografía 2, se observa el estado de las vías de acceso al cultivo de flores El Futuro en el Municipio de Nemocón en el Departamento de Cundinamarca, lugar se realizarán los tramos de prueba.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 1. *Vía acceso al cultivo (Floristería El Futuro).*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 2. *Vía interna del cultivo (Floristería El Futuro).*



*Fuente:* Elaboración propia.

En la Fotografía 3, se observa la llegada de la escoria de Gerdau Diaco al tramo de prueba en el Municipio de Nemocón, la Fotografía 4, presenta la escoria en los patios de acopio de Gerdau Diaco, material a instalarse en el tramo de prueba.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 3. Material descargado en el tramo 1 de prueba en el Municipio de Nemocón.



*Fuente:* Elaboración propia.

De lo anterior también se puede ver la solución al impacto ambiental que genera la producción de la escoria, también se ha observado que en los proyectos de infraestructura vial, se encuentra otro problema para su ejecución y es la falta de fuentes de materiales cercanas y que cumplan con las especificaciones de las vías a construir, incrementándose así los costos de la obra debido a las largas distancias de transporte de los materiales calificados, por lo cual se puede pensar en las siderúrgicas que se encuentran en otras regiones del país a parte de la zona Cundiboyacense y se pueden convertir en fuentes cercanas, siguiendo con el aspecto ambiental se evita afectar a los ríos principales fuentes de agregados para la mezcla del concreto.

Fotografía 4. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 5. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



*Fuente:* Elaboración propia.

“Una de las siderúrgicas que se encuentran en el Municipio de Tuta Departamento de Boyacá es GERDAU DIACO, en la cual por cada tonelada de acero que se produce se generan 130.0 Kg de escoria aproximadamente” (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca & Pontificia Universidad Javeriana de Cali, 2015, p. 1).

“La siderúrgica Gerdau Diaco tiene la facultad de producir al año en Colombia una cantidad de acero bruto de 650,000 toneladas, y de acero laminado de 534,000 toneladas” (Taló, 2017, p. 1).

Se observa que la producción de escoria representa un peso bastante significativo, lo que garantiza bastante material para la manutención de la infraestructura de la red vial terciaria en los departamentos mencionados. Se menciona a GERDAU DIACO empresa brasilera, ya que es la empresa que suministra el material de escoria con el que se desarrolla el proyecto vale la pena tener claro que la escoria es un residuo del proceso de la fundición de la chatarra por ello se plantea la posibilidad de utilizar este material para de esta forma poder mitigar el impacto ambiental.

En Colombia, Gerdau Diaco cuenta con plantas productivas en los municipios de Muña, Tocancipá, Tuta y Yumbo,

E igualmente dispone de plantas que prestan servicio a constructores en Barranquilla, Bucaramanga, Cartagena, Cota, Duitama, Ibagué, Manizales, Medellín, Montería, Neiva, Pasto, Pereira, Santa Marta, Tocancipá, Yumbo y Villavicencio. Esta firma es la empresa con principal cobertura y el más importante fabricante de aceros a largo del territorio nacional, además de ser el mayor reciclador de residuos metalúrgicos,

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental. Así mismo, sus aceros cumplen con la calidad requerida por la Norma de Sismo resistencia NSR-10 para la construcción civil, y la empresa acata con la Norma Técnica definida por ICONTEC en Colombia (Gerdau Diaco, 2019, p. 1).

La Tabla 7 indica la localización de las plantas de producción de acero que Gerdau Diaco tiene en Colombia.

Tabla 7. *Presencia de GERDAU DIACO en Colombia.*

ACTIVIDAD		CIUDAD	DIRECCIÓN
Plantas de laminación y producción de acero	1	Tocancipá	Vereda Tibitó Cundinamarca
	2	Tuta	Carretera central del norte Km 27 Vía Tunja – Paipa
	3	Muña	Autopista Sur Km. 25 vía Sibaté
	4	Yumbo	Carrera 36 # 12-120 Urb. Industrial Acopi Yumbo

Fuente: Gerdau Diaco. (2019). Datos Gerdau. <https://www.gerdau.com.co/MEDIACENTER/DatosdeGerdau.aspx>.

Para tener en cuenta en la justificación de esta investigación, el Instituto Nacional de Vías (2019), en el Plan Nacional de Desarrollo, trazó el camino en el programa de vías rurales para que una mayor cantidad de habitante de zonas rurales puedan sacar provecho con este (Instituto Nacional de Vías [INVÍAS], 2019).

- Sancionado por el presidente Iván Duque, el Plan Nacional de Desarrollo prioriza la actividad económica de las zonas rurales y la interconexión regional, a través del mantenimiento y avance de la infraestructura vial de la red terciaria. (INVÍAS, 2019, p. 1)
- Los corredores estratégicos mejoraran en el Programa de vías rurales Colombia Rural, el cual estará al servicio de los 1.101 municipios del país. El Gobierno Nacional espera que con esta acción se genere alrededor de 5.000 empleos directos con la inmersión de los Emprendedores Rurales. (INVÍAS, 2019, p. 1)
- Los recursos asignados en su primera fase ascenderán a \$500.000 millones anuales para a la intervención de la red terciaria del país, esto con el fin de generar competitividad y crecimiento en las regiones. (INVÍAS, 2019, p. 1)

El PND prioriza proyectos de inversión en vías terciarias y da inicio en el 2019. Esta priorización de los corredores estará a cargo de los Alcaldes y Gobernadores quienes optarán por una intervención integral de sus vías terciarias a través de obras de mantenimiento o mejoramiento, según los dictámenes de productividad con vocación agrícola, turismo o consolidación de paz establecidos por el Gobierno Nacional. (INVÍAS, 2019)

Para la atención de vías rurales, el PND promueve un nuevo modelo de ejecución que se enmarca en el desarrollo de corredores estratégicos con una metodología técnica estandarizada y protocolos de aplicación de nuevas tecnologías con criterios eficientes de costos. Así mismo, cuenta con la participación de los cabildos, los civiles, las juntas de acción comunal, las

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

asociaciones comunitarias y las organizaciones indígenas, denominados Emprendedores Rurales. E igualmente de los gremios, los Entes Territoriales, los Batallones de Ingenieros Militares y el sector privado (INVÍAS, 2019)

El mejoramiento de la red nacional será notable, pues el cambio de las vías en afirmado que son las características de las vías terciarias a vías pavimentadas habla de un desarrollo importante en la economía del país.

Todo lo anterior ya que en las vías de la Floristería el Futuro ubicada en el municipio de Nemocón Cundinamarca tiene un tráfico bastante alto de furgones ya que todos los días ingresan materias primas como lo son plásticos, herbicidas, tierra negra, cascarilla, y el producto final, y no menos relevante todo el día se están circulando tractores con remolques en todo el cultivo.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 GENERAL

Evaluar el comportamiento de la subrasante mejorada con adición de escoria de acería de Gerdau Diaco de las vías acceso al cultivo de Flores el Futuro, para su uso en la red vial terciaria de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá

### 4.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar la escoria como material de mejoramiento de sub-rasante del tramo de prueba localizado en las vías internas de la floristería el Futuro ubicada en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca. Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados y los estudios consultados.
- Evaluar el comportamiento de la mezcla de terreno natural con la escoria, para llevar a cabo los ensayos de CBR, siendo estos los ensayos con mayor relevancia en la traza de la estructura de pavimento de una vía, igualmente se tiene en cuenta el comportamiento de la mezcla cuando entra en contacto con el agua, debido a que este factor es relevante en la construcción de una vía y se debe garantizar su correcto drenaje.
- Realizar dos (2) tramos de prueba dentro de la misma finca en diferentes ubicaciones con la finalidad de generar las debidas comparaciones entre éstos y así no tener un solo criterio, sino dos (2) sectores con el monitoreo de su comportamiento.
- Evaluar los costos de la mezcla de la estructura versus una estructura convencional; donde también intervienen otros factores como la distancia de acarreo de la escoria desde la planta de producción hasta el sitio del tramo de prueba, los ensayos de laboratorio adicional tanto para su composición química como su comportamiento físico y la reducción al impacto ambiental.

### **5. ALCANCE**

Una de las mayores preocupaciones que existen para la sostenibilidad de las vías principales es la construcción apropiada y correcta de éstas, debido a que de ellas dependen la correcta circulación vehicular para el acceso a ciudades y municipios; de las vías dependen la conectividad del territorio colombiano, que a su vez se traduce en crecimiento económico, turístico y cultural, sin dejar de lado, los aspectos comunes y rutinarios de la vida que exige vías más modernas que ayuden al desarrollo de la vida de los ciudadanos.

Con lo señalado, la investigación propuesta busca demostrar las bondades de la escoria como insumo para la construcción de carretera; para ello, la propuesta se orienta a un trabajo de campo desarrollado en el municipio de Nemocón, a través del cual se quiere identificar los aspectos más relevantes de su uso, en términos económicos, teniendo en cuenta el costo del uso de la escoria con respecto a una construcción de una vía de manera convencional, donde se utiliza material de cantera y de ríos, protección al medio al medio ambiente y funcionalidad de las vías terciarias.

### 6. ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo del proyecto se ha efectuado la correspondiente consulta de investigaciones sobre el comportamiento de la escoria de acería como adición.

Soto Izquierdo, et al., (2008), en su estudio titulado Caracterización de la escoria de acería de la empresa metalúrgica Antillana de acero “José Martí” de la Habana para su empleo como árido y adición de morteros, hormigones y productos de la construcción, trata acerca del uso de la escoria de acería como un recurso económico y ambiental cuyo principal objetivo es encontrar un uso, como lo puede ser a través de la fabricación de morteros, siendo esta usada a modo de aditamento al cemento, además de ser utilizada como árido de hormigón, debido a que en Cuba la escoria que se produce compone una fuente de materias primas que en la actualidad no es aprovechada en la industria, siendo que las reservas naturales cada vez son menores y el ahorro de energía actualmente se vuelve imprescindible.

En la empresa de Antillana de Acero la producción se parte desde el “Horno de Arco Eléctrico (HAE)”, proceso utilizado por Gerdau Diaco empresa de la cual se utiliza la escoria para el desarrollo de este proyecto de grado, por lo cual el interés es tener en cuenta datos como la caracterización física, química, mineralógica y en general los ensayos y resultados a la escoria, que es la información necesaria para determinar el comportamiento de terreno natural con Adiciones de escoria de acería de Gerdau Diaco como capa de mejoramiento de la sub-rasante de una vía, en este caso las vías internas de la Floristería El Futuro.

Para la resolución de los problemas previamente expuestos se tuvo en cuenta el estudio de los áridos de la escoria de acería en donde se realizaron diferentes pruebas para determinar el desempeño de este material a la hora de implementarlo como un aditivo, los análisis realizados para caracterizar el árido grueso, fino y natural, se hicieron pruebas de acuerdo a las normas cubanas las cuales consisten en:

- Análisis granulométrico.
- Módulo de finura.
- Peso específico, saturado sin humedad superficial y peso aparente.
- Porcentaje de absorción de agua.
- Peso unitario suelto y compactado.

Para el análisis que se realizó según la norma americana ASTM C311, de la escoria de acería como añadidura al cemento, el cual consiste en la elaboración de probetas de mortero de escoria y probetas de mortero patrón, teniendo en cuenta una dosificación la cual se puede observar en la Tabla 8, sobre una muestra de mortero patrón y un mortero con un 20% de adición de escoria de acería para esta última se empleó la misma cantidad de arena pero con un 20%

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

menos de cemento con el propósito de comprobar si este residuo tiene actividad puzolánica (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2005)

Tabla 8. *Dosificación del mortero patrón.*

MATERIAL	CANTIDADES
Cemento	500 g
Árido fino (Victoria)	1375 g
Agua	242 ml + 12 ml = 254 ml
a/c	0.484

*Fuente:* Orieta Soto Izquierdo et al.

Los días de ensayo fueron a los 3, 7 y 28 días.

De los análisis de resultados que se obtuvieron en este estudio de Soto Izquierdo et al. (2008), la Tabla 9 donde, se presenta la relación existente entre el porcentaje de absorción de agua y el tiempo de las fracturas.

Tabla 9. *Porcentaje de absorción de agua.*

TIPOS DE MORTEROS	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA		
	3 días	7 días	28 días
Patrón	12.6%	9.4%	3.6%
Escoria de acería	12.7%	11.0%	9.5%

*Fuente:* Orieta Soto Izquierdo et al.

Como se observa en el transcurso de los días la escoria de acería presentó más absorción de agua, lo que en el caso de la presente investigación del comportamiento de terreno natural con Adiciones de escoria de acería de Gerdau Diaco como capa de mejoramiento de la sub-rasante es favorable teniendo en cuenta los días de lluvia donde estos terrenos se comportan como unas arcillas expansivas es bueno, ya que la escoria va absorber gran cantidad de agua lo cual beneficiaría en gran parte a la estructura para que de esta manera no se presenten fallos en tiempos de verano, debido a que estas arcillas lo que hacen es que en tiempo lluvioso se absorber bastante agua y en verano pierden esta humedad y es cuando se presentan los fallos en las vías, por que como se está hablando de vías terciarias a las cuales no se les hace un buen procedimiento constructivo para controlar el manejo de aguas tales como la construcción de buenos drenajes.

Como resultado se tiene que el árido fino resulto ser una arena gruesa y presentó una granulometría variable, alto porcentaje de huecos, elevados pesos específicos y unitarios, y débil porcentaje de absorción de agua e impurezas, el árido grueso presento una granulometría constante, un tamaño máximo de árido de 25.4 mm, en cuanto a porcentaje de huecos, pesos específicos y unitarios, y porcentaje de absorción de impurezas y agua, se presentaron los mismos valores anteriores, con la variable que el material fino exhibió una granulometría discontinua, por falta de tiempo no se pudo determinar el empleo de estos materiales en morteros y hormigones sin embargo se alcanzó a evaluar el comportamiento de estos materiales a los 28 días y este no exhibe acción

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

puzolánica, sin embargo, es de suma importancia conocer los resultados pasados los 63 y 98 días para evaluar su posible empleo como adición.

Marquina Sierra (2008), en su tesis de grado sobre el Uso de las Escorias Obtenidas como Subproducto de la Elaboración de Acero de la Planta No. 2 de Aceros Arequipa - Pisco para Fines de Cimentación y Pavimentación, en la Planta de Aceros de Arequipa de pisco produce gran cantidad de escoria y polvo de Baghouse (subproducto de la fabricación del acero), estos materiales serán sometidos a ensayos para determinar su utilización en la cimentación y pavimentación de las vías.

Tabla 10. *Composición química de la escoria en estudio.*

CONTENIDO	COMPOSICIÓN (%)
CaO	19.73%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.78%
SiO <sub>2</sub>	16.46%
MnO	3.58%
MgO	5.94%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.27%
Ag	14.06 ppm
Cu	164.20 ppm
Cd	2.00 ppm
Cr	0.69 ppm
Ni	9.00 ppm
Fe	22.57%
Pb	781.10 ppm
Zn	383.10 ppm
Carbono	0.15%

*Fuente:* Marcos Adrián Marquina Sierra (2008).

La composición química presentada en la Tabla 10, servirá de referencia para compararla con los resultados de la escoria de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá. Hay que tener en cuenta las condiciones de clima y climatología de las plantas en Pisco (Perú) y en Tuta (Colombia) a la hora de las evaluaciones y análisis de resultados.

Este estudio se realizó en dos (2) etapas, primero se determinaron las propiedades mecánicas y físicas de las escorias, para ello se realizan los ensayos de laboratorio de Límites de Consistencia, Granulometría, Contenido de Humedad, CBR, Corte Directo % de Abrasión, Gravedad Específica de Sólidos y Finos, Equivalente de Arena y Proctor Modificado, en la Tabla 11 se resumen los ensayos con su correspondiente normatividad.

Tabla 11. *Resumen de los ensayos con sus respectivas Normas ASTM, (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales).*

TIPO DE ENSAYO	REFERENCIA NORMATIVA
Análisis Granulométrico	

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

TIPO DE ENSAYO	REFERENCIA NORMATIVA
Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM D421-58
Análisis Granulométrico-Método del Hidrómetro	ASTM D422-63
<b>Límites de Consistencia</b>	
Límite Líquido	ASTM D423-66
Límite Plástico	ASTM D424-59
Degradación del Agregado Grueso (Maquina de Los Ángeles)	ASTM C131
Gravedad Específica de los Suelos (Picnómetro) de los suelos finos	ASTM D854-58
Ensayo de Equivalente de Arena	ASTM D2419
Ensayo de Proctor Modificado	ASTM D1557-91
Ensayo CBR de los Suelos	ASTM D1883-73
Ensayo de Corte Directo	ASTM D3080-72

Fuente: Marcos Adrián Marquina Sierra (2008).

Los resultados de los ensayos se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Resumen de los Ensayos de las Muestras de Escorias Analizadas (fase inicial).

	ENSAYOS DE LAS MUESTRAS DE ESCORIAS ANALIZADAS (FASE INICIAL)										
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11
Fracción Gruesa	95.33	97.68	96.70	96.72	98.32	95.89	95.49	96.26	96.90	95.09	95.94
Fracción Fina	4.67	2.32	3.30	3.28	1.68	4.11	4.51	3.74	3.10	4.91	4.06
Agregado Fino	55.23	63.14	61.60	56.49	59.57	59.48	54.79	55.53	39.10	66.72	56.45
Agregado Grueso	44.77	36.86	38.40	43.51	40.43	40.52	45.21	44.47	60.90	33.28	43.55
S.U.C.S	GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW	SP	GP	GW
A.A.S.H.T.O	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a	A1-a
Máx. Densidad Seca gr/cc	2.228	2.194	2.134	2.15	2.144	2.132	2.163	2.134	2.153	2.226	2.166
Óptimo Cont de Humedad %	4.60	5.15	5.35	5.50	5.20	4.60	7.00	7.20	5.65	4.85	6.90
Humedad Natural %	2.91	2.31	4.64	3.60	4.29	3.67	4.97	3.60	3.95	1.88	4.62
Peso Específico gr/cm <sup>3</sup>	2.74	2.97	2.60	2.15	2.75	2.64	2.81	2.75	2.66	2.80	2.55
Absorción %	5.08	4.33	5.12	6.89	3.02	4.33	4.98	3.40	4.99	4.08	5.51
Gravedad Específica Finos	3.20	3.30	3.21	3.27	3.23	3.19	3.20	3.19	3.23	3.35	3.28
Equivalente de Arena %	-----	68.91	60.75	48.64	57.69	59.62	52.73	59.03	61.41	-----	49.79
LL	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
LP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
IP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
CBR al 95 %	-----	55.00	63.50	76.00	-----	67.00	93.70	90.00	88.70	68.50	122.60
Abrasión %	27.00	29.00	38.00								
Durabilidad Fino (perdidas %)	1694.00										

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

	ENSAYOS DE LAS MUESTRAS DE ESCORIAS ANALIZADAS (FASE INICIAL)										
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11
Durabilidad Gruesos (perdidas %)	1172.00										

Fuente: Marcos Adrián Marquina Sierra (2008).

La Tabla 12, servirá para comparar los datos que se obtengan con las escorias de Gerdau Diaco de la planta de Tuta – Boyacá.

También se comparan las especificaciones técnicas con los promedios de los resultados obtenidos de cada ensayo para contrastar cuáles son las características que se cumplen y las que no con la norma, una vez obtenida esta información se puede establecer cuál es la propiedad de la escoria que se debe optimizar, la Tabla 13 presenta el promedio resumido de los datos contenidos en la Tabla 12.

Tabla 13. *Promedio de muestras analizadas.*

ENSAYOS SEGÚN NORMAS ASTM	PROMEDIO
Fracción Gruesa	96.39
Fracción Fina	3.61
Agregado Fino	57.10
Agregado Grueso	42.90
S.U.C.S	GW
A.A.S.H.T.O	A1-a
Máx. Densidad Seca gr/cc	2.17
Óptimo Contenido de Humedad %	5.64
Humedad Natural %	3.68
Peso Específico gr/cm <sup>3</sup>	2.67
Absorción %	4.70
Gravedad Especifica Finos	3.24
Equivalente de Arena %	57.62
LL	NP
LP	NP
IP	NP
CBR al 95 %	80.56
Abrasión %	31.33
Durabilidad Fino (perdidas %)	1694.00
Durabilidad Gruesos (perdidas %)	1172.00
pH	10.80
C.E. (dS/m)	7.28
SST (ppm)	4656.00
Cloruros (ppm)	1331.50
Sulfatos (ppm)	975.00

Fuente: Marcos Adrián Marquina Sierra (2008).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 14. Resumen de las propiedades obtenidas de las escorias comparadas con las especificaciones técnicas.

ENSAYOS SEGUN NORMAS ASTM	ESCORIAS	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIÓN
% Que para la malla No. 200	3.61%	5.0% - 15.0%	NO CUMPLE
Equivalente de Arena %	57.62	35.0% mín.	CUMPLE
Límite Líquido	NP	25.0% máx.	CUMPLE
Límite Plástico	NP	19.0% máx.	CUMPLE
Índice de Plasticidad	NP	4.0% máx.	CUMPLE
CBR calculado es al 95% de la MDS	80.56	80.0% mín.	CUMPLE
Pérdida con Sulfato de Sodio	1.69%	12.5 máx.	CUMPLE
Abrasión %	31.33	40.0% máx.	CUMPLE
SST (ppm)	4656	5500 ppm máx.	CUMPLE

Fuente: Marcos Adrián Marquina Sierra (2008).

Como se observa en la Tabla 14, la escoria no cumple con el porcentaje de fino menor al 5.0%, por lo que se requeriría adición de fino plástico a las escorias para mejorar esta condición, en el desarrollo del proyecto.

Se mencionan otros factores que son importantes a la hora del estudio de la subrasante como son el volumen del tráfico (teniendo en cuenta el tipo de vehículo de diseño) y la influencia del clima en el caso de estudio se presentan variaciones entre 13° C y 17° C. En el Municipio de Nemocón se presenta una temperatura media anual de 12.8° C.

Tabla 15. Tipo de estabilización para suelo.

TIPO DE SUELO	TIPO DE ESTABILIZACIÓN
Materia Orgánica	Estabilización mecánica. Los demás métodos no son efectivos
Arenoso	Mecánica, cuando la granulometría es uniforme. Las arenas limpias pueden mejorar sus características con cemento o asfalto.
Limoso con algo de arcilla	En general, el único tratamiento al que son susceptibles es a la compactación.
Limosos poca o ninguna arcilla	No existen tratamientos económicos. Debe evitarse su uso en superficies expuestas por el polvo cuando secan.
Arcillosos plásticos	Responden a la estabilización con cal.
Arcillosos de textura abierta	Responden muy bien a la compactación.
Arcillas suaves	Susceptibles a la estabilización con cal.
Caolín	Estabilización mecánica con arena, cemento o cal.
Montmorillonita	Con cal.
Illita	Con cemento o cal.

Fuente: Marcos Adrián Marquina Sierra (2008).

La importancia de presentar la Tabla 15, radica en que luego de revisar los resultados de los ensayos del suelo en las vías acceso a la floristería El Futuro, se encontró que el suelo contiene mayor cantidad de limo con algo de arena, ML

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

según clasificación USC o A-4 (0) según AASTHO, en color oro se indica el tipo de suelo y el tratamiento a seguir.

Como conclusiones del estudio se enuncian las siguientes:

- Se determinó que para fines de base y subbase las características físicas de las escorias de la elaboración de acero de la planta de Acero Arequipa ubicada en Pisco son un excelente adherido dado que este cumple con múltiples de los parámetros establecidos por las normas ASTM y el manual de diseño AASHTO para pavimentos con excepción de los parámetros de porcentajes mínimos de finos. Como solución a lo anterior se propuso la incorporación de agregados finos con el fin de cumplir dichos parámetros y darles liga a las escorias. (Marquina Sierra, 2008)
- Para superar el problema de los porcentajes mínimos de finos en las escorias se analizó el material con la presencia de un agregado fino como es el Polvo de Baghouse en proporciones de 10.0%, 15.0% y 20.0%, evidenciando que con este agregado se vencía dicho inconveniente, pero a su vez, estas mezclas no cumplían con los parámetros del Equivalente de Arena. (Marquina Sierra, 2008)
- Analizadas las escorias para fines de pavimentación y cimentación en su condición inicial y posteriormente con sus respectivos agregados con polvo de Baghouse, se pudo percibir altos valores de CBR tanto para las Escorias en su condición inicial, como para las composiciones con el agregado mencionado. Posterior a esto se evidencio el aumento de los valores de CBR en las muestras que contenían el agregado de polvo de Baghouse, alcanzando valores de 259.0% del CBR calculado al 95.0% del Óptimo Contenido de Humedad. De esta manera se evaluó la posibilidad de agregar este nuevo material como base y las escorias en su estado natural como subbase. (Marquina Sierra, 2008)
- El diseño de la estructura del pavimento se realizó teniendo en cuenta el uso de las combinaciones con polvo como Base y cuenta el empleo de las escorias en su estado natural como subbase, siendo la más usada la combinación de 10.0% de polvo de Baghouse con 90.0% de Escorias manifestando un leve ahorro del material de no más de 2.0 cm. en la Base frente a las mezclas de 15.0% y 20.0% de polvo con Escorias y de 3.0 cm a 4.0 cm si se colocara solo escoria es estado inicial como base y subbase. (Marquina Sierra, 2008)
- La mezcla de polvo de Baghouse al 10.0% con escoria al 90.0% obtuvo resultados mejores a los ensayos de capacidad portante arrojando mayores de Esfuerzo Admisible que otras mezclas, e igualmente mejores que la escoria en estado inicial, sin mezclas previas. Cabe resaltar que las escorias en su estado inicial contienen un exceso de partículas por millón tanto de cloruros como de sodios para fines de cimentación según la norma actual. (Marquina Sierra, 2008)

De las conclusiones anteriores del estudio de Marquina Sierra (2008), se resalta el buen comportamiento de la escoria en los resultados del CBR, ya se ha

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

mencionado que el proyecto no tiene contemplado Adicionar material o agregado alguno, pero se tendrá en cuenta este resultado que sería la base para otro estudio.

Carrillo Gil, Arnaldo et al (2009), donde participaron en el Congreso Nacional de Ingeniería Civil - XVII CONIC 2009, toman información del estudio presentado en la cita anterior, aunque no la referencian y se trata de la tesis sobre el Uso de las Escorias Obtenidas como Subproducto de la Elaboración de Acero de la Planta No. 2 de Aceros Arequipa - Pisco para Fines de Cimentación y Pavimentación (Marquina Sierra, M. A., 2008). En este informe se propone el uso de escoria generadas en las acerías de horno eléctrico en el mejoramiento de sub-rasantes, bases y subbases, en remplazo de material granular convencional de cantera.

“Se exhiben los resultados de nuestra propia experiencia construyendo en la Planta de una acería en Pisco dos tramos de camino pavimentado, utilizando en el primer tramo material convencional y en el segundo usando escorias de acería. Se realizó la comparación de los dos tramos y se pudo evidenciar la viabilidad del planteamiento con beneficios técnicos, económicos y medioambientales (Carrillo Gil, A., & García García, E., 2009).

Se asume que la planta a la que se refieren los Elaboración propia es a la Planta No. 2 de Aceros Arequipa – Pisco, donde se construyó un tramo con material convencional y otro tramo con escoria.

Se tomaron once (11) muestras representativas donde se les realizaron los ensayos que se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16. *Resumen de los ensayos con sus respectivas Normas ASTM.*

TIPO DE ENSAYO	REFERENCIA NORMATIVA
Contenido de Humedad Natural	ASTM D 2216
Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM D 422
Límites de Consistencia	ASTM D 4318
Límite Líquido	ASTM D423
Límite Plástico	ASTM D424
Ensayo de Compactación Proctor Modificado	ASTM D 1557
Valor Relativo de Soporte “CBR “	ASTM D 1883
Equivalente de Arena	ASTM D 2419
Gravedad Específica y Absorción de las gravas	ASTM C 128
Gravedad Específica del agregado fino	ASTM C 127
Abrasión por medio de la máquina Los Ángeles	ASTM C 131
Durabilidad con sulfato de Sodio Agregado Grueso	ASTM C-88
Durabilidad con Sulfato de Sodio Agregado Fino	ASTM C-88

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

*Fuente:* Arnaldo Carrillo Gil, et al (2009).

Como ya se mencionó los Elaboración propia tuvieron en cuenta información de la tesis sobre el Uso de las Escorias Obtenidas como Subproducto de la Elaboración de Acero de la Planta No.2 de Aceros Arequipa - Pisco para Fines de Cimentación y Pavimentación, lo anterior para mencionar que presentan la misma información de la “Tabla 14” (Marquina Sierra, M. A., 2008). En este caso la tabla la nombran como “Tabla 3.2. Evaluación de la escoria como material de base” (Carrillo Gil, A., & García García, E., 2009).

El resultado de este informe también determina que no se cumple con el contenido de finos, lo que hace presentar valores nulos en los límites de consistencia y se presenta falta de cohesión al momento de conformar la capa de base o subbase. Si este material se conforma de manera natural y no se agrega algún tipo de ligante, se suelta, pierde compactación al perder humedad, se hace más permeable y permite la filtración de la humedad en las capas inferiores. (Geomaster S.A.C. 2006).

“Para resolver la falta de finos en la escoria, se ensayaron mezcla de escorias con polvo de la acería que se colecta en el sistema de tratamiento de humos.” (Marquina Sierra, M. A., 2008). Refiriéndose al polvo de Baghouse.

Lo novedoso de los resultados de este informe, es la mención que se hace sobre la presencia de cal libre en las escorias de acería que se convierte en un factor importante de inestabilidad. Al hidratarse la cal libre se convierte en cal apagada con liberación de calor e hinchamiento que puede provocar la desintegración de una parte de la partícula. El procedimiento para reducir al mínimo el fenómeno consiste en exponer a la intemperie las escorias por lo menos 6 meses, para dar tiempo a la hidratación antes de hacer uso de ellas (Arce Cardona, O. A., 2007), y así está especificado en los países en los cuales se emplea este subproducto.

Con respecto al párrafo anterior, en el caso del proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, se esperan resultados positivos por el tiempo que lleva almacenada la escoria de Gerdau Diaco que se utilizará en el tramo de prueba en Nemocón que es más de seis (6) meses, Adicionalmente de los análisis químicos se obtendrá el porcentaje de Cal (CaO, óxido de calcio), que contiene el material mencionado.

En países donde se emplea la escoria como material granular en bases, subbases, o en el mejoramiento de sub-rasantes; su empleo se restringe a zonas donde no sean inundables y se condiciona el empleo de las escorias hasta un espesor máximo de 70.0 cm, siempre y cuando el pavimento cuente con una capa de hormigón, de rodadura asfáltica, o una capa impermeable en la superficie. Aceptan el empleo de espesores mayores, pero mezclando la escoria con material convencional (Gobierno de España & Generalitat de Catalunya, 2009).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Lo anterior se basa en un decreto ambiental de España, de igual manera se investigará la norma ambiental en Colombia, para saber que menciona sobre el uso de las escorias de acería.

Para el estudio de la subrasante se realizaron seis (6) apiques, para determinar su perfil estratigráfico, sus propiedades físicas y dinámicas de acuerdo con lo establecido en la Tabla 16.

Del resultado del ensayo de CBR in situ se obtuvo un valor de 6.10%, en el laboratorio alcanzó un valor de 12.8%. Estos valores son bajos por lo que se decidió mejorar la subrasante mezclando el suelo natural con 20.0% de material granular a fin de llegar a un mínimo de 20.0% de CBR (A.C. Ingenieros Consultores S.A.C., 2006).

Para el diseño de la estructura de pavimento se hicieron las siguientes consideraciones.

**Período de diseño:** 20 años (2007 – 2026).

**Tráfico:** Camiones tráiler de 30 toneladas de capacidad.

**Frecuencia:** 200 camiones por día como máximo.

**El número de ejes equivalentes a 80.07 kN, considerando el carril más cargado para el período de diseño es:** 6'411.444 ejes equivalentes.

**Factores Hidrometeorológicos:** Clima seco, la temperatura ambiente fluctúa entre 13° C y 27° C.

Como se observa, estas condiciones del tramo de prueba en la provincia de Pisco – Perú difiere bastante con las circunstancias que se ostentan para el diseño en el Municipio de Nemocón – Colombia y que se complementan en la Tabla 17.

Tabla 17. Condiciones climáticas y climatológicas de la Provincia de Pisco (Perú) y el Municipio de Nemocón (Colombia).

PROVINCIA/MUNICIPIO	CLIMA	TEMPERATURA	ALTITUD m.s.n.m.	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL mm
Pisco	Seco	23.7° C	17.0	1.5
Nemocón	Frío	12.8° C	2585.0	629.7

Fuente: Pisco (ciudad). (2020). En Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pisco\\_\(ciudad\)&oldid=125105622](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pisco_(ciudad)&oldid=125105622), Nemocón. (17 de abril de 2020). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Nemoc%C3%B3n&oldid=125269968>

Para el caso de la subrasante se comparó la mezcla como se describe a continuación:

**“Tramo con material convencional (paralelo a la Carretera Panamericana Sur), SUBRASANTE:** Suelo natural escarificado y compactado en un mínimo de 0.20 m por debajo del nivel de base, al 95.0% del Ensayo Proctor Modificado de laboratorio hasta alcanzar un mínimo de 20.0% de CBR, utilizando rodillos lisos vibratorios. Como se ha indicado será necesario practicar un mejoramiento del

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

suelo de subrasante por medio de la adición de material granular tipo afirmado en un porcentaje mínimo de 20.0%.

**Tramo con escoria (perpendicular a la Carretera Panamericana Sur), SUBRASANTE:** Suelo natural escarificado y compactado en un mínimo de 0.20 m por debajo del nivel de corte, al 95.0% del Ensayo Proctor Modificado de laboratorio hasta alcanzar un mínimo de 20.0% de CBR, utilizando rodillos lisos vibratorios. Es necesario practicar un mejoramiento del suelo de subrasante por medio de adición de material granular de cantera” (Carrillo Gil, A., & García García, E., 2009).

Tabla 18. *Resultados de ensayos de Laboratorio.*

Descripción	Subrasante Natural	Sub-rasante mejorada (80% Suelo + 20% Escoria)
Máxima Densidad Seca (Ton/m <sup>3</sup> )	1.70	1.83 1.78 1.93 1.88
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.00	12.70 12.80 9.10 10.40
Valor de Soporte CBR (%) al 100% de la MDS	16.20	60.50
Valor de Soporte CBR (%) al 95% de la MDS	12.80	30.50
Expansión (%)	0.23	0.00
Equivalente de Arena (%)	56.24	
Clasificación SUSC AASHTO	SP-SM A-3	GC A-2-4 (0)

Fuente: Carrillo Gil, Arnaldo et al (2009).

De los diseños presentados en el párrafo anterior y de los resultados de la Tabla 18, se reafirma el concepto de Adicionar material granular a la escoria para tener una mezcla óptima. Se tendrá en cuenta este resultado para la comparación de los resultados del tramo de prueba en el Municipio de Nemocón, específicamente en las vías de acceso a la floristería El Futuro.

Como conclusiones de este informe se presentan los siguientes:

“El material de cantera puede ser favorable y desfavorable al mismo tiempo. Pero sus desventajas pueden ser remediadas bajos los recursos propuestos dado que, por ejemplo, al agregar los finos de otra cantera o residuos como los finos de acería, se puede reparar la falta de finos en su granulometría; respecto a esto, algunos autores consideran que la presencia de cal libre ocasione una expansión que pueda perjudicar la estructura, pero esta especulación se anula al exponer las escorias de acería a la intemperie por un tiempo de seis (6) meses, de la

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

misma manera que se realiza en los países donde ya se practica el uso de este recurso. Los ensayos realizados nos exponen que tanto la escoria como el material de cantera tienen cualidades similares. El uso de la escoria de acería representa una ventaja frente a la sustentabilidad ambiental dado que permite que este residuo tenga un nuevo uso, siendo reciclada una gran parte del desecho que perjudica el medio ambiente, y a su vez, disminuyendo la explotación de las canteras que causan contaminación en la zona puesto que para su procesamiento se requiere de energía y combustibles. Este hecho significa una ventaja económica a favor de las escorias; el ahorro en la partida de conformación de base puede llegar a 57.0% del presupuesto de la partida.

- El empleo de las escorias en obras viales se practica en muchos otros países, donde cuentan con Normas específicas. En países con más experiencia en este campo, el Estado promueve esta práctica por motivos medioambientales. Han transcurrido dos años y medio de la construcción de los tramos y no encontramos signos de fallas ni diferencia alguna entre ambos pavimentos” (Carrillo Gil, A., & García García, E., 2009).

De las anteriores conclusiones se espera que en el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, se puedan cumplir a pesar de las diferentes condiciones climatológicas y climáticas entre la Provincia de Pisco y el Municipio de Nemocón.

Méndez (2011), donde se describen los distintos tipos de escoria las cuales son: Escoria de Acería LD, Escoria de Alto Horno, Escorias del Tratamiento del Cobre y Escoria de Horno de Arco Eléctrico. De este proyecto se toman algunas definiciones e información que aporta sobre la escoria de horno de arco eléctrico y específicamente de las llamadas escorias negras. La estructura química de la escoria depende del tipo de chatarra que se ha utilizado, al igual que el control de las variables de operación, en la Tabla 19 se presentan porcentajes representativos.

Tabla 19. *Composición química de la escoria negra.*

CONTENIDO	COMPOSICIÓN (%)
Óxido de Calcio (CaO)	40 - 52
Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	11 - 25
Óxido de Hierro (FeO)	3 - 25
Dióxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2 - 22
Óxido de Magnesio (MgO)	4 - 11
Óxido de Cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.6 - 4
Óxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	0.25 - 1.6

*Fuente:* Méndez Piña, Ana (2011).

Los porcentajes, mencionados se tendrán en cuenta a la hora de obtener los resultados de las muestras de la escoria obtenidas de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta en Boyacá, en las consultas realizadas de otros

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Elaboración propia hasta ahora se menciona el cromo y el titanio como compuesto de la escoria.

Otros datos importantes que se tienen en cuenta son:

“Una diferencia que hay que tener en cuenta a la hora de considerar los costos de transporte y las dosificaciones es que los áridos presentan una densidad relativa superior a la de los áridos naturales, cuando estos son obtenidos de las escorias negras de acerías de hornos de arco eléctrico, y la cual puede variar entre 3.3 y 3.8.

Las escorias negras de acería poseen una naturaleza expansiva gracias a que contiene dentro de su composición óxido de cal, el cual se hidrata rápidamente y puede ocasionar grandes cambios de volumen en pocas semanas, y magnesio libre, el cual también se hidrata, pero en un tiempo más prolongado que el óxido de cal.

Los lixiviados de estas escorias pueden tener un pH superior a 11, por tanto, pueden presentar problemas de corrosión en las tuberías de aluminio y acero que se coloquen en contacto directo con ellas” (Méndez Piña, A., 2011).

Los lixiviados exhiben complicaciones en las tuberías de acero y aluminio puesto que, si su pH es superior a 11, pueden causar corrosión en los conductos que se ubiquen en contacto directo con ellos” (Méndez Piña, A., 2011).

Es claro que la escoria presenta expansividad por las razones expuestas por esta y otros Elaboración propia consultados, para el proyecto de la “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, se realizará también un análisis de pH, donde se tendrá en cuenta el resultado obtenido y verificar si es superior a 11.

La autora describe las aplicaciones de la escoria negra, de las cuales tienen en cuenta las que corresponden a las obras de carreteras.

Por lo general, bajo los tratamientos apropiados, las escorias negras cumplen con las especificaciones técnicas que piden los pliegos de carreteras para áridos de capas granulares en coronación de explanadas, base y subbase de carreteras. Cómo se indicó anteriormente, se corre el riesgo de la expansión debido a la hidratación, por lo cual se debe verificar el potencial expansivo del material y delimitar su uso si esto sobrepasa los valores preestablecidos. La escoria puede ser difícil de extender y compactar dada su angulosidad, porosidad y la falta de finos, por esta razón, para mejorar estas características tiende al combinarse con otros áridos. (Méndez Piña, A., 2011).

Se ha demostrado que un correcto tratamiento, clasificación y selección de las escorias, pueden proporcionar áridos de calidad sin problema, para ser utilizados en mezclas bituminosas. Estos áridos poseen un buen coeficiente de Los Ángeles y un excelente coeficiente de pulimento acelerado, que los hace particularmente utilizables en capas de rodadura. La estructura química y el

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

carácter básico de las escorias aseguran una buena adherencia con los betunes convencionales. El inconveniente principal en la fabricación de mezclas con estos áridos es la falta de finos en la fracción más pequeña. Una dosis de áridos apropiada, desde un enfoque técnico, es la combinación de árido fino calizo y árido grueso escoria (Méndez Piña, A., 2011).

Como conclusiones que presenta el proyecto y tienen que ver con obras viales se mencionan las siguientes:

- No se presentan problemas frente a los áridos naturales, ya que no incluyen arcillas ni elementos orgánicos. Esto es un buen punto teniendo en cuenta que la escoria de Gerdau Diaco de la planta del Municipio de Tuta – Boyacá, actúa como adición al terreno que de acuerdo a los primeros ensayos contiene limo en el sector donde se realizará el tramo de prueba correspondiente a las vías de acceso a la floristería El Futuro.
- Disminución del impacto medioambiental, además de beneficio espacial al no depositando los residuos en los vertederos. Otra ventaja ya que el proyecto de utilizar la escoria de Gerdau Diaco es buscar la minimización el impacto ambiental y aprovechar este material en obras viales en este caso terciaria que mejoren su transitabilidad.

Una conclusión en contra del uso de las escorias como lo describe la autora, en España hay bastantes canteras y de buena calidad, ocasionando que no sea interesante el aprovechamiento de las escorias, lo anterior también implica que los intereses económicos de los dueños de estas canteras influyan en las legislaciones y no se le dé importancia al uso de las escorias, en Colombia no hay información que esta situación se presente, y se esperaría que no suceda una situación como esta, teniendo en cuenta que la vía terciaria requiere de materiales alternativos para su desarrollo y requieran inversión más baja.

Ortega (2011) en su tesis doctoral estudia el aprovechamiento de las escorias blancas de horno de cuchara (LFS) y las escorias negras obtenidas en la fabricación de acero mediante horno eléctrico de arco (EAFS), en la estabilización de suelos arcillosos de mala calidad y en la formación de capas del firme de caminos rurales, respectivamente.

En este trabajo se analizan no solo las escorias sino los suelos arcillosos que por lo general requieren estabilización, Adicionalmente se pretende resolver un problema que en Colombia también existe, como es la construcción de caminos rurales o vías terciarias en terreno blando, donde su inversión es poca y en ciertos casos la intensidad del tráfico y las cargas elevadas hacen que estas vías tengan un deterioro prematuro.

La industria de siderúrgica también ha evolucionado tecnológicamente y mejorado el perfeccionamiento de los procesos de fabricación, mejorando la calidad de los aceros.

Una mejora del proceso de afino y purificación del caldo de acero ha sido la aplicación de la metalurgia en las cucharas de transporte a las acerías que utilizan tanto los Hornos Eléctricos (HEA) como los Convertidores de Oxígeno

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

(BOF), denominándose a este proceso “metalurgia secundaria”. Más adelante se presentarán en detalle estos conceptos que se presentan en el estudio de Landaberea Lorenzo, A., (2018).

Un planteamiento de la autora tiene que ver con la rentabilidad de la escoria siderúrgica, donde se debe considerar el componente del transporte o del acarreo. Es por ello que la distancia ideal en un primer planteamiento teórico, tendría que ser de 120 Km. entre plantas de producción de acero. De esta forma, podremos estimar su uso con una implicación del factor transporte en el precio final del producto de forma razonable.

Se estima una distancia desde la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá hasta el Municipio de Nemocón – Cundinamarca de 123 Km, una distancia muy cercana a la ideal propuesta por la autora.

De acuerdo con los diferentes Elaboración propia consultados se ha destacado la inestabilidad de las escorias de acería sin importar su proceso de fabricación (Convertidor BOF, Horno de Eléctrico de Arco EAF y Horno Cuchara LF), donde se presentan importantes variaciones volumétricas.

Son varias las causas que producen este fenómeno en las escorias, a veces son las características físicas de sus componentes, como el tamaño de grano de la escoria, el grado de cierre que presentan los nódulos de cal en la matriz de la propia escoria o su porosidad y red capilar, las que ocasionan este fenómeno. En otras ocasiones son sus caracteres químicos, como los nódulos de cal y magnesia libres que al hidratarse aumentan de volumen, o la oxidación de los iones de hierro que, aunque en pequeñas proporciones, se encuentran presentes en su composición (Ortega López, V., 2011).

Las causas que hacen que las escorias sean inestables y expansivas, son las siguientes:

- La hidratación de la cal libre.
- La hidratación de magnesio libre.
- Conversión de las fases del silicato bicálcico.
- Oxidación de  $Fe^{+2}$  a  $Fe^{+3}$ .

Para la fabricación de aceros de alta calidad se utilizan grandes cantidades de cal que se añaden junto con las materias primas. Como consecuencia, las escorias presentan una concentración de cal importante en forma de CaO y una elevada base de CaO/SiO<sub>2</sub>.

La cal libre no combinada se meteoriza mayoritariamente en contacto con la humedad ambiental o por el agua de lluvia, Se produce su hidratación en un plazo de dos a tres días en zonas húmedas, puede ser el caso en el tramo de prueba en el Municipio de Nemocón. El propio proceso de hidratación propicia la desintegración paulatina de las escorias la retroalimentación del proceso, completándose este en un corto espacio de tiempo.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Los procesos de hidratación del óxido de magnesio se producen de forma parecida a los del óxido de cal, pero de manera más lenta. La transformación del óxido de magnesio (MgO) en hidróxido de magnesio Mg (OH)<sub>2</sub> provoca un hinchamiento que afecta a la estabilidad de las escorias y obliga a limitar la concentración de este elemento para las escorias utilizadas en la fabricación de otros materiales.

Cuando la escoria extraída de los hornos se enfría se producen cambios mineralógicos en su composición propiciados por el contraste térmico entre el ambiente del horno y el de los acopios en que se dispone. Las escorias negras EAF y BOF no se afectan por estos procesos porque a temperatura ambiente no se producen transformaciones añadidas que puedan alterar su estabilidad. La presencia de fósforo procedente del tratamiento de defosforación del acero estabiliza el silicato beta ( $\beta$ ) e inhibe su descomposición, por lo podemos encontrar concentraciones de ambos silicatos gamma ( $\gamma$ ) y beta ( $\beta$ ) en las escorias a temperatura ambiente. Lo anterior describe la expansividad de las escorias por hidratación de magnesio libre (Losañez González, M., 2005).

Las escorias negras de acería EAF y BOF presentan en su composición concentraciones de hierro no extraídas o en combinación con los componentes mineralógicos. Este fenómeno de cuarteo no se produce por igual en todos los tipos de escoria, ya que la mayor parte de los óxidos de hierro que poseen son estables y no se alteran. La utilización de escorias con este aspecto granulado o escamoso dificulta su utilización como material de construcción y se hace necesario establecer su utilidad mediante los correspondientes ensayos (Losañez González, M., 2005).

La autora plantea dos (2) alternativas de uso de las escorias y se diferencian en función de la necesidad o no de realizar algún tipo de procesado previo a su uso, es decir:

- Escorias negras utilizadas directamente sin procesado previo de transformación.
- Escorias sometidas a procesos de transformación para obtener materiales estables.

La aplicación directa de las escorias, o indirecta después de un proceso de transformación previo, es función de las propiedades y características que presente el material y de su estabilidad dimensional en el tiempo.

Las escorias negras EAF son más estables que las escorias negras BOF, por lo cual son más adecuadas para una utilización posterior sin necesidad de procesos de transformación añadidos.

Las escorias negras BOF y EAF se han utilizado tradicionalmente en la adecuación de bases y subbases para plataformas de calzadas y carreteras en caminos, para tráfico rodado e incluso en vías férreas (Mutz, H. G., 2001) (Rubio, A. R., 1991) (Rubio, A. R., Carretero, J. G., 1991) (Thomas, G. H., 1983).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Se tomaron nueve (9) muestras de las escorias, donde se realizaron los siguientes ensayos en cuanto a la caracterización química y mineralógica de las EAFS:

- Espectrofotometría de absorción atómica, fluorescencia de rayos-X y combustión y análisis de gases, para el análisis químico.
- Difracción de rayos-X.
- Microscopia electrónica de Barrido.
- Microanálisis por energía dispersa de rayos-X.

En el caso de la escoria negra, han sido realizados análisis químicos para determinar tanto sus componentes (elementos químicos y óxidos) principales tales como aluminio, calcio, hierro, magnesio, manganeso, oxígeno, silicio, así como otros mecanismos secundarios, entre los que destacan aquellos cuyas proporciones en los áridos se encuentran limitadas según EHE (cloruros, sulfatos totales, sulfatos solubles, sulfuros) y otros de interés Adicional (C, P, Na, Ti, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, Hg) junto a la cal libre (Ortega López, V., 2011).

Como conclusiones de la tesis doctoral de Ortega López, podemos mencionar las siguientes:

- La escoria es viable como para uso eficiente como complemento en construcción y obra civil.
- Se debe evaluar de manera periódica el potencial de toxicidad de las escorias por lixiviación en ensayos ineludibles y obligatorios, esto para cualquier situación en la que se requiera usar escoria o subproductos industriales.
- Las mezclas de suelo y escoria reducen severamente el porcentaje de hinchamiento libre del suelo original determinado en la célula edométrica. Se cree que este fenómeno puede deberse al intercambio iónico producido entre el suelo y la escoria y/o a reacciones puzolánicas, similar a lo que ocurre cuando se estabiliza suelos con cal. En el desarrollo del proyecto "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN", no se Adicionará material o estabilizante alguno.
- En general de esta Tesis Doctoral, se puede señalar que materiales como las escorias LFS, EAF y suelos clasificados como marginales o inadecuados, que por separado serían llevados a vertederos, pueden valorizarse combinándolos y emplear la mezcla resultante como material apto para la construcción de explanadas y firmes de viales, al menos por aspectos de tipo técnicos determinados a partir de ensayos de laboratorio. Además de la consiguiente mejora medioambiental experimentada, en cuestión de eliminación de acopios de subproductos, transporte de suelos a vertedero y sobre explotación de canteras y recursos naturales (Ortega López, V., 2011).

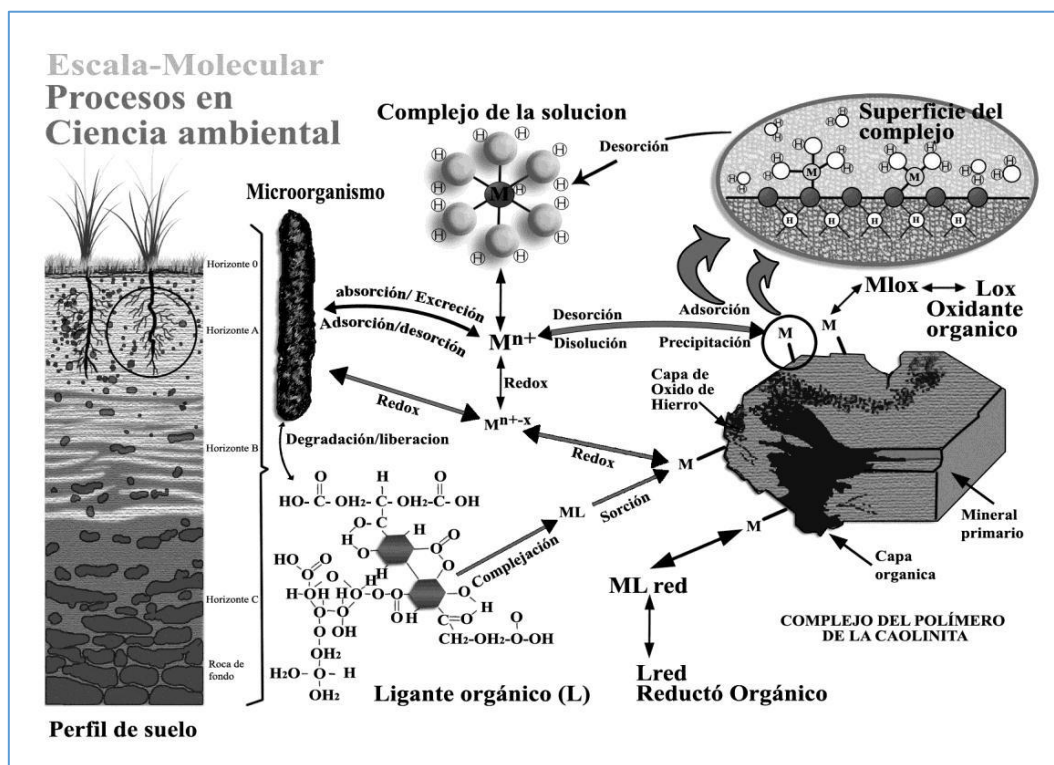
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Otegi (2012), se evalúa la posibilidad de valorizar desde una perspectiva ambiental las escorias de horno eléctrico en capas granulares no ligadas en la construcción, este trabajo ha estudiado a manera experimental los procesos de lixiviación. Los ensayos se han realizado para las escorias blancas, haciendo mayor énfasis en esta, pero también analizando las escorias negras. Esta tesis se cita teniendo en cuenta la importancia que tiene el impacto ambiental para los Elaboración propia del proyecto con la escoria de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá.

### Lixiviación

El proceso de la lixiviación, por el que contaminantes inorgánicos-orgánicos o radio nucleídos son liberados (total o parcialmente) desde la fase sólida a la fase acuosa debido a la disolución del mineral, a procesos de adsorción/desorción o procesos complejos afectados por el pH, potencial redox, materia orgánica disuelta y actividad biológica (micro). Este procedimiento en sí es universal, cualquier material expuesto al contacto con el agua desprende los componentes de su superficie o su interior, sujeto a la porosidad del material considerado (Van der Sloot, H. A., 2007). Figura 7 presenta el proceso de lixiviación.

Figura 7. Proceso de lixiviación.



Fuente: Surface and Aqueous Geochemistry Group, Stanford, USA. <https://pangea.stanford.edu/research/saag/>.

Los materiales de construcción pueden contener componentes tóxicos solubles, y al ser aplicados en el exterior, el agua de lluvia, el agua superficial o las aguas subterráneas pueden provocar lixiviados con concentraciones de componentes tóxicos elevados, ocasionando una potencial amenaza al medio ambiente (Hidalgo, A., & Alonso, C., 2005).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

### **Tipo de Material**

Se distinguen dos (2) tipos de productos, frente a la lixiviación (Hidalgo, A., & Alonso, C., 2005).

- Monolítico.
- Granular.

### **Mecanismos de lixiviación**

- Lavado.
- Difusión.
- Percolación.
- Disolución – Erosión.

### **Factores de lixiviación**

- Factores químicos.
  - o Mecanismos básicos químicos.
  - o pH.
  - o Forma química del constituyente en el producto.
  - o Composición total del producto.
  - o Redox
  - o Capacidad de Buffer ácido-básico. Resistencia a cambio de pH.
  - o Materia orgánica y DOC.
  - o Composición de la fase acuosa y fuerza iónica.
  - o Temperatura.
- Factores físicos que influyen en el transporte de constituyentes desde el producto a la fase acuosa.
  - o Mecanismos básicos de transporte.
  - o Tamaño de partícula
  - o Porosidad
  - o Permeabilidad:
  - o Tortuosidad:

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

- Forma y tamaño monolítico
- Sensibilidad a la erosión
- Intrusión de sales
- Factores del ambiente
  - Tiempo.
  - Especificaciones geotécnicas de la aplicación.
  - Hidrología del entorno.
  - Ciclos de humedad-secado.
  - Degradación de sustancias orgánicas en el material.

Esta tesis se ciñe a la normativa ambiental vigente española que va de la mano con las normas europeas. Por lo anterior se deberá tener en cuenta la ley ambiental en Colombia para el desarrollo del proyecto con la escoria de la planta de Gerdau Diaco.

Como conclusiones se destacan las siguientes:

- La escoria negra contiene un mayor contenido de Ba (Bario químicamente similar al Calcio) por esto su lixiviación es menor a la de la escoria blanca. Lo cual es posible por la estructura o la forma en que este elemento se localiza en la composición del material.
- Se ha llegado a la conclusión con el análisis de dependencia de pH que la cantidad liberada aumenta en medios ácidos, en aquellos elementos donde su liberación necesita del pH del entorno, excepto en el caso de los cloruros, donde su liberación logra el máximo en entornos ligeramente básicos, valor de pH cercano al 10.
- Entre los análisis realizados para caracterizar el comportamiento de lixiviación de material granular en capa no ligadas el más adecuado es el ensayo de percolación. Teniendo en cuenta la disolución del material, suministra información de los distintos mecanismos de liberación y las concentraciones obtenidas en el laboratorio se pueden extrapolar en el tiempo mediante la relación de L/S.

En el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, se realizarán los siguientes análisis de las propiedades metalográficas, químicas:

- Preparación de muestras para DRX y FRX: Pulverizado y secado.
- Fluorescencia de Rayos X método perla.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

- Identificación de minerales mediante XRD.
- Montaje metalográfico pulido tratado con nital.
- Análisis metalográfico.
- Análisis de PH.

Donde se tendrá en cuenta el resultado de las propiedades de la escoria de Gerda Diaco y el impacto ambiental.

Yonar (2015) en su artículo titulado Environmental Effects and Possible Highway Applications of Electric Arc Furnace Slag in Turkey, donde evalúan el posible uso de escoria de horno eléctrico de arco (EAF) y a partir de tres muestras se evalúan el comportamiento en condiciones de enfriamiento, contaminación y meteorización. Para lograr esto, se parte de investigar los efectos medioambientales de acuerdo con los “criterios del vertedero de residuos sólidos” estos parámetros se comparan con las variables de regulación internacional. Los parámetros potencialmente peligrosos y deficientes se incluyen en la investigación. En segundo lugar, las propiedades mecánicas se examinan de acuerdo con las normas ASTM y se comparan con los límites de las Especificaciones Turcas de Carreteras de 2013. Y finalmente las propiedades ambientales y mecánicas se evalúan dentro del alcance de las posibles aplicaciones.

Turquía es el octavo productor de acero a nivel mundial con un volumen de producción de 49.6 millones de toneladas, donde el 75.9% es producido en Horno Eléctrico de Arco, este dato del año 2015 se ha actualizado de acuerdo con el informe “Global crude steel output increases by 3.4% in 2019” en la Tabla 20 (World Steel Association, 2020).

Tabla 20. Top de los 10 países productores de acero.

PUESTO	PAÍS	2019 (Mt)	2018 (Mt)	% 2019/2018
1	China	996.3	920.0	8.3
2	India	111.2	109.3	1.8
3	Japón	99.3	104.3	-4.8
4	Estados Unidos	87.9	86.6	1.5
5	Rusia	71.6	72.0	-0.7
6	Corea del Sur	71.4	72.5	-1.4
7	Alemania	39.7	42.4	-6.5
8	Turquía	33.7	37.3	-9.6
9	Brasil	32.2	35.4	-9.0
10	Irán	31.9	24.5	30.1

Fuente: Asociación Mundial del Acero (2020), unidades en millones de toneladas, <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-3.4--in-2019.html>.

Debido a la demanda de agregados minerales para obras de infraestructura vial en Turquía que ha ido aumentando en los años recientes, con la consecuencia de afectaciones ambientales importantes, por lo anterior se buscan materiales alternativos como la escoria EAF.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Las escorias EAF utilizadas para el estudio se obtuvieron de tres (3) fábricas de acero en Turquía. De cada fábrica de acero se toma una cantidad total de 360.0 Kg de muestra de tres ubicaciones diferentes las cuales fueron la región de Marmara (EAF\_S1), la región del Egeo (EAF\_S2) y la región Mediterránea (EAF\_S3) y la muestra de agregado natural se toma de la cantera Omerli-Alyans en la región de Marmara como referencia.

Las muestras que se tomaron de la primera fábrica son resistidas por 6 meses como mínimo, las muestras tomadas de la segunda fábrica son frescas y las muestras que se tomaron de la tercera fábrica son resistidas por 6 meses como mínimo. En los tres casos no se presenta contaminación, se observó alta porosidad y las muestras se han enfriado por pulverización de agua cuando se vierten desde el cucharón a aproximadamente 1300°C.

En la muestra EAF\_S3 el valor de CaO es mayor y el valor de MgO es menor, estos valores son críticos para la posibilidad de expansión.

Para evaluar el comportamiento de lixiviación de las tres muestras de escoria para determinar si estos residuos son inertes, no peligrosos o peligrosos se usó la prueba de lixiviación EN-12457-4 (2002) en la cual se tomaron muestras de EAF por separado y se redujeron a un tamaño de partícula inferior a 10.0 mm y se pusieron en contacto con 10 veces el peso del agua bajo agitación continua durante 24 horas. Dando como resultado que las tres muestras de EAF son desechos inertes lo que significa que al no presentar reacciones físicas o químicas no afectaran negativamente a otras materias con las que entren en contacto de una manera que pueda generar contaminación ambiental o dañar la salud humana por lo tanto el uso de las escorias EAF no representara un peligro alguno para el medio ambiente (Yonar, F., Ubay, E. U., Dikbas, H. A., Demir, B., & Ergun, M., 2015).

Las pruebas de absorción y densidad aparente se realizan de acuerdo a las normas ASTM C127-12 y C128-12 dando como resultado que los valores de absorción de las escorias EAF son extremadamente altos de acuerdo con el agregado natural. Estos valores son el resultado de una alta porosidad la cual ocurre debido a la alta diferencia entre la escoria líquida y el agua de enfriamiento ocasionando que la escoria restrinja los gases y les impida partir, de acuerdo a las especificaciones turcas de carreteras los agregados con mayor absorción del agua pueden ser usados con la condición de que se hayan cumplido otros límites.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la alta densidad aparente de la escoria EAF. Esto afectaría la distancia de arrastre de la escoria EAF a menos que esta satisfaga otras propiedades mecánicas. La prueba de índice de descamación se realiza de acuerdo a la norma ASTM D4791 y ASTM C127-12, los índices de descamación de la escoria EAF son más bajos en comparación a los del agregado natural por lo tanto se considera que esta situación es el resultado de un enfriamiento rápido, la escoria comienza a romperse con una forma más esférica. Para la prueba límite de líquido e índice de plasticidad realizada de acuerdo con la ASTM D4318 en donde se determinaron que todas las muestras son no plásticas. De acuerdo a las normas solo materiales con límite de líquido inferior al 25.0% e índice de plasticidad inferior al 6.0% solo se

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

permiten en la capa sub-rasante. Se exigen materiales no plásticos para el resto de capas (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2019) (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2015) (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2010).

El estudio concluye que:

- Las escorias EAF tienen valores de absorción más altos que el agregado natural, por lo tanto, para determinar el aspecto económico, se deben realizar diseños de mezcla de base granular y capa bituminosa. En el desarrollo del proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, se diseñarán mezclas con el material de subrasante que ha resultado ser en su mayoría limo.
- Los valores del índice de resistencia de las escorias EAF son mejores que el agregado de referencia. La porosidad del EAF no afecta densamente el valor de solidez por lo tanto la escoria EAF puede usarse como un agregado artificial en la construcción de carreteras en capas granulares no unidas en el alcance de este estudio y por último las escorias EAF estudiadas en este documento son desechos inertes lo que en consecuencia no representa ningún peligro para el medio ambiente (Yonar, F., Uday, E. U., Dikbas, H. A., Demir, B., & Ergun, M., 2015).

**Washington State DOT, Construction Division Pavements Office**, en este informe titulado *Use of Steel Slag Aggregate in Pavements* (2015), el Departamento de Transporte del Estado de Washington estudia el uso de escoria de acería como agregado para las carreteras y proyectos de pavimentación que se ejecutan en el año 2016 en las diferentes ciudades de Estados Unidos, para ello revisan los estudios que se han realizado en este tema y se hará un tramo de prueba de una milla de largo se harán los correspondientes análisis este tramo de prueba se monitoreará por 5 años como mínimo para verificar que su durabilidad sea equivalente al pavimento convencional.

Extractamos las tablas que presentan las propiedades químicas y físicas de estas escorias, en los estudios descritos anteriormente no había datos de la escoria producida en Estados Unidos.

Tabla 21. Óxidos típicos de la escoria de hierro y acero.

CONTENIDO	ALTO HORNO			ESCORÍA DE ACERÍA	
	ESCORIA DE ALTO HORNO %	ESCORIA DE ALTO HORNO (ALEMÁN) %	ESCORIA DE ALTO HORNO (BRITÁNICO) %	ESCORIA DE HORNO OXÍGENO %	ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO %
Óxido de Calcio (CaO)	32 a 45	39.2	40.0	43.0	35.0
Óxido de Silicio (SiO <sub>3</sub> )	32 a 42	40.0	35.0	15.0	14.0
Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.1 a 0.75	1.8	0.2	25.0	29.0
Óxido de Magnesio (MgO)	5 a 15	3.8	10.0	8.0	8.0
Óxido de Manganeseo (MnO)	0.2 a 0.8	-	-	5.0	6.0

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

CONTENIDO	ALTO HORNO			ESCORÍA DE ACERÍA	
	ESCORIA DE ALTO HORNO %	ESCORIA DE ALTO HORNO (ALEMÁN) %	ESCORIA DE ALTO HORNO (BRITÁNICO) %	ESCORIA DE HORNO OXÍGENO %	ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO %
Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7 a 16	13.5	12.0	2.0	5.0
Óxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )	0.4 a 2.0	0.2	-	0.07	0.1

*Fuente:* Washington State DOT, Construction Division Pavements Office (2015).

Con respecto a las tablas vistas, la Tabla 21 nos presenta valores similares a los analizados en la composición química de la escoria de acería en diferentes países como se menciona en la Tabla 24.

La información de este informe que sirve de utilidad, tiene que ver con el posible uso de la escoria de acería como base. La fuente de la escoria de acería fue alta en CaO, lo que indica la posible inestabilidad en presencia de agua (aumento de volumen). La escoria se almacenó durante seis meses para permitir una posible expansión. Se concluye agregar escoria de acería reduce los costos y se comporta bien cuando se usa como base, siempre que se haya curado en condiciones húmedas para reducir el potencial de expansión. Esta conclusión es importante teniendo en cuenta al Adicionar la escoria en la capa de mejoramiento de la sub-rasante se podría realizar el mismo tratamiento.

Este estudio hace las siguientes recomendaciones, que son válidas para tener en cuenta en la tesis de grado:

Antes de cualquier uso del agregado de escoria de acería, se deben realizar pruebas exhaustivas para determinar la naturaleza expansiva del material y su resistencia a largo plazo bajo cargas y humedad repetidas. En el caso de Adicionar la de escoria de acería de Gerdau Diaco como capa de mejoramiento de la sub-rasante es una recomendación a tener en cuenta

El uso de la escoria de acería en bases y subbases no se mencionó específicamente; sin embargo, la teoría indica que el alto pH de algunos agregados de escoria de acero puede ser un problema con respecto a la corrosión de las alcantarillas, la vida acuática en arroyos y ríos adyacentes a las carreteras. Sin las pruebas adecuadas, no se recomienda su uso como adición en el caso de las bases.

P.S. Khillare et al (2016) en su estudio titulado CBR Determination on Subgrade Soil by Replacement of Additives, este artículo evalúa la capacidad de carga del suelo sub-rasante para el diseño de pavimento flexible, el valor de CBR del suelo sub-rasante es usada en el diseño de la estructura del pavimento y es un valor crítico para decidir el espesor del pavimento, Adicional a esto para un buen drenaje se requiere del valor del coeficiente de permeabilidad del material de la sub-rasante. Para el desarrollo de este proyecto solo se han considerado los aspectos de la resistencia del sub-rasante del pavimento.

El diseño del pavimento se basa en la resistencia del suelo compactado o sea la sub-rasante. El diseño de las capas de pavimento colocadas sobre la sub-

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

rasante comienza por determinar la resistencia del subsuelo y el volumen del tráfico que se espera. El diseño del pavimento depende mucho de la resistencia sub-rasante del suelo. En los criterios de diseño se necesita principalmente el espesor de las capas. La resistencia del suelo de un sub-rasante se expresa normalmente en CBR.

Sin embargo, debido a la naturaleza variable del suelo, la resistencia de la sub-rasante cambia inconsistentemente y esta es muy dependiente de la cantidad de humedad. El CBR es la única prueba que puede determinar la resistencia de un sub-rasante. El valor de CBR es inversamente proporcional al grosor de la capa de pavimento. Si la sub-rasante es más fuerte, mayor es el valor de CBR, por lo que se requiere menor espesor y viceversa.

El uso de materiales económicos y disponibles cerca de los proyectos con los análisis e ingeniería adecuados para hacerlos estructuras funcionales y rentables puede ser una solución bien recibida.

En este artículo se tiene en cuenta el tipo de suelo denominado Moorum (moro) es generalmente un suelo residual descompuesto de roca laterita es de color rojo a marrón rojizo.

La Fotografía 6 presenta la apariencia del Moorum (VISIONS, P., 2018).

Fotografía 6. *Tipo de suelo denominado Moorum.*



*Fuente:* VISIONS, PARAM (2018), <https://www.paramvisions.com/2018/07/difference-between-moorum-and-soil.html>

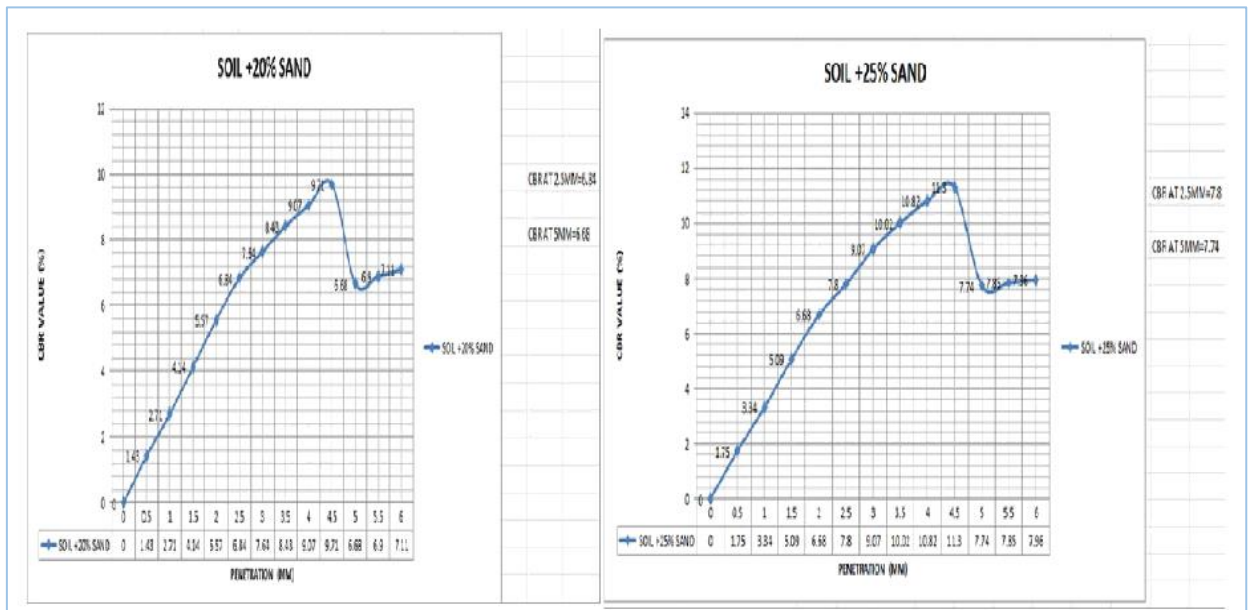
Para la elaboración de la investigación se emplearon dos tipos de suelos, uno de estos es el suelo Moorum rojo y el suelo denominado algodón negro. Inicialmente se realizaron experimentos para poder descubrir diferentes propiedades del suelo por ejemplo las propiedades de índice, granulometría, etc. Posteriormente se realizaron pruebas de compactación pesada para establecer el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima correspondiente. Luego se realizaron pruebas de CBR con diferentes contenidos de humedad, incluido OMC, y se realizaron análisis para investigar la variación de CBR con respecto a diferentes días de remojo, es decir, de no remojado (día 0) a empapado (día 5). Las variaciones también se hicieron con respecto al contenido de humedad en diferentes capas con diferentes posiciones (este, oeste, norte, sur, posiciones

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

centrales) también se observaron las variaciones del contenido de humedad con respecto a los diferentes días de remojo.

La prueba del Proctor estándar se realizó en suelo no tratado obteniendo los valores de MDD y OMC cuyos resultados fueron  $1.43 \text{ g/cm}^3$  y  $25.93\%$  respectivamente. El valor del CBR disminuye con el aumento en el índice de plasticidad y el contenido óptimo de humedad del suelo, pero aumenta con el valor de la densidad seca máxima. Estos resultados se pueden observar en la Figura 8 (Khillare, P. S., Damgir, R. M., & Hake, S. L., 2016).

Figura 8. Pruebas de CBR.



Fuente: P.S. Khillare et al., (2016).

Como conclusiones para los tipos de arena utilizados en la investigación se observó un notable aumento del valor del CBR con el aumento de Moorum mezclado para varios porcentajes en peso de la mezcla de arena y fibra. Este compuesto de arena-fibra mezclado con 25.0% de Moorum en peso de arena puede ser el mejor material de sub-rasante para vía de ferrocarril con un CBR superior al 20.0%, además se puede notar que el compuesto Moorum (25.0%) y arena mediana (75.0%) está bien dentro de las dos curvas envolventes dadas en la Figura 8 y por lo tanto es adecuado como material de sub-rasante.

Este artículo se tiene en cuenta ya que los ensayos descritos aplican para la escoria de acería de horno de arco, y se demuestra que con los ensayos correctos los materiales alternativos en la construcción de infraestructura vial pueden cumplir con los requerimientos de funcionalidad y resistencia.

Borole (2016), trata sobre el reemplazo de agregados en el concreto por escoria de acería. De este artículo destacamos el numeral 2.4., que trata sobre la escoria de acería (Steel Slag) de donde se observan dos (2) tablas que describen las propiedades físicas y propiedades químicas respectivamente del material utilizado, los Elaboración propia del estudio pertenecen al departamento de Ingeniería Civil del Matoshri College of Engineering & Research Center de la

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Ciudad de Nashik en la India. En la Tabla 22 y Tabla 23 se presentan los datos mencionados.

Tabla 22. *Propiedades físicas de la escoria.*

	DESIGNACIÓN	PROPIEDADES
1	Color	Café claro a café oscuro
2	Forma	Muy angular
3	Densidad	1911.11 Kg/m <sup>3</sup>
4	pH (en agua)	8
5	Combustibilidad	No combustible
6	Textura	Porosa
7	Gravedad específica	2.93

Fuente: Borole S.T., et al. (2016).

Tabla 23. *Propiedades químicas de la escoria.*

	CONTENIDO	COMPOSICIÓN (%)
1	Óxido de Calcio (CaO)	40 - 52
2	Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	10 - 19
3	Óxido de Hierro (FeO)	10 - 40
4	Óxido de Manganeso (MnO)	5 - 8
5	Óxido de Magnesio (MgO)	5 - 10
6	Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1 - 3
7	Óxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.5 - 1

Fuente: Borole S.T., et al. (2016).

En este estudio se concluye que la escoria de acería puede ser utilizada en el concreto, sin embargo, el interés en esta investigación está en conocer las propiedades físicas y químicas de la escoria.

Yalcin (2016) en su artículo titulado *Geotechnical and Environmental Impacts of Steel Slag in Highway Embankments* el cual trata sobre la implementación de la escoria de acería en el uso de terraplenes en las carreteras, la escoria de acería posee la desventaja de tener un alto potencial de expansión y alcalinidad lo que en consecuencia conduce al deterioro de la estabilidad estructural de carreteras, además que la alta alcalinidad, plantea un desafío ambiental al afectar el comportamiento de la lixiviación de metales. El objetivo de esta problemática es buscar una metodología que promueva el uso de escoria de acería en terraplenes de carreteras minimizando estas dos principales desventajas, para ello se realizaron pruebas de expansión aceleradas, pruebas secuenciales de lotes y pruebas de lixiviación en columna, así como dos análisis numéricos diferentes como son UMDsurf y WiscLEACH (ensayos de tipo ambiental), se llevaron a cabo para verificar la idoneidad ambiental de los métodos.

Para el estudio realizado se utilizó una escoria de acería de tipo Blast Oxygen Furnaces (BOF), se realizaron diferentes pruebas de hinchamiento aceleradas en donde se confirma que el contenido crítico de CaO debe ser del 4.5% con un

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

límite máximo de expansión lineal de 1.0%, el cual se estableció a base de pruebas de expansión. Además, también se recomienda colocar capas de arena encima y debajo de la capa de escoria de acería debido al hecho de que los huecos dentro de la capa de arena pueden tolerar la expansión de la escoria. Además, se muestra que la adición de un 10.0% de cenizas volantes Clase C en peso puede reducir la expansión de los valores de escoria BOF envejecidas y frescas a niveles insignificantes.

Las pruebas de expansión bajo una carga de 2.5 KPa fueron realizadas en dos tipos de escoria de acería. Se supuso la expansión del volumen debido a la presencia de cal libre.

La prueba realizada sobre la muestra consiste en someter está a un flujo de vapor desde una unidad de vapor a 100 °C durante 24 horas si el contenido de MgO es inferior al 5.0%. Para que un agregado de escoria pueda ser usado en una capa de asfalto la expansión máxima de la muestra de escoria de acería no debe ser más del 3.5% para mezclas bituminosas y 5.0% para mezclas sin unir, con un periodo de 24 horas de pruebas de vapor para escoria con MgO mayor del 5.0%. Un material que presenta una expansión volumétrica puede ser clasificado como un material adecuado si la expansión volumétrica medida está entre 11.0% y 16.0% el material se llama marginal y se recomienda realizar más pruebas.

Del informe se concluye, que un incremento en el contenido del pavimento en las mezclas de escoria de acería con pavimento produce una disminución en el pH y en la mayoría de las concentraciones de metales lixiviados, excepto en el aluminio, además el cambio de los niveles de pH después de pasar por los procesos de encapsulación y sub-rasante, depende de los pH naturales de los materiales. Esta conclusión se tendrá en cuenta en el anteproyecto que se desarrolla con el título “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN” (Asli, Y. D., 2016).

Leiva Vidal, Daniel et al (2017) en su informe de Caracterización de un Suelo Arcilloso y su Mezcla con Escoria Blanca Proveniente de la Siderurgia Integral informe presentado en el Simposio de Habilitación Profesional Departamento de Ingeniería Civil realizado los días 24 y 25 de 2017, de este informe se tendrá en cuenta la información general que aplique también para las escorias negras, ya que de acuerdo a los Elaboración propia consultados y a las características que han expuesto el material recibido de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá corresponde las escorias negras.

Este autor tiene como una de sus referencias la tesis de doctorado de Ortega, V. “Aprovechamiento de escoria blancas (LFS) y negras (EAFS) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas firmes de caminos rurales”. Tesis doctoral, Universidad de Burgos, España (Ortega López, V., 2011). Autora citada anteriormente. Con respecto a la caracterización química y mineralógica, se describen a continuación los ensayos, que se han mencionado en otros estudios consultados.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

### Fluorescencia de rayos X (XRF)

La fluorescencia de rayos X (XRF) tiene como finalidad determinar en un material el porcentaje de cada uno de los elementos que lo componen. La radiación de rayos X despierta electrones a las capas en el interior del átomo. Los electrones de las capas exteriores abarcan los lugares disponibles, el exceso energético resultante de este traslado se disipa en forma de fotones o radiación X fluorescente, con una longitud de onda característica, también denominada espectro XRF.

La radiación de rayos X expulsa electrones a las capas interiores del átomo. Los electrones de las capas más externas ocupan los lugares vacantes, el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones o radiación X fluorescente, con una longitud de onda característica, también denominada espectro XRF.

### Difracción de rayos X (XRD)

La difracción de rayos X (XRD) tiene como finalidad determinar la composición mineralógica presente en un material. Este método se basa en el análisis en las interferencias ópticas producidas en las ondas de rayos X con la colisión de los átomos presentes en la muestra, las cuales estimulan las vibraciones armoniosas de los electrones, consiguiendo que emitan una radiación secundaria con la frecuencia de la radiación inicial y que luego de un proceso químico, produzcan una superposición (interferencia) con la radiación de los átomos de la muestra (Ziegert, C., 2011).

### Termo gravimetría con análisis térmico diferencial (TG/DTA)

La termo gravimetría con análisis térmico diferencia (TG/DTA) ha sido efectuada con el fin de establecer la composición mineralógica de los materiales unitarios. Este ensayo está basado en la medida de variación de masa de una muestra en el momento en que se incrementa la temperatura a velocidad de calentamiento controlada. A partir del ensayo se obtienen las siguientes tres curvas (cada una de ellas en un eje de ordenada diferente) con respecto a la temperatura (abscisa):

- Porcentaje de masa con respecto a la inicial.
- Derivada de la disminución de masa.
- Diferencia de temperatura de la muestra ensayada con respecto a la muestra patrón. La disminución de masa de la muestra se produce a medida que aumenta la temperatura en el horno debido a deshidrataciones o descarbonataciones, oxidaciones o cambios de minerales, reacciones endotérmicas o exotérmicas. Analizando de las reacciones que se producen durante el ensayo, se pueden detectar y cuantificar la cantidad de ciertos minerales. El ensayo se realizó a la muestra de arcilla y a la escoria blanca de acería.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

La caracterización medioambiental, ha sido realizada mediante ensayo de lixiviación TCLP, para cumplir con los requerimientos de toxicidad según la normativa vigente. El tema de la lixiviación se trató en la tesis de Otegi Aldai, K., (2012).

### Lixiviación (TCLP)

El ensayo de lixiviación ha sido efectuado con el fin de determinar la concentración de ciertos metales que pueden ser lixiviados, este ensayo aplica a suelos expuestos y no expuestos, a residuos, sedimentos o desechos masivos y sólidos y/o líquidos, provenientes de operaciones mineras e industriales.

Este informe concluye que:

- La toxicidad potencial de las escorias por lixiviación debe ser considerado como obligatorio e indispensable frente al empleo de este material, para usos en el medioambiente. Por lo anterior se establecerá si la escoria obtenida de la planta de Gerdau Diaco, representa un riesgo para el medio ambiente.
- Las principales mejoras geotécnicas evidenciadas producto de la adición de escoria al suelo arcilloso son: disminución de la plasticidad, modificación las características de compactación (aumenta peso específico seco y disminuye humedad), aumento del valor CBR. Asimismo, se ha medido un aumento de la resistencia a la compresión simple de las mezclas a medida que aumenta su tiempo de curado. Según ensayos de hinchamiento libre y colapso las mezclas de suelo escoria no presentan variación volumétrica.
- Según los resultados derivados de la presente investigación la escoria LFS o de horno de cuchara, presenta indicios que podría ser utilizado de modo eficiente como Adiciones a un suelo arcilloso, en obras viales. Con la escoria de la planta de Gerdau Diaco se espera que dé buenos resultados, teniendo en cuenta que el suelo del tramo de prueba en Nemocón es un limo, y al no tener cohesión representa un problema para ejecutar cualquier tipo de obra.
- Es requerido un tratamiento previo en los materiales previo a la realización de las mezclas (secado, machacado), para garantizar mezclas homogéneas y resguardar sus propiedades.
- Se plantea el estudio periódico de la estabilidad volumétrica o dimensional, debido a que no pudo ser cuantificado en la investigación, y así se pueda garantizar la inexistencia de problemas de expansibilidad.
- Se recomienda línea de investigación, de los ensayos en condiciones de peso específico seco y humedades óptimos, asociados a cada suelo. Y la adición de mezclas con mayor porcentaje de escoria (sobre el 10%), para la evaluación de posibles aumentos en la capacidad portante.

Tao Cheng et al (2017), en su estudio titulado Mechanical Characterizations of Oxidizing Steel Slag Soil and Application, analiza la mezcla de suelos conformada por escoria de acería y arcilla en donde se busca obtener una mezcla óptima gracias a la prueba directa de corte la cual permite determinar el contenido

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

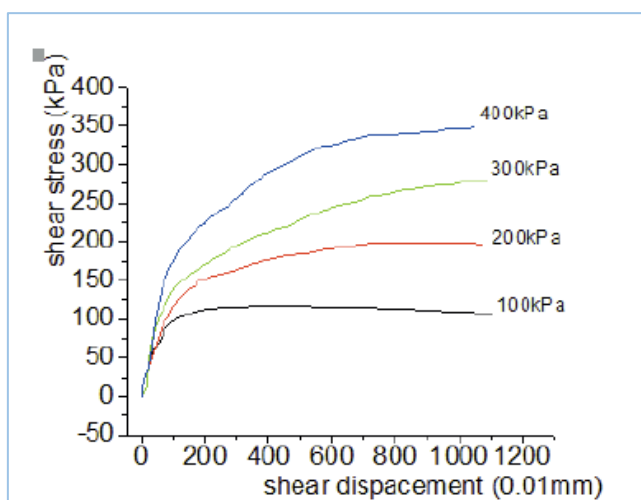
óptimo de humedad, además pruebas de compresión Triaxial las cuales sirven para poder determinar el ratio de escoria de acería óptimo y finalmente para poder probar las propiedades mecánicas de la mezcla de escoria de acería se prueban a través de una simulación numérica. Esta escoria de acería mezclada se utiliza para reemplazar el suelo original del terraplén y compararlo con el original, el estudio comparativo muestra que el método propuesto en el documento es un método simple y eficaz donde se pueda lograr una utilización óptima de la escoria resultante del horno de acero.

Para el desarrollo del estudio se utilizó como principal materia prima la escoria de acería la cual se encuentra en fase de oxidación, varios tratamientos se le aplican a esta escoria de acería entre los cuales se incluye la trituración y molienda además se controla estos tratamientos para obtener un tamaño menor de 5.0 mm. Se puede observar que la mayoría de la composición de la escoria de acería son  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  y  $CaO$  los cuales tienen un porcentaje de peso de 30.46%, 32.75% y 19.73% respectivamente. La mayoría de estos componentes son óxido.

Para poder encontrar la proporción óptima de mezcla de escoria de acería y arcilla, se mezclan y prueban varias muestras, el contenido de la mezcla ha cambiado de 11.6% a 19.1% para probar el efecto del agua.

Para estudiar las propiedades mecánicas de la mezcla se realiza la prueba de corte directo sobre la mezcla, cuatro casos de carga son aplicados con la prensa vertical establecida a 100.0 kPa, 200.0 kPa, 300.0 kPa y 400.0 kPa. La prueba de corte directa se le realizó por medio de un edómetro, con estos resultados se trazan unas curvas las cuales muestran la relación tensión-deformación para cada una de las muestras, una gráfica típica muestra que tiene una escoria de acería G20 en un porcentaje en peso de 14.0% con 15.6% de contenido de humedad, esto se muestra en la Figura 9, también se aprecia que aumenta la resistencia al corte de la muestra con el aumento de la presión vertical que está de acuerdo con las normas de cambio de resistencia al corte.

Figura 9. Curva de esfuerzo cortante-desplazamiento de corte (14% de contenido de humedad del Grupo G20 por 1 día de tiempo de curado).

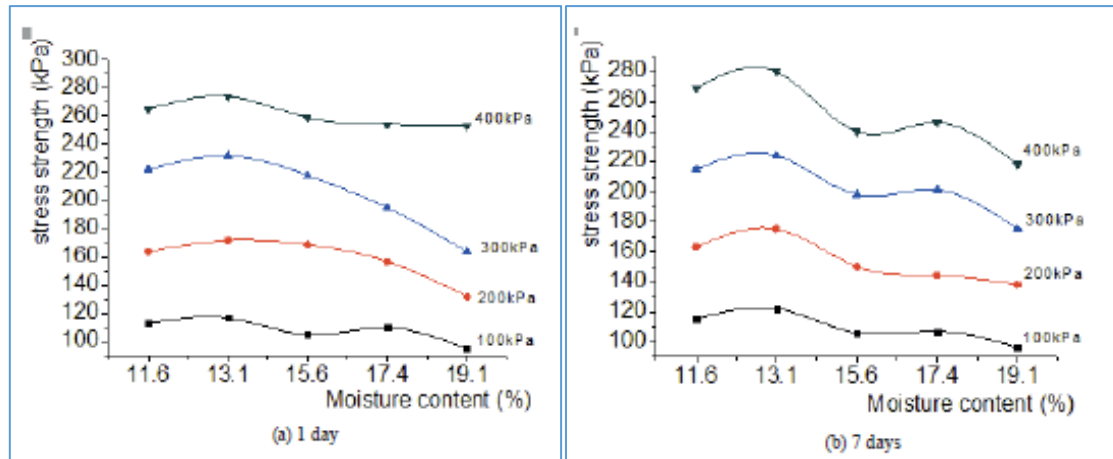


Fuente: Cheng, T., Hu, R., Zu, W., & Zang, Y. (2017).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Para encontrar la relación óptima de contenido de humedad para mezclar el suelo se utilizaron las curvas de resistencia al corte-contenido de humedad en diferentes grados de escorias de acería como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. *Contenido de humedad, curva de resistencia al corte.*

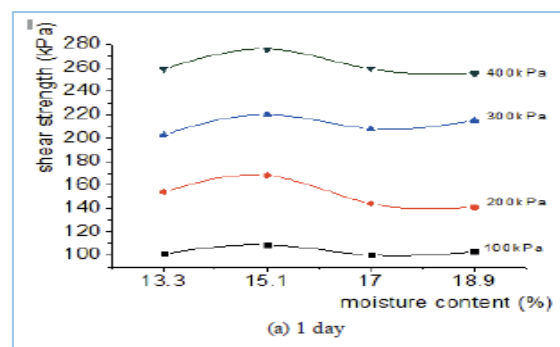


Fuente: Cheng, T., Hu, R., Zu, W., & Zang, Y. (2017).

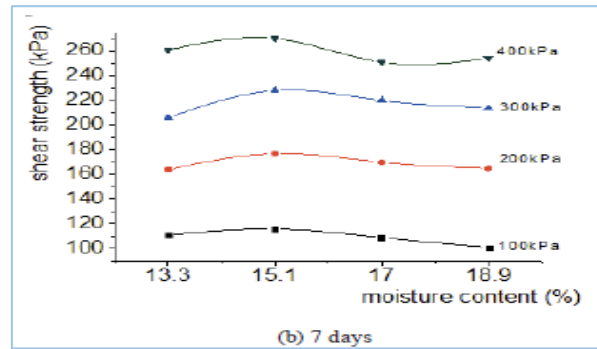
De la Figura 10 y la Figura 11, se puede concluir que:

- La resistencia al corte de la mezcla del suelo aumenta con el aumento de presión positiva inicial.
- Para todas las muestras de mezcla del suelo, las diferencias de un (1) día a la resistencia al corte y la resistencia al corte de 7 días son mínimas. Esta implica que el tiempo de curado tiene muy pocos efectos en la mezcla teniendo en cuenta la resistencia al corte del suelo.
- El contenido de humedad para lograr la deformación máxima, el esfuerzo está alrededor del 13.0% - 15.0%. Indica la mezcla óptima La proporción para el contenido de humedad debe estar dentro de este rango.

Figura 11. *Curva de resistencia al corte – contenido de humedad.*



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL



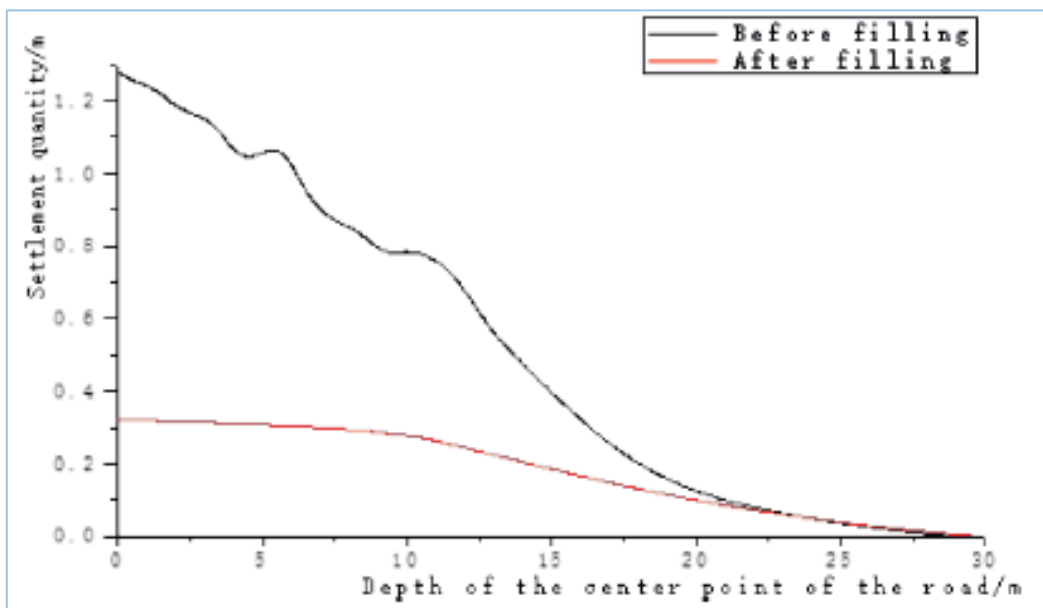
Fuente: Cheng, T., Hu, R., Zu, W., & Zang, Y. (2017).

Este caso se estudia con un modelo básico, que consiste en el uso de suelo mixto en el terraplén, para mostrar las ventajas de la escoria de acería. Teniendo en cuenta los resultados anteriores y las gráficas presentadas, se utilizó la mezcla óptima que se obtuvo.

El problema se analizó por medio del software ABAQUS para abordar el análisis numérico utilizando una profundidad de 30.0 m del suelo, una longitud horizontal de 100.0 m se utiliza el modelo, además de un cuadrilátero de cuatro nodos. El terraplén se trata como un modelo elástico y los cimientos del suelo se modelan como un modelo Coulomb de Mohr elástico detallado.

Los contornos de tensión son simulados, en esto se puede observar que la presión tiende a concentrarse en las interfaces entre las diferentes capas del suelo. Por un lado, la presión se concentra en una interfaz de capa de suelo más profunda para el caso teniendo el terraplén lo que indica que el terraplén tiene cierta resistencia para transportar la carga que no hará que el suelo quede directamente expuesto. Como se ve en la Figura 12, la liquidación de la base del suelo sin terraplén en la superficie del suelo es más de 1.0 m. Sin embargo, este asentamiento ha sido disminuido en un 69.9% en el caso de tener un suelo mixto de terraplén.

Figura 12. Asentamiento vertical a lo largo de la línea central del terraplén.



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

*Fuente:* Cheng, T., Hu, R., Zu, W., & Zang, Y. (2017).

Como se observó en la Figura 12, la fundación de la base del suelo sin terraplén en la superficie del suelo es más de 1.0 m. Sin embargo, esta relación ha disminuido en un 69.9% en el caso del suelo mezclado se halla utilizado para terraplén. Esto que se puede Adicionar la escoria de acero en un terraplén. Lo anterior es un punto positivo para el desarrollo del anteproyecto de la tesis de grado que se está presentando, con la adición de las escorias de Gerdau Diaco obtenidas de la planta del Municipio de Tuta – Boyacá.

Como conclusión se encontró que la relación óptima de contenido de humedad en la combinación del suelo debe ser del 14.0%, se estima el módulo elástico inicial E, el ángulo de fricción  $\Phi$  y la cohesión C del suelo. Para demostrar si la resistencia del suelo es la adecuada se realizó un estudio numérico para analizar el asentamiento de un terraplén el cual utiliza material mezclado en el suelo, se demostró que el uso del suelo mezclado puede ayudar a reducir el asentamiento del suelo sobre un 69.9%. Hay que tener en cuenta, que el suelo mezclado puede ayudar a mitigar las concentraciones de presión sobre el suelo.

En el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, no se tiene contemplado Adicionar material de agregado para estabilizar la subrasante, pero se tiene en cuenta esta conclusión.

Hussien Aldeeky et al (2017) en su artículo titulado Experimental Study on the Utilization of Fine Steel Slag on Stabilizing High Plastic Subgrade Soil, estudian la efectividad al agregarle escoria de acería al suelo fino de la sub-rasante para poder mejorar las propiedades geotécnicas de suelos con alto grado de plasticidad. La efectividad de la escoria de acería se analizó por la mejora en los límites de consistencia, compactación, expansión libre, resistencia a la compresión no confinada y el CBR (California Bearing Ratio. En Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=California\\_Bearing\\_Ratio&oldid=119155230](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=California_Bearing_Ratio&oldid=119155230)).

El agregado de escoria de acero ha sido utilizado con éxito en Oriente Medio en condiciones de clima cálido húmedos (Aiban, S. A., & Wahhab, H. A.-A., 1997). Sin embargo, no todas las clases de escoria son adecuadas para el procesamiento como agregados, varios de estos tienen altos porcentajes de cal libre y óxido de magnesio que no reaccionan con las estructuras de silicato y puede expandirse e hidratarse en ambientes húmedos (Aiban, S. A., & Wahhab, H. A.-A., 1997). En el laboratorio se simuló las condiciones de humedad para medir el comportamiento de las muestras del suelo estabilizado de tamaño de 50 mm x 100 mm. Las muestras se sumergieron en agua durante períodos de 4 días y 10 días después en períodos de 7 días, 14 días, 28 días, 56 días y 90 días de curado.

Para el desarrollo de esta práctica se obtuvo una muestra de suelo de la ciudad Irbid ubicada al norte de Jordania, se requiere para caracterizar la muestra de suelo y su gradación (tamizado, análisis de hidrómetro) según ASTM D422-2007, pruebas para comprobar los límites de Atterberg de acuerdo con la norma ASTM

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

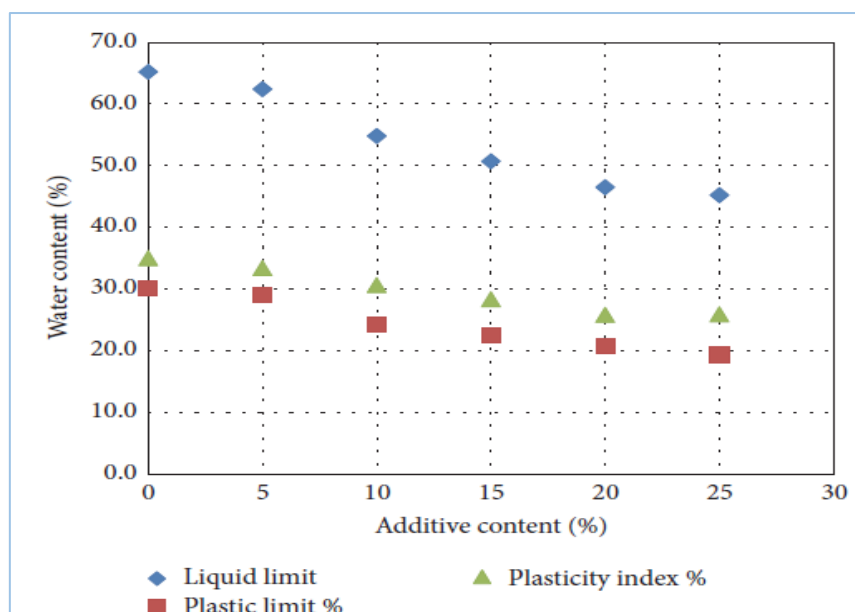
D 4318-10 y pruebas de gravedad específica de acuerdo a la norma ASTM D 854-14, se realizaron muestreos, preparación y pruebas de suelos según los métodos estándar de ASTM. Basándose en resultados de pruebas la muestra se clasificó como arcilla de alta plasticidad de conformidad con el sistema unificado de clasificación de suelos (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2007) (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2010) (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2014).

Las escorias de acería finas utilizadas tienen un diámetro de 4.75 mm. Las pruebas químicas que se les realizaron muestran que los agregados están libres de Cadmio y cobre, de conformidad con el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS) la escoria de acería se clasifica como SW (arena bien gradada).

Para la preparación de la muestra, se secó a 105°C en un horno de secado y luego se pasó por el tamiz número 4 para obtener una distribución uniforme. Se agregaron y mezclaron escorias finas de acería con una cantidad de 0.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0%, 20.0% y 25.0% en peso seco de la mezcla de suelo seco para obtener una mezcla homogénea.

Para los límites de Atterberg se pasaron cada mezcla por un aditivo del suelo a través del tamiz No. 40 y luego se realizaron pruebas de límite de líquido y límite de plástico en cada una de las muestras de 0.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0%, 20.0% y 25% del aditivo de escoria de acería. El límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad, donde en cada una de las muestras disminuyen a medida que la cantidad de escoria de acería aumenta. La disminución en el límite de líquido es mayor que la disminución en el límite de plástico, por esta razón el índice de plasticidad disminuyó a medida que el aditivo contenido aumentaba, este comportamiento se puede observar en la Figura 13 (Aldeeky, H., & Hattamleh, O. A., 2017).

Figura 13. Variación de los límites de Atterberg con el contenido de escoria de acería.



Fuente: Aldeeky, H., & Hattamleh, O. A., (2017).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

En la prueba CBR se le aplicó a la muestra unos 75 golpes por capa lo que dio como resultado un valor de 6.9% en donde se determina la máxima densidad seca.

Esta investigación se centra en el efecto de estabilizar el suelo de alta plasticidad con agregando de escoria de acería. Se puede concluir que:

- Límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad se reduce a medida que incrementa el contenido de agregado de escoria de acería. Por ejemplo, en 20% del contenido de agregado de escoria de acería, el suelo cambia de arcilla de alta plasticidad (CH) a arcilla de baja plasticidad (CL).
- A medida que aumenta el agregado de escoria de acería, la densidad seca máxima aumentó y el contenido de agua óptimo disminuyó.
- El porcentaje de expansión libre disminuye de 5.15% para 0.0% de contenido de agregado de escoria de acería a 2.15% para 20% de contenido de agregado de escoria de acería.

Esta disminución en el porcentaje de expansión libre hace el suelo más estabilizador desde el punto de vista de la ingeniería civil.

- El valor de CBR no sumergido aumenta de 6.9% para suelo con 0.0% de agregado de escoria de acería a 17.5% con 20.0% de contenido de agregado de escoria de acería. según Bowles (1992), el 20.0% del contenido de agregado de escoria de acería ha sido transformado de suelo de grano fino pobre a un buen suelo de subrasante.

Para la EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN, se espera un comportamiento similar ya que el suelo que se encuentra es arcilloso, esto se comprueban comparando los resultados alcanzados en esta tesis con los resultados de laboratorio para el desarrollo del anteproyecto ya mencionado.

Jianlong Guo et al (2018) en su estudio titulado Steel Slag in China: Treatment, Recycling, and Management, trata el tema del uso de la escoria en China cuya tasa de uso es de solo el 29.5% de más de 100 millones de toneladas que producen y hace un comparativo con los países industriales que utilizan más del 80.0% de escoria en varios procesos. En la Tabla 24 se hace un comparativo de las propiedades químicas de la escoria en algunos países, se resalta que no se menciona a Estados Unidos un país importante en la producción de acero (Guo, J., Bao, Y., & Wang, M., 2018).

Tabla 24. *Propiedades químicas de la escoria en diferentes países.*

PAÍS - AUTOR	COMPOSICIÓN QUÍMICA %							
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	S
Turquía (Alanyali et al., 2006)	38.62	19.28	2.71	8.05	7.52	-	22.61	0.28
Japón (Gao et al., 2015)	45.80	11.00	1.90	6.50	5.30	1.70	17.40	0.06

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

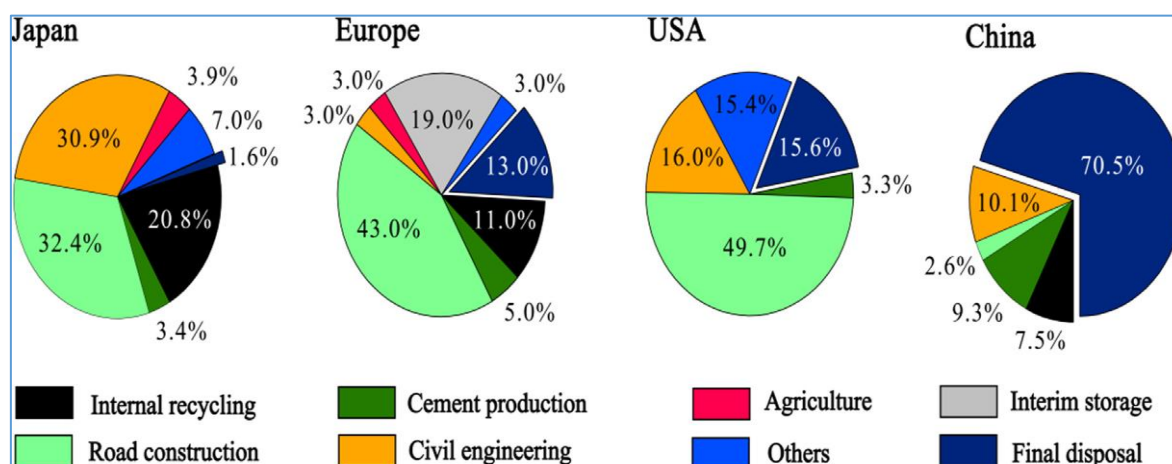
PAÍS - AUTOR	COMPOSICIÓN QUÍMICA %							
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	S
Brasil (Oliveira et al., 2004)	45.20	12.20	0.80	5.50	7.10	-	18.80	0.07
Suecia (Tossavainen et al., 2007)	45.00	11.10	1.90	9.60	3.10	0.23	23.90	-
Francia (Waligora et al., 2010)	47.71	13.25	3.04	6.37	2.64	1.47	24.36	-
China (Rao et al., 2014)	42.92	11.51	1.40	4.36	4.04	0.83	23.74	0.07

Fuente: Shen et al., (2003).

Con respecto al estudio de S.T Borole et al., se observa que las características físicas de la escoria de la India son similares a las presentadas en la Tabla 24, también se observa en la misma Tabla 24 que la escoria de Brasil tiene bajo porcentaje de dióxido de aluminio y no presenta porcentaje alguno de óxido de fósforo, por lo que se espera que la escoria que se obtuvo de Gerdau Diaco para la presente investigación tenga una composición similar (Borole, et al., 2016).

En la Figura 14 (World Steel Association, 2016) se presentan datos sobre el uso de la escoria, información suministrada por la Asociación Internacional de la Industria del Hierro y del Acero (World Steel Association 2016).

Figura 14. Utilización de escoria de acería en Japón, Europa, Estado Unidos y China.



Fuente: World Steel Association (2016).

De acuerdo con la Figura 14, China no hace un aprovechamiento de la escoria de acería en la ingeniería o proyectos viales como los otros países mencionados, en Colombia la situación es similar donde la escoria llega a una disposición final, ocasionando problemas ambientales, al leer este artículo se encuentran similitudes entre China y Colombia en el aprovechamiento de la escoria.

Las investigaciones han demostrado que la escoria de acería se puede utilizar como base para carreteras, autopistas y su utilización requiere de menores costos.

Se concluye que la baja utilización de la escoria en China es el resultado de muchos factores como son: tecnología y tratamientos obsoletos, problemas para financiar proyectos viales, la solución planteada es incentivar a las acerías dándoles apoyos financieros y fiscales, también la intervención del Ministerio del

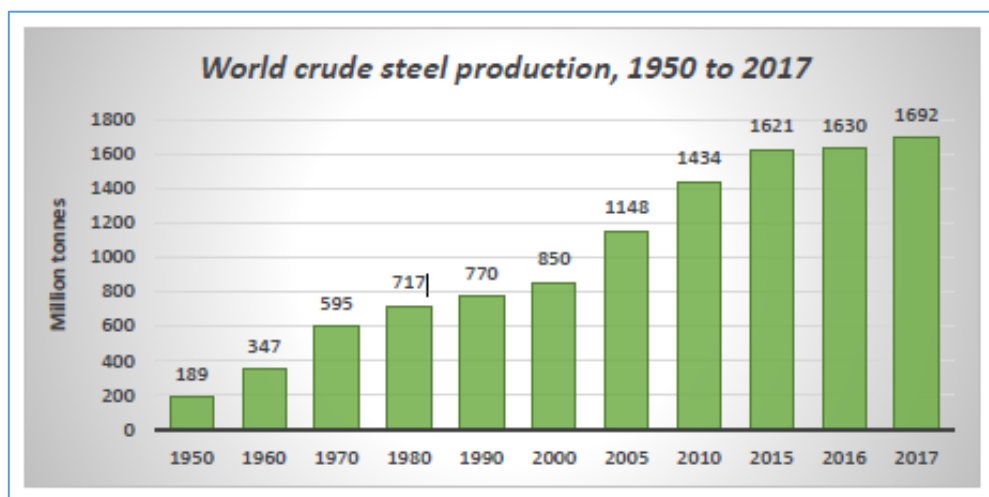
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Medio Ambiente es importante donde vigile y legisle sobre la calidad del aire, Colombia también se presentan problemas similares, con lo anterior no se está comparando de Colombia con China.

Landaberea (2018) en su trabajo de maestría revela las preocupaciones similares con respecto al planteamiento de la problemática del impacto ambiental producido por la industria siderúrgica, ya que el número o cantidad de residuos originarios de este proceso de fabricación y obtención de materiales es un número considerable. Los más numerosos son las llamadas “escorias siderúrgicas”. De este estudio se toma la información de los conceptos teóricos que está claramente explicada y no se ha encontrado en las publicaciones o estudios consultados.

Para conocer la magnitud en el aumento en la producción de acero se hace un breve recuento histórico, a inicios del XX la producción mundial de acero fue de unos 28 millones de toneladas, en el año 2001 la producción aumentó hasta los 851 millones de toneladas, en 2017 la producción mundial de acero bruto fue de 1692 millones de toneladas, siendo casi el 50% de esta cantidad fabricada en China (World Steel Association, 2017).

Figura 15. Progresión de la producción mundial de acero bruto desde 1950 hasta 2017.



Fuente: World Steel Association (2017).

Observando la Figura 15 (World Steel Association, 2017), desde el año 2000 hasta el año 2017 la producción de acero mundial se ha duplicado y por consiguiente se ha incrementado la producción de escorias. También se menciona el hecho que hay una descompensación en los procesos de reutilización y aprovechamiento de las escorias, que pasa de ser un material útil a ser un material de acopio en patios.

También en esta tesis de Ainhoa Landaberea, se mencionan el tipo de escorias provenientes de la fabricación del acero donde tomamos la siguiente definición

“las escorias siderúrgicas provienen de la mezcla de las cenizas del combustible usado como agente reductor con los elementos no metálicos de los minerales en las diferentes metalurgias y con la caliza o dolomía utilizadas como fundentes, que se mantienen sobre la superficie del líquido de las aleaciones férreas y que

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

se consiguen tras someterlas a enfriamiento y solidificación” (De la Fuente Alonso, J. A., 2015) (Calleja, J., 1982).

“Todas las escorias cumplen con una función metalúrgica similar, sin importar sus diversos orígenes metalúrgicos, como puede ser de la elaboración del acero, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, etc. La cual consistente en resguardar el caldo líquido de las diversas impurezas, pero tiene propiedades, composiciones y características físicas y químicas completamente distintas” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

“Normalmente las escorias siderúrgicas se clasifican en función de su origen. Las más usadas en el ámbito de la construcción son las que provenientes de la fabricación del acero y el hierro. Y el nombre que se le asigna a cada escoria normalmente proviene de la clase de horno que se usa para su fabricación”

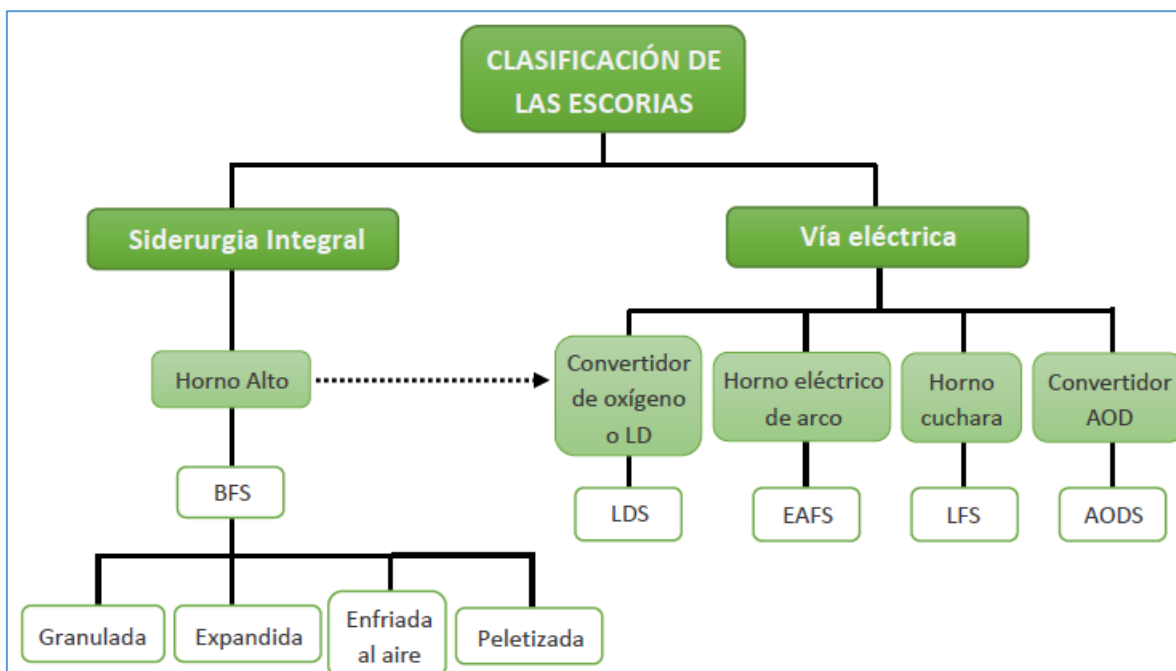
Se muestra la clasificación de las escorias que provienen de la fabricación del hierro y del acero. Estas escorias son las más utilizadas en el campo de la construcción. El nombre asignado a cada escoria proviene del tipo de horno utilizado a través del cual éstas se producen” (González Ortega, M. A., 2015) (Cañas G., J. (2012) (Lauber, M., 2009).

“Las escorias siderúrgicas generalmente se clasifican en función de su procedencia. En la figura 16 se muestra la clasificación de las escorias que provienen de la fabricación del hierro y del acero. Estas escorias son las más utilizadas en el campo de la construcción. El nombre asignado a cada escoria proviene del tipo de horno utilizado a través del cual éstas se producen” (González Ortega, M. A., 2015) (Cañas G., J. (2012) (Lauber, M., 2009).

La importancia de la Figura 16 (González Ortega, M. A., 2015) (Cañas G., J. (2012) (Lauber, M., 2009), está en la claridad que se tiene para determinar el tipo de escoria que produce la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta, Boyacá.

Figura 16. *Clasificación de las escorias siderúrgicas según su procedencia.*

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

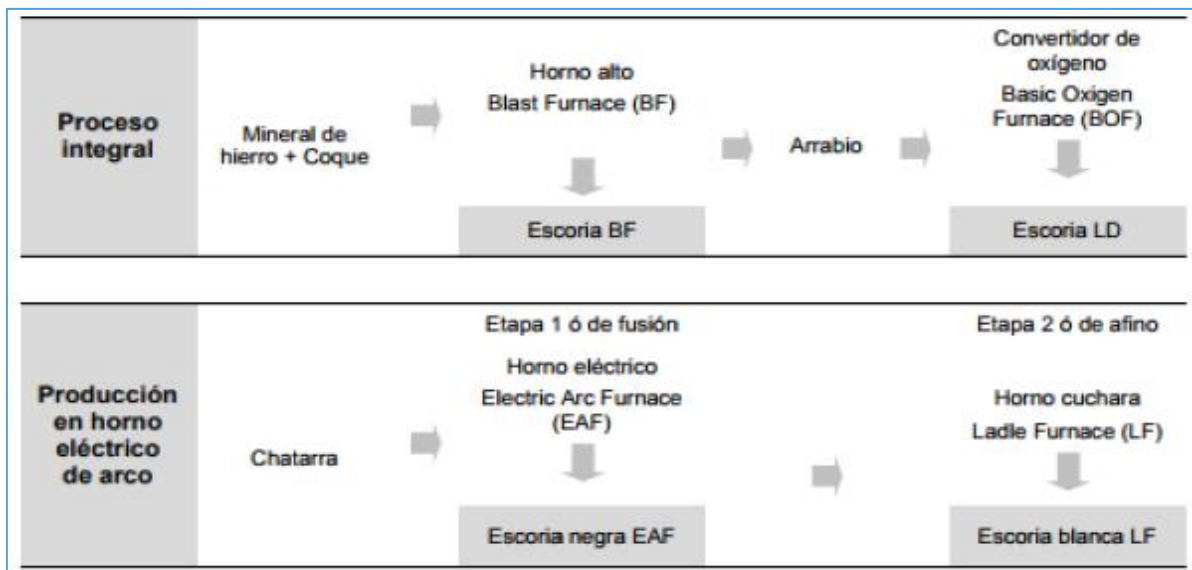
“Por medio de la ruta integral del horno alto se ejecuta la fabricación del hierro o arrabio, el cual se basa en introducir el mineral de hierro junto con el coque metalúrgico y los fundentes (habitualmente caliza) en el horno alto para conseguir el arrabio o fundición líquida que contiene escorias BF flotando en la superficie (Tabla 19). Estas escorias se catalogan en cuatro (4) tipos, dependiendo de la forma de enfriamiento usado: enfriadas al aire, expandidas, granuladas y peletizadas.

Las escorias granuladas se consiguen por enfriamiento brusco de la escoria líquida, dejándola caer sobre un chorro de agua fría, lo que da lugar a un grano de aspecto semejante a la arena que se seca y se muele para obtener cemento de escoria. Al añadir una pequeña cantidad de agua a la escoria fundida a fin de someterla a un enfriamiento rápido se pueden obtener las escorias expandidas, logrando un árido de baja densidad que se emplea como árido de mampostería de hormigones ligeros. Cuando se deja enfriar la escoria líquida gradualmente se obtiene un producto con propiedades similares a las rocas volcánicas que expone un color gris oscuro, con una textura rugosa y abundantes poros tanto internos como externos. Este material se emplea comúnmente como árido de construcción tras someterlo a trituración y cribado.

La escoria peletizada se obtiene al dejar caer la escoria en estado líquido sobre un tambor giratorio, regado con agua, que arroja la escoria al aire, formando una pila al caer al suelo. Este tipo de escoria BF es de baja porosidad y posee poca capacidad de absorción de agua” (González Ortega, M. A., 2015) (Cañas G., J. (2012) (Lauber, M., 2009) (Landa, P., 2017) (CEDEX, 2011) (National Slag Association [NSA], 2013).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 17. Proceso de fabricación del acero y de las escorias generadas.



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

“La fabricación del acero a través del horno eléctrico de arco se lleva a cabo en dos fases. En la primera, denominada metalurgia primaria o proceso de fusión, se funde la chatarra con los fundentes en el horno eléctrico (EAF - *Electric Arc Furnace*) obteniendo el metal fundido con escorias líquidas de tipo EAFS (*Electric Arc Furnace Slags* o escorias negras) en la superficie. En la segunda fase, llamada metalurgia secundaria o proceso de afino, el baño fundido se traslada al Horno Cuchara (LF - *Ladle Furnace*) donde se lleva a cabo la desulfuración, desgasificación y el ajuste de su composición. Cuando la escoria se forma en esta segunda fase, es conocida como escoria blanca (LFS – *Ladle Furnace Slag*)” (De la Fuente Alonso, J. A., 2015).

“Las propiedades químicas de los diferentes tipos de escoria de acería varían en función de la materia prima utilizada para la fabricación del acero y del proceso de producción de cada una.

Una característica común de estas escorias es que resultan de la fusión a base de cal y sílice, por lo que el óxido de calcio (CaO) y la sílice (SiO<sub>2</sub>) son sus componentes principales. Otros componentes incluyen alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido de magnesio (MgO). El contenido de hierro en la escoria BF suele ser inferior al 0,5% en peso, al ser éstas el resultado de un proceso de reducción. La escoria LD y la escoria EAF, en cambio, son generadas a través de un proceso de oxidación y, por tanto, tienen contenidos de hierro significativamente más altos” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

“Los diferentes tipos de escoria de acería varían sus características químicas en función de la materia prima utilizada para la fabricación del acero y del proceso productivo de cada una.

Estas escorias se caracterizan por que provienen de la fusión a base de cal y sílice, por lo que la sílice (SiO<sub>2</sub>) y el óxido de calcio (CaO) son sus componentes principales. También puede incluir elementos como óxido de magnesio (MgO).y

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Al ser el resultado de un proceso de reducción, el contenido de hierro en la escoria BF en peso propende a ser inferior al 0,5%. La escoria LD y la escoria EAF, por el contrario, son generadas por medio de un proceso de oxidación y, por tanto, tienen contenidos de hierro evidentemente más altos” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

Tabla 25. Rangos compositivos típicos de escorias de hierro (arrabio) y acero (EUROSLAG, 2017). (Lewis, 1982) (Yildirim & Prezzi, 2011)

Componente	BFS	LDS	EAFS	LFS
	(% en peso)	(% en peso)	(% en peso)	(% en peso)
CaO	32 - 45	30 - 60	22 - 60	30 - 60
SiO <sub>2</sub>	32 - 42	8 - 20	6 - 34	2 - 35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7 - 16	1 - 6	1 - 14	5 - 35
MgO	5 - 15	3 - 15	2 - 13	1 - 10
FeO	≤ 1	7 - 35	10 - 40	0 - 15
MnO	≤ 1	0.3 - 8	2 - 6	0 - 5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.2 - 3	1 - 2	0.1 - 0.4
Stotal	1 - 0	-	≤ 0.2	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤ 0.1	-	0.5 - 2	-

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

“Las composiciones químicas varían según el tipo de horno, las calidades de acero producidas, la composición de las cargas del horno y el método de funcionamiento de cada horno.

La composición mineral de la escoria BF consiste generalmente en melilita ( $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7 - \text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) y merwinita ( $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$ ). Las escorias tipo LD o EAF consisten principalmente en silicato dicálcico ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), ferrita dicálcica ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) y wuestita ( $\text{Fe}_{1-x-y}, \text{Mg}_x, \text{Mn}_y$ ) Oz.

Las condiciones de enfriamiento de las escorias procedentes de la fabricación del hierro y del acero pueden determinar la densidad, la estructura cristalina y la porosidad de la escoria. Por ejemplo, el enfriamiento lento produce escorias cristalinas. Por el contrario, si se expone a la escoria líquida a un enfriamiento rápido generará una escoria vítrea con propiedades hidráulicas latentes” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

Las características de las escorias de acero y hierro son similares o hasta superiores a las de los áridos naturales, tanto física, como químicas y mineralógicas (Tabla 26), es por ello por lo que generalmente sus campos de aplicación son similares. Estas escorias son de alta resistencia a la compresión, de alta densidad y presentan buena resistencia al pulido y al hielo/deshielo. Estas características hacen que sea ideal su uso en construcciones viales. Además, la forma cúbica y la textura de la superficie rugosa de la escoria proporcionan una excelente resistencia a la formación de surcos en la superficie del asfalto (EUROSLAG, 2017) (Lewis, 1982).

Tabla 26. Propiedades físicas de los áridos siderúrgicos vs áridos naturales (Sheen, Wang, & Sun, 2013) (Hernández, 2007).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Propiedad	Escoria BF	Escorias LD y EAF	Basalto	Arenisca	Granito
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.4	3.6	3.0	2.3	2.7
Resistencia a compresión (MPa)	100	200	> 250	200	> 160
Resistencia al impacto (%)	27	17	17	20	12
Coefficiente de Pulido Acelerado	50	57	45 - 56	56	45 - 58
Absorción de agua (%)	2	1	< 0.5	< 0.5	0.3-1.2
Resistencia al hielo-deshielo (%)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa 82018).

Las escorias que proceden del acero, en paralelo con las escorias de horno alto, son significativamente más pesadas, densas y duras, así mismo, también tienen una resistencia excepcionalmente alta al desgaste y al pulido (EUROSLAG, 2017) (Lewis, 1982).

### Escorias de acero de Horno Eléctrico de Arco (EAFS y LFS)

“Las escorias negras (EAFS) y blancas (LFS) de horno eléctrico de arco, o también llamadas escorias oxidantes y escorias reductoras, correspondientemente, son subproductos de la producción del acero cuya materia prima principal es la chatarra, como se presentan en la Fotografía 7.

Fotografía 7. Escorias de horno eléctrico de arco: EAFS (izq.) y LFS (der.) (CEDEX, 2011) (EUROSLAG, 2017).



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 8. Muestra de la escoria obtenida de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta – Boyacá.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos afirmar que la escoria que se ha obtenido de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta, es una escoria de horno eléctrico de arco y negra, de la misma manera que se muestra en la Fotografía 8.

En España método más usado para la elaboración del acero es la ruta de horno eléctrico de arco (HEA, en inglés EAF). Las etapas necesarias para la fabricación de acero mediante este procedimiento son la fusión de la materia prima a través de una corriente eléctrica y el afino subsiguiente del baño fundido” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

El HEA habitualmente es cilíndrico y se encuentra cubierto por material refractario. Cuanta con una bóveda móvil ubicada en la parte superior del horno, por donde se introducen las diversas materias primas con apoyo de una compuerta utilizada durante la fusión y el desescoriado, una cesta, y una piqueta situada en el fondo o a un costado del horno que se usa para colar el acero (IHOBE, S.A., 1999).

La planta de Gerdau Diaco, ubicada en el Municipio de Tuta – Boyacá, también utiliza horno eléctrico de arco en su método de producción.

“La chatarra de hierro dulce o acero es la principal materia prima utilizada para la elaboración de acero en horno eléctrico de arco. También se emplean elementos auxiliares como pequeñas cantidades de fundición, mineral de hierro y ferroaleaciones. Varios utilizan prerreducidos (hierro de reducción directa o esponja de hierro), y cada vez en mayor proporción (30% - 70%), ya que favorecen la dilución de contaminantes que se encuentran en la chatarra dado que es prácticamente hierro puro.

En ciertas ocasiones el HEA se carga con fundición o arrabio líquido en proporción máxima de 40.0% del total de la carga, obviando el deterioro de los refractarios, por deterioro al soplar de manera prolongada oxígeno para eliminar el carbono de la masa metálica (Landaberea Lorenzo, A., 2018)”.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Conjuntamente, se agregan elementos formadores de escoria, que protegen el revestimiento refractario del horno y en su mayoría son fabricados por alúmina, cal, magnesia y sílice (IHOBE, S.A., 1999) (CEDEX, 2011).

“Se añaden fundentes junto con la materia prima, para que ayuden a disminuir el punto de fusión de la ganga y las impurezas, de tal manera que aquellas se funden y se recogen en la escoria, mejorando así la calidad del arrabio y, de la misma manera, del acero final.

La ruta del HEA se divide en dos grandes fases: la fusión de la chatarra y el afino del acero líquido en la metalurgia secundaria. La etapa de fusión, en la cual se incluye una serie de fases como la oxidación, dirigida a eliminar las impurezas de fósforo, silicio, y manganeso, la defosforación y la formación de escoria espumante (protectora también del arco eléctrico) en la cual se acumulan la totalidad de las impurezas. La etapa de afino incluye la desoxidación, que permite eliminar los óxidos metálicos del baño, la desulfuración y la descarbonización del acero.

A continuación, se describe la secuencia detallada de operaciones llevadas a cabo durante el proceso del HEA, Adicionalmente se apoya la información con la Figura 18, Figura 19, Figura 20 y Figura 21:

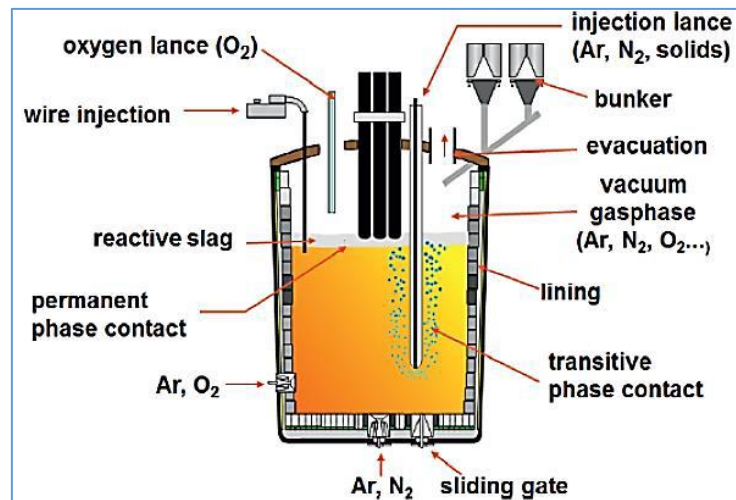
El proceso inicia con la carga de la chatarra y los fundentes en la bóveda del horno. Después la carga se cierra la bóveda, se bajan los electrodos de grafito hasta entrar en contacto con la materia prima y se conecta el suministro de energía eléctrica, de manera que se establece un arco eléctrico (habitualmente en alterna) entre los 3 electrodos y la carga sólida, proceso por el cual se funde la chatarra.

La etapa de fusión se concluye con la fase de oxidación y defosforación, mediante el soplado del caldo líquido por medio de la lanza de oxígeno, que permite eliminar los elementos indeseables de la chatarra por oxidación de los mismos. El fundente se va combinando con las impurezas de la carga, rebajando el punto de fusión y promoviendo la formación de un material no metálico denominado escoria negra u oxidante (EAFS).

Como resultado de este proceso eléctrico del acero, aguas abajo, se obtiene acero líquido, que debe ser afinado en la metalurgia secundaria (Horno Cuchara, *Ladle Furnace*), donde se generan las escorias blancas o reductoras (LFS). Para ello, se procede a retirar la escoria negra (desescoriado) y se vierte el metal líquido en el Horno Cuchara; proceso por el cual el acero líquido se cubre inmediatamente con una escoria reductora” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

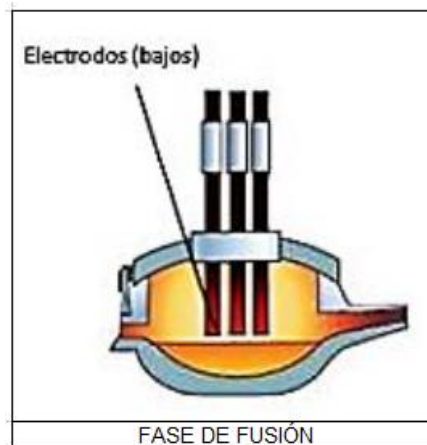
Figura 18. Esquema de un Horno Cuchara (Landa, P., 2017).



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa.

“La eliminación del exceso de oxígeno y azufre por medio de la adición de carburo cálcico, cal y ferroaleaciones denomina refino. Una vez finaliza esta etapa, se pueden evidenciar dos materiales distintos debido a la diferencia de densidades y su inmiscibilidad: el acero líquido con la composición deseada y la capa sobrenadante de escoria blanca. Antes de colar el líquido fundido se vuelve a desescoriar, eliminando la escoria blanca” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

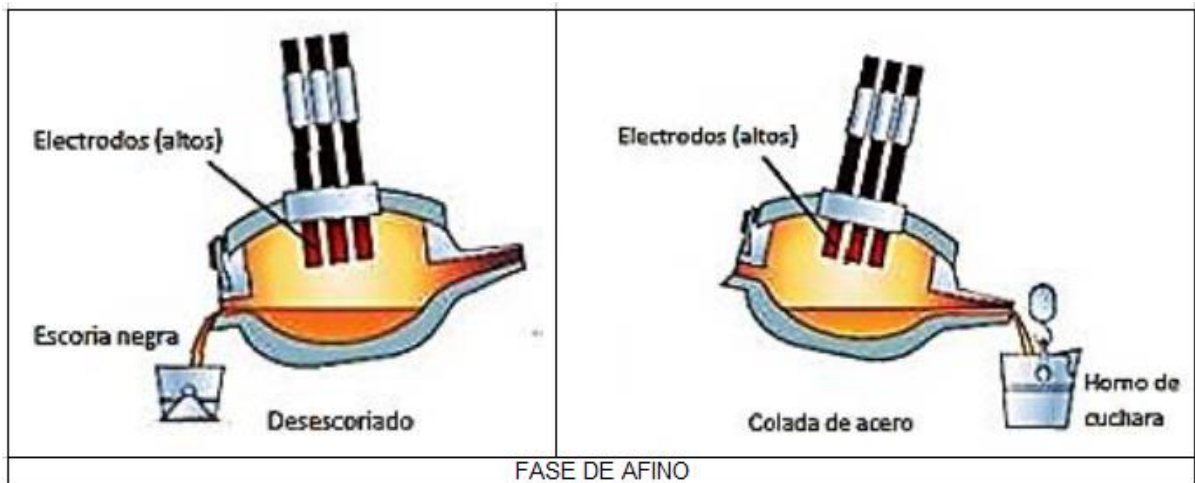
Figura 19. Proceso de fabricación del HEA (Cañas G., J., 2012).



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 20. *Proceso de fabricación del HEA (Cañas G., J., 2012).*

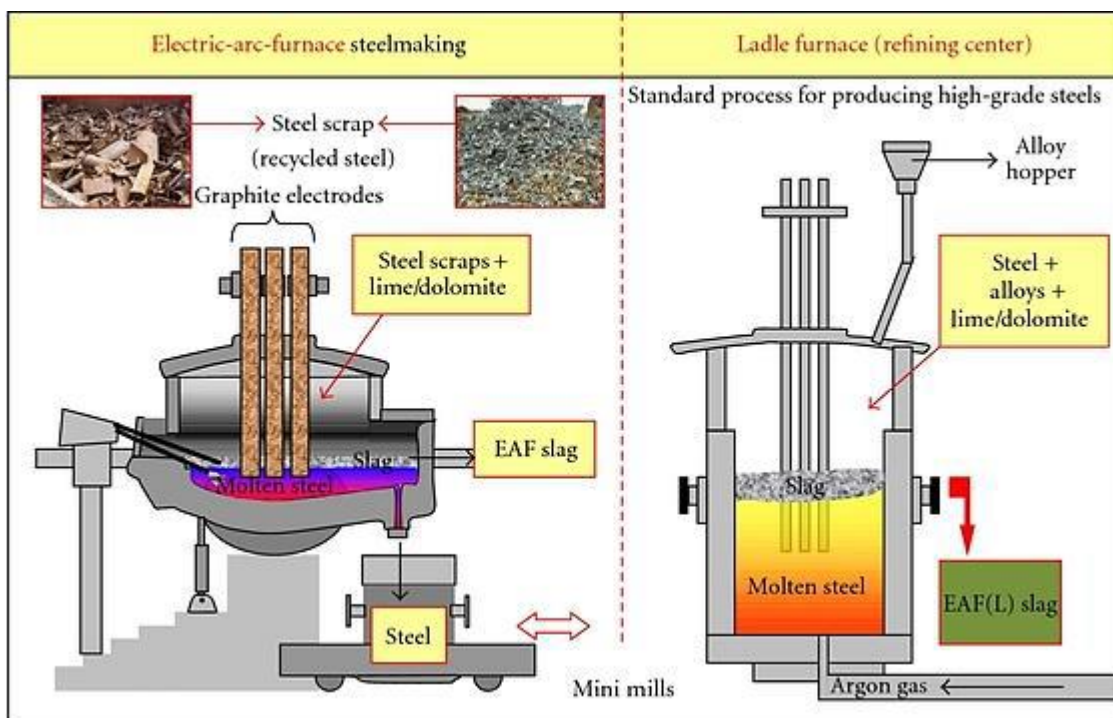


*Fuente:* Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Las escorias emergen del horno con una temperatura alrededor de 1500°C a 1600°C. Posterior a esto, son acopladas en un silo hasta que son enfriadas a unos 200°C y se acopian al aire libre para continuar su enfriamiento. Después, se procede a la recuperación de las escorias, las cuales se someten a diferentes tratamientos para lograr áridos siderúrgicos estabilizados. Los tratamientos más frecuentes para escorias negras son: el granulado de la escoria mediante machaqueo, de misma manera que su triturado y molienda hasta alcanzar un tamaño adecuado a su uso, la eliminación de elementos metálicos existentes en las escorias mediante electroimanes (desferretización), el cribado del material granulado por fracciones granulométricas y almacenamiento posterior a la intemperie con humectación y volteo periódicos hasta garantizar valores de expansividad nulos (estabilización) (Manso, González, & Polanco, 2004) (Arribas García, 2011).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 21. Representación esquemática del proceso de fabricación del acero en Horno Eléctrico de Arco y posterior refino en Horno Cuchara (Yildirim & Prezzi, 2011).



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

La producción de acero vía HEA implica que por cada tonelada de acero generado se fabrica alrededor de 120 a 180 kg de escoria negra y de 20 a 30 kg de escoria blanca (González Ortega, 2015) (Cañas G., J., 2012) (Lauber, M., 2009) (De la Fuente Alonso, J. A., 2015) (Oliver, S., 2012). De acuerdo con lo anterior se puede establecer la producción aproximada de escoria de acero en la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá. “Del tipo de chatarra usada depende principalmente la composición de las escorias, así como del control de las variables de operación. Las **escorias negras** están compuestas principalmente de calcio, hierro y silicio. En la Tabla 27 se agrupan los porcentajes relativos a la composición química de las EAFS provenientes del estudio de diversos Elaboración propia” (Landaberea Lorenzo, A., 2018).

La Tabla 27 y Tabla 28, fueron elaboradas teniendo en cuenta la información que el autor de este estudio consultó para su trabajo de tesis Estado del Conocimiento sobre la Viabilidad del uso de Escorias de Acería Eléctrica en Hormigones Compactados a Rodillo, y se relacionan en el pie de página (Cañas G., J., 2012) (De la Fuente Alonso, J. A., 2015) (CEDEX, 2011) (Manso, J. M., González, J. J., & Polanco, J. A., 2004) (Tossavainen, M., 2007) (Tsakiridis, P. E., et al., 2008).

Tabla 27. Composición química de las EAFS.

CaO (% en peso)	CaOlibre (% en peso)	SiO <sub>2</sub> (% en peso)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% en peso)	MgO (% en peso)	MgOlibre (% en peso)	Fetotal (% en peso)	Mntotal (% en peso)
25 - 35	0 - 4	8 - 18	3 - 10	2 - 9	-	20 - 30	2 - 8
22 - 60	0 - 4	8 - 37	2 - 8	4 - 12	-	38	1 - 4

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

CaO (% en peso)	CaOlibre (% en peso)	SiO <sub>2</sub> (% en peso)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% en peso)	MgO (% en peso)	MgOlibre (% en peso)	Fetotal (% en peso)	Mntotal (% en peso)
23.9	0.5	15.3	7.4	5.1	-	42.5	-
38.8	-	14.1	6.7	3.9	-	-	-
35.7	-	17.5	6.3	6.5	-	-	-
(-) información no disponible							

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Un porcentaje aproximado del 20.0% - 42.5% de hierro lo poseen las EAFS, lo cual les otorga alta densidad, cierto nivel de resistencia al desgaste, al igual que a la abrasión. Los contenidos de CaO y MgO libres (cuando el porcentaje de MgO es mayor del 2.0% aparece como la especie cristalina *periclasa*) pueden llegar a fenómenos de expansión a corto y a largo plazo, correspondientemente.

En la constitución mineralógica de las escorias negras prevalecen los óxidos y los silicatos, como lo son el silicato bicálcico, silicato tricálcico, wüstita, ferrita bicálcica, cal libre y la fase magnética (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Tabla 28. Composición mineralógica de las EAFS.

Fase mineral	% en peso	Principales componentes, % molar
Silicato bicálcico	30 - 60	CaO (64), SiO <sub>2</sub> (32), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (1 - 3)
Silicato tricálcico	0 - 30	CaO (70 - 73), SiO <sub>2</sub> (23 - 25)
Cal libre	0 - 10	CaO (75 - 90), Mn (25 - 30), CaO (10 - 20), SiO <sub>2</sub> (0 - 10)
Ferrita bicálcica	5 - 20	CaO (60 - 65), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (15 - 45)
Wüstita	10 - 40	FeO (45 - 55), MnO (10 - 20), CaO (10 - 30), MgO (5 - 20)
Fase magnética	0 - 20	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (50 - 80), Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10 - 40)

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Ya sea por su formación a elevadas temperaturas o por la descomposición parcial del silicato tricálcico en silicato bicálcico y CaOlibre (cal libre) durante su enfriamiento, la escoria negra posee una alta presencia de silicato bicálcico (30.0% - 60.0%). Esta cal libre producida de esta manera, al estar distribuido uniformemente en la matriz compacta de la escoria no tiene riesgo de expandirse. Sin embargo, la cal que no está completamente disuelta en la matriz puede tener riesgo de expandirse. La wüstita, segundo componente más abundante en las EAFS, presenta una leve reactividad en la hidratación del MgO en fase cristalina.

El característico color de la escoria negra se debe en su mayoría a la presencia de óxido de hierro. Entre ellos, la fase magnética proviene del enfriamiento del Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> producido en estado líquido a 1600°C, que se asocia con el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> al descender la temperatura formando una fase sólida única con compuestos químicos (De la Fuente Alonso, J. A., 2015) (Arribas García, 2011).

Las **escorias blancas** están compuestas en menos proporción de aluminio y silicio y esencialmente de calcio. Mientras que la cantidad de hierro de estas escorias es bajo. En la Tabla 29 se contemplan los porcentajes relativos a la composición química de las LFS provenientes del estudio de diversos autores.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 29. Composición química de las LFS (Cañas G., J., 2012) (CEDEX, 2011) (Herrero Vázquez, T., 2015).

CaO (% en peso)	CaOlibre (% en peso)	SiO <sub>2</sub> (% en peso)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% en peso)	MgO (% en peso)	MgOlibre (% en peso)	Fetotal (% en peso)	Mntotal (% en peso)
30 - 52	1 - 10	8 - 23	3 - 20	6 - 12	-	0.5 - 2	0.5 - 3
45.3 - 62.1	-	17.4 - 19.3	3.2 - 10.4	4.5 - 17.2	-	1.1 - 3.6	0 - 1.2
56.7	12	17.7	6.67	9.73	8	-	-
54	5	14.3	10.3	16.5	14	-	-
(-) información no disponible							

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Normalmente, los óxidos de magnesio y calcio componen más del 60.0% de la escoria LF en peso, siendo el elemento principal el óxido de calcio. Estos elementos pueden llevar a fenómenos de expansión, si éstas se hidratan. El aluminio, los óxidos de silicio y óxidos férricos simbolizan menos del 40.0% del total del peso. Otros elementos, incluidos los óxidos de manganeso y titanio, están presentes en cantidades inferiores (Cañas G., J., 2012) (CEDEX, 2011).

En la composición mineralógica de las escorias blancas, de mismo modo que en las negras, predominan los óxidos y los silicatos. La Tabla 30 exhibe algunas de las fases minerales que se presenta en ellas, con los componentes más importantes para cada caso.

La fase mineral mayoritaria de las LFS, al igual que las EAFS, es el silicato bicálcico. Por otro lado, la presencia de espinela tiene como principal inconveniente la presencia de MgO, que puede presentar expansión a largo plazo.

Tabla 30. Composición mineralógica de las LFS.

Fase mineral	% en peso	Principales componentes, % molar
Silicato bicálcico	30 - 60	CaO (64), SiO <sub>2</sub> (32), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (1 - 3)
Silicato tricálcico	0 - 30	CaO (70 - 73), SiO <sub>2</sub> (23 - 25)
Cal libre	0 - 10	CaO (75 - 90), Mn (25 - 30), CaO (10 - 20), SiO <sub>2</sub> (0 - 10)
Espinela	10 - 30	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50 - 55), MgO (25 - 30), CaO (10 - 20), SiO <sub>2</sub> (0 - 10)

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Los anteriores valores de composición son orientativos y pueden variar sutilmente según el origen del estudio o incluso aparecer otros elementos químicos no expuestos en las tablas.

La escoria negra puede presentar distintas tonalidades de gris, desde grises claros hasta grises muy oscuros, alcanzando tonalidades de negro. También, es de aspecto poroso, morfología irregular, cúbica y de fractura puntiaguda.

Este tipo de escoria es caracterizada por su heterogeneidad, igualmente de forma superficial como de composición y textura. Como se puede apreciar en la Fotografía 9, la forma y tamaño de las distintas partículas varían. De esta manera, existen ciertos granos con superficie lisa y cantos angulosos, otros con superficie altamente rugosa y algunos con una superficie completamente

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

irregular. Incluso pueden encontrarse partículas que poseen pequeñas oclusiones superficiales que aparentan ser burbujas de aire.

Adicionalmente, las escorias negras poseen baja cantidad de finos (González Ortega, 2015) (De la Fuente Alonso, J. A., 2015) (Arribas García, 2011) (Herrero Vázquez, T., 2015).

Fotografía 9. Escorias de HEA: EAFS (izquierda.) y LFS (derecha.) (Cañas G., J., 2012) (Hernández, J., 2007).



Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Fotografía 10. Muestra de la escoria obtenida de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta – Boyacá.



Fuente: Elaboración propia.

Las escorias negras tienen propiedades físico-mecánicas muy específicas que las vuelven interesantes para su empleo en ingeniería civil y otras aplicaciones constructivas (Tabla 31).

Con la Fotografía 10, se ratifica la que la escoria producida de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá es, es una escoria negra de horno eléctrico de arco, ya las propiedades físicas y químicas se determinan conforme a los laboratorios y ensayos que se describen más adelante en el capítulo de la Metodología.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

La **escoria blanca** es de color blanco transparente, llegando a tonos grisáceos, harinosa, polvorosa, suave al tacto y se deshace al tocarla. Esta es la razón por la cual las propiedades mecánicas de las escorias negras son superiores a las de las escorias blancas.

Al originarse en el proceso de afino, posterior al de fusión, puede tener impurezas de escoria negra que se hayan agregado con el vertido del caldo de acero del HEA al horno cuchara.

Las escorias blancas ostentan una gran cantidad de finos, lo que obstaculiza su manipulación y las hace inconvenientes para su uso como árido. No obstante, la proporción de finos las confiere de propiedades cementicias excelentes.

En la Tabla 31 se muestran las propiedades físico-mecánicas de las escorias blancas y negras. En esta se observa que las escorias negras disponen de una alta resistencia frente al desgaste y la abrasión, son rígidas, y poseen una alta densidad, lo que las convierte en un árido interesante para obtener hormigones pesados.

Por otra parte, la amplia capacidad de absorción de agua de las escorias puede afectar de forma negativa la durabilidad de este árido, en el caso de estar expuesto a períodos de hielo-deshielo o humedad-sequedad, incrementando su volumen (Cañas G., J., 2012) (Hernández, J., 2007).

Tabla 31. *Propiedades físico-mecánicas de las EAFS y LFS.*

Propiedad	Escoria negra (EAFS)	Escoria blanca (LFS)
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	3.5	2.7
Densidad total (g/cm <sup>3</sup> )	1.8	1.4
Resistencia a compresión (MPa)	>130	-
Resistencia al impacto (% en peso)	18	-
Coefficiente de Pulido Acelerado	54 - 57	-
Desgaste de los Ángeles (%)	12 - 25	-
Absorción de agua (% en peso)	0.3 - 6	-
Resistencia al hielo-deshielo (% en peso)	<0.3	-
Incremento de volumen (% vol.)	1 - 5	5 - 25
(-) Información no disponible		

Fuente: Landaberea Lorenzo, Ainhoa (2018).

Tanto la escoria negra como la blanca pueden llegar a expandirse en presencia de compuestos como óxidos de cal y magnesio libre en su estructura, que experimentan un aumento de volumen significativo en contacto con el agua. La cal libre se hidrata rápidamente y puede ocasionar grandes cambios volumétricos en poco tiempo (hidratación a corto plazo), mientras que la hidratación de la magnesia libre se produce más lentamente (hidratación a largo plazo).

Comparando la Tabla 27 con la Tabla 30, se puede evidenciar que las escorias negras tienen menos riesgo de producir variación en su volumen que las blancas,

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

esto gracias a que tienen menos cantidad de cal libre en su constitución. Nuevas investigaciones indican que los elementos expansivos se hallan en menor proporción en las escorias negras, y ratifican que las EAFS utilizadas como áridos en hormigones se mantienen estables (González Ortega, 2015) (De la Fuente Alonso, J. A., 2015) (CEDEX, 2011) (Arribas García, 2011) (Herrero Vázquez, T., 2015).

Las escorias de acería eléctrica sin la intervención de ningún tratamiento físico-mecánico, o bien después de sufrir procesos como cribado, envejecimiento, estabilización, homogeneización, machaqueo, separación magnética, etc., se convierten en un material estable y granulado que empieza a conocerse como *árido siderúrgico*, y su aplicación depende de sus características y propiedades, tanto químicas como físicas, así como su estabilidad volumétrica.

### Aplicaciones de las EAFS

Las escorias negras valorizadas se utilizan como agregado en la elaboración de cemento, también como áridos en firmes de carretera, como áridos en la fabricación de morteros y hormigones siderúrgicos, así como en la consolidación de suelos, vías férreas y capas de rodadura.

Uno de los mayores usos de las EAFS es en los áridos de capas granulares en coronación de explanadas, bases y subbases de carreteras. De igual forma, gracias a su excelente coeficiente de pulimiento acelerado y resistencia a la abrasión, lo hace especialmente utilizable en áridos en mezclas bituminosas, y sobre todo en capas de rodaduras A pesar de esto, las escorias negras pueden resultar incómodas de extender y compactar debido a su angulosidad, porosidad y su baja cantidad de finos, por lo que tiende a combinarse con áridos naturales, generalmente de origen calizo, para alcanzar una dosificación de áridos adecuada y mejorar esos aspectos. Asimismo, su inherente riesgo de expansión y de hinchamiento, exige evaluar su potencial expansivo y garantizar su estabilidad volumétrica (González Ortega, 2015) (Cañas G., J., 2012) (Arribas García, 2011).

Las EAFS se utilizan también en el proceso de fabricación del Clinker como aporte de silicio, cal y hierro. Cuando se prepara el cemento con escoria este posee una mayor resistencia al desgaste con el tiempo, también requiere una menor proporción de agua, lo que lo hace maleable y más sencillo de trabajar que el cemento tradicional. No obstante, no tienen mucha resistencia y requieren de un mayor tiempo de fraguado. Dado que lo antes mencionado no origina inconvenientes en cuanto a la calidad técnica del cemento y la legislación española al no imponer restricción alguna para dichos elementos, esta aplicación no presenta ninguna limitación desde el punto de vista técnico y medioambiental. Con el propósito de obtener un producto final de propiedades similares al obtenido mediante materias primas convencionales, el contenido de escorias debe ser del 15.0% - 30.0% para lograr cementos de categoría resistente 42.5% y del 45.0% para lograr cementos de categoría resistente 32.5. Elaboración propia confirman que es necesario el tratamiento de envejecimiento de la escoria (exposición a la intemperie y/o riego de agua) para que pueda utilizarse como

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

adición en el cemento (González Ortega, 2015) (Cañas G., J., 2012) (Sheen, Y., Wang, H., & Sun, T., 2013).

Las escorias negras se utilizan también como árido grueso y fino, para la producción de morteros y hormigones. Las escorias negras deben atravesar un tratamiento de triturado y tamizaje para obtener una granulometría similar a la de los áridos naturales, posterior a esto se debe realizar una separación de metales, estabilización y envejecimiento para evitar su expansión antes de usarla para cualquier preparado. Las EAFS exhiben un bajo contenido de finos, por lo cual es necesario añadir áridos finos cuando se utilicen para la fabricación de hormigones, generalmente se añade caliza, que cierran el esqueleto mineral de los hormigones (Lauber, M., 2009).

También se utilizan en escolleras, en compañía de rocas de mayor tamaño que las escorias negras, o como escollera fina de relleno en obras fluviales. La diversidad de las EAFS implica un control muy riguroso de su comportamiento dimensional, es por esto por lo que se destina su uso a fines definidos y concretos. González Ortega, 2015) (Cañas G., J., 2012) (Sheen, Y., Wang, H., & Sun, T., 2013).

### Aplicaciones de las LFS.

Actualmente existen distintos campos en los que las escorias blancas son aplicadas. Entre los usos más comunes en este momento se encuentran: como material fino en mezclas bituminosas o hidráulicas, la estabilización de suelos y firmes, la fabricación de Clinker gracias a su bajo contenido de hierro, la suplantación de áridos o cemento en hormigones, morteros, por las propiedades aglomeración hidráulica que presentan, además de aportar resistencia a la penetración de cloruros en estos, entre otros, además de su uso como lecho de impermeabilización en obras fluviales o hidráulicas.

La similitud entre los óxidos presentes en las LFS y el clinker del cemento Portland, así como su aspecto pulverulento que no precisa de molienda posterior, lo cual permite a las escorias blancas ser aptas para la fabricación de nuevos conglomerantes. La mayor cantidad de escorias que está permitido utilizar para esta aplicación es alrededor del 5.0% del volumen total del clinker, con el fin de impedir niveles de magnesio mayores del 2.0%, que pueden ocasionar inestabilidad volumétrica. Con una dosificación del 5.0% de LFS, los valores de resistencia a compresión simple son muy similares a los valores con margas (Herrero Vázquez, T., 2015) (Cañas G., J., 2012).

Otra de las investigaciones que se encuentra en curso es el uso de escorias siderúrgicas en mezcla de HCR. En el 2016 un equipo de investigación analizó el comportamiento de las mezclas de HCR reemplazando parte del cemento por BFS granuladas. Se concluyó que los HCR con BFS granuladas mostraban un incremento de resistencia a abrasión, fractura, flexión y a la compresión que incrementaba con el tiempo. En 2017 otro grupo de investigación [86] estudió la posibilidad de reemplazar parte de los áridos gruesos del HCR por EAFS y parte del cemento por cenizas volantes, logrando hormigones con mejores propiedades mecánicas a largo plazo (Krishna Rao, S., Sravana, P., &

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Chandrasekhar Rao, T., 2016) (Cañas G., J., 2012) (Herrero Vázquez, T., 2015) (Anastasiou, E. K., Papayianni, I., & Papachristoforou, M., 2014).

Dichas investigaciones han demostrado que las escorias de acería eléctrica (EAFS + LFS) son apropiadas para las diversas aplicaciones antes mencionadas. Sin embargo, no existen hasta la fecha estudios específicos que informen sobre el uso conjunto de ambas escorias en HCRs. Motivo por el cual se aborda el siguiente estudio bibliográfico, que se expone a continuación.

### Pretratamiento de las escorias negras: estabilización volumétrica

La CaO libre presente en la escoria de acería eléctrica se hidrata rápidamente en presencia de agua y puede ocasionar cambios de volumen significativos en un lapso de tiempo corto, y con esto, deterioro y agrietamiento. La hidratación del MgO libre, en cambio, causa eventos expansivos en un lapso de tiempo amplio.

Los áridos empleados en hormigón deben mantenerse inertes y no deben reaccionar ni con el agua ni con el cemento. Para poder emplear como árido un subproducto como la escoria negra para fabricar hormigón, es necesario realizar un tratamiento de envejecimiento, de acuerdo con la norma NLT-361/91 (Norma del Laboratorio del Transporte), con el objetivo de aminorar los fenómenos de expansivos de dichos elementos durante la vida útil del hormigón (Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, 1991).

Este tratamiento de envejecimiento se puede llevar a cabo de diferentes maneras: exposición a la intemperie y rociado de agua durante un mínimo de 90 días, humectación y volteo periódicos, envejecimiento rápido en autoclave, etc., (Landa, P., 2017) (Oliver, S., 2012) (Barbudo, M. A., 2012) (Lam, M. N., Jaritngam, S., & Le, D. H., 2017).

Al respecto M. N.-T. Lam et al., M. Frías et al. (2010) o S. Monosi et al (2016), establecen que en el proceso de envejecimiento se da un espacio en el que la EAF escoria se estabiliza totalmente quedando inerte y a su vez propia para utilizar mezclas hidráulicas como el HCR. De acuerdo, a lo planteado se debe tener en cuenta lo expuesto por Mombellí et al (2016) quien ha indicado que la EAF escoria puede ser útil como árido siempre y cuando el MgO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se encuentren en porcentajes del 5% al 10% en peso respectivamente y en lo referente al contenido de CaO no sobrepase el 30.0% en peso. Para determinar el contenido de dichos compuestos, técnicas como el DSC-DTA (o DCS-TGA) y el análisis XRD son ampliamente utilizadas.

Por su parte, las escorias blancas (LFS) cuentan con un alto porcentaje de cal y magnesio a diferencia de las negras que no superan el 60.0% de LF en peso. Una característica de la escoria blanca es que no es estable del todo cuando entra al proceso de envejecimiento, motivo por el cual su uso como árido no es pertinente, pero si se puede utilizar como resistencia gracias a las propiedades hidráulicas que posee. A partir, de la resistencia de la escoria blanca, Herrero (2015) se ha logrado establecer que ésta puede reemplazar el cemento en porcentajes que no superen el 10.0% en peso de cemento en morteros de albañilería no estructurales.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

En cuanto, a las escorias negras para el tratamiento de envejecimiento se deben estabilizar volumétricamente incluyendo un estado saturado que evite la absorción de exceso de agua evitando así aumentar el volumen y conlleven a el deterioro del hormigón. En cuanto a las escorias blancas, no se requiere estabilizarlas debido a que el agua actúa como agente activo semejante al cemento que brinda resistencia al hormigón. Con lo referido se puede establecer la existencia de diversos tipos de escorias que provienen del acero, siendo la acería eléctrica – LFS y EAFS – la que más abunda en la parte norte de España.

Con lo referido hasta ahora se puede establecer que las EAFS necesitan un proceso de envejecimiento con la finalidad de evitar la expansión; con el uso de las EAFS se beneficia el módulo de elasticidad, la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón; las LFS ligeramente aportan ganancia de resistencia en el tiempo a la HCR; tanto la escoria blanca como la negra desmejoran la trabajabilidad y dificultan la ejecución en obra de la mezcla;

De los anteriores planteamientos se ratifica el tema de la expansión que presentan las escorias al contacto con el agua, con los diseños de las mezclas que se realice con la escoria de Gerdau Diaco y de acuerdo con los resultados de los análisis mineralógicos y metalográficos entre otros se determinará el tratamiento a realizar.

F.E. Elofowoju et al., en su artículo Investigation of the Impact of Selected Additives on Index Properties of Subgrade Soils (2019), esta investigación realizada en Nigeria, estudia los efectos de la escoria de acería y la ceniza en polvo en las propiedades índice de los sub-rasantes además de la influencia de varios porcentajes en peso de escorias de acería y cenizas de aserrín en las propiedades índice de este como por ejemplo el límite de líquido, el límite del plástico, el índice de plasticidad y el límite de contracción de los suelos de sub-rasantes las cuales se dedujeron con los resultados del análisis del laboratorio realizado de acuerdo con los estándares. Los resultados obtenidos mostraron que los valores de las propiedades índices del suelo disminuyeron a medida que aumentaron las cantidades de escoria de acería y cenizas en polvo de aserrín añadidas a los suelos y viceversa.

En este artículo ya se habla de suelo fino como la arcilla, la anterior afirmación debido a que los ensayos de laboratorio que se mencionan solo se aplican para suelos finos, resulta interesante comparar los resultados de laboratorio obtenidos de los suelos de las vías de acceso a Flores el Futuro, donde se desarrolla el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”.

Propiedades índices, son las propiedades del suelo, en las que se basan su clasificación e identificación. Estas propiedades incluyen:

- Distribución del tamaño del grano (tamaño y forma de las partículas), granulometría.
- Límites de consistencia (densidad relativa).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

- Índice de plasticidad.

Los análisis de laboratorio de las muestras de suelo se realizaron de acuerdo con los procedimientos estándar en BS 1377 – 1 (2016) y BS 1924(1990). Para el desarrollo de este experimento se tomaron tres (3) muestras las cuales se depositaron en tamices completamente lavados y se colocaron sobre unos platos metálicos los cuales se mantuvieron en el horno durante 24 horas a 110 °C, después la muestra seca se tamizó, el material retenido en cada tamiz se pesó junto con el tamiz y se registraron estos datos. Para el porcentaje de material retenido en cada tamiz se calculó como una relación de la masa retenida sobre la masa de muestra seca tamizada multiplicada por 100%. El porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz se calculó como una diferencia acumulada entre los porcentajes retenidos en cada tamiz, además de la abertura del tamiz (No. de tamiz) se trazó en función del porcentaje de paso en un papel logarítmico para determinar la clasificación del suelo, el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura.

El límite líquido se determinó por medio de la cazuela de Casagrande, aproximadamente 120.0 g de una muestra de suelo secada al aire que paso por un tamiz de 425 µm se mezcló a fondo para formar una pasta uniforme, sobre el mango del aparato se colocó la muestra y se giró a 2 revoluciones por segundo. Luego se cortó una pequeña porción de la pasta de tierra para determinar el contenido de la humedad. El límite líquido para cada muestra el porcentaje de muestra fue del 25.0%.

Para la prueba de límite plástico se utilizó alrededor de 30.0 g de muestra de suelo secada al aire que pasa a través de un tamiz de 425 µm la cual se mezcló completamente con agua en una placa de vidrio hasta que sea lo suficientemente plástica como para formar una pequeña bola. Esta se dividió en 3 partes las cuales se rodaron hasta que comenzaron a mostrar grietas de aproximadamente 3.0 mm de diámetro, se recogieron trozos de hilos de tierra para determinar el contenido de humedad para así poder obtener el valor promedio del límite plástico a partir de estos datos. Para la contracción lineal se utilizó la siguiente ecuación:

$$L_s(\%) = \left(1 - \frac{L_d}{L_q}\right) \times 100$$

Donde  $L_s$  = contracción lineal;  $L_d$  = longitud de la muestra secada al horno y  $L_q$  = longitud inicial de la muestra (Elofowaju, F. E., 2019).

Como conclusión del artículo se pudo observar que a medida que se agregan porcentajes más altos de escoria de acería y cenizas de polvo de aserrín a las muestras de suelo los valores de los índices se disminuyeron, además, la cantidad de partículas finas contenidas en las muestras de suelo indica el contenido de humedad y esto ocasiona que se produzcan cambios en los límites líquidos y plásticos de las muestras.

Esta conclusión será evaluada y comparada cuando se ejecute el tramo de prueba para determinar la favorabilidad de una sub-rasante con baja plasticidad,

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

luego de la mezcla con la escoria de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Boyacá.

También se han tenido en cuenta las investigaciones y publicaciones nacionales de las cuales se mencionan las siguientes.

Figuroa Chávez, Ilich Darient et al (2019) en su tesis doctoral cita dos elaboraciones propias que han estudiado las escorias de la acería de Pisco, en el Perú. Este autor también tiene como una de sus referencias la tesis de doctorado de Ortega (2011), citada también por Leiva Vidal, Montenegro Cooper, & Ponce Abarca (2017) quienes hicieron referencia a las escorias negras como material agregado en capas de afirmado, así como el diseño de esta. También hicieron referencia a sus propiedades en lo concerniente a lo exigido por el Ministerio de Transporte; cuantificaron la cantidad de metales pesados en las escorias negras – tóxicos y esenciales –. Igualmente, se determinan los resultados de ensayos químicos presentados por Gerdau Diaco en Tuta – Boyacá.

Tabla 32. Resultados de ensayos según normas ASTM en escorias negras.

ENSAYOS SEGÚN NORMAS ASTM	PROMEDIO
Fracción Gruesa	96.39
Fracción Fina	3.61
Agregado Fino	57.10
Agregado Grueso	42.90
S.U.C.S.	GW
A.A.S.H.T.O.	A1-a
Máx. Densidad Seca gr/cc	2.17
Óptimo Contenido de Humedad %	5.64
Humedad Natural %	3.68
Peso Específico gr/cm <sup>3</sup>	2.67
Absorción %	4.70
Gravedad Especifica Finos	3.24
Equivalente de Arena %	57.62
LL	NP
LP	NP
IP	NP
CBR al 95 %	80.56
Abrasión %	31.33
Durabilidad Fino (perdidas %)	1694.00
Durabilidad Gruesos (perdidas %)	1172.00
pH	10.80
C.E. (dS/m)	7.28
SST (ppm)	4656.00
Cloruros (ppm)	1331.50
Sulfatos (ppm)	975.00

Fuente: GEOMASTER a cargo de Aceros Arequipa (2006).

La Tabla 32, se presentó cuando se citó la tesis de grado de Marquina Sierra, Marcos Adrián (2008), Sobre el Uso de las Escorias Obtenidas como Subproducto de la Elaboración de Acero de la Planta N°. 2 de Aceros Arequipa

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

- Pisco para Fines de Cimentación y Pavimentación (2008), lo anterior en la Tabla 13. A continuación, se presenta la Tabla 33, con la referencia de los ensayos que se realizan a los suelos y que está de acuerdo con la información presentada por otros Elaboración propia consultados.

Tabla 33. *Ensayos de mecánica de suelos y método de ensayo.*

TIPO DE ENSAYO	REFERENCIA NORMATIVA
Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM D 422
Límites de Consistencia	ASTM D 4318
Límite Líquido	ASTM D423
Límite Plástico	ASTM D4249
Contenido de Humedad Natural	ASTM D 2216
Densidad de Campo	ASTM D 1556
Valor de impacto al agregado	BS 812 - 110
Ensayo de Compactación Proctor Modificado	ASTM D 1557
Ensayo CBR de los Suelos	ASTM D 1883
Ensayo de Corte Directo	ASTM D 3080

*Fuente:* American Society for Testing and Materials [ASTM].

Los autores concluyen que:

- La escoria negra cumple con los estándares de Calidad que se requiere para la construcción de afirmado de tránsito bajo en zonas rurales en el Perú. Lo anterior es tenido en cuenta para las vías de acceso a la floristería el Futuro en Nemocón – Colombia, coinciden los estudios en el tipo de vía a ejecutar vía terciaria y de bajo volumen de tráfico.
- Con respecto a los costos, la escoria negra es favorable teniendo en cuenta que el proceso constructivo de las vías sigue siendo convencional, entonces hay que tener en cuenta el transporte de la escoria, en este estudio los Elaboración propia recomiendan un radio no mayor de 50 Km del sitio de la acería hasta el sitio de la obra. No se está de acuerdo con la recomendación de la distancia de acarreo ya que limita la posibilidad de realizar proyectos viales a unos pocos municipios, se está más de acuerdo con Ortega López, Vanesa (2011) quien recomienda 120 Km como distancia óptima de transporte de materiales, resulta curioso ya que los Elaboración propia de esta tesis han referenciado a esta autora en varios pasajes de su estudio.
- Un dato importante que se plantea en esta tesis, es la posibilidad de construir 380 Km aproximadamente de vías en afirmado utilizando escoria negra teniendo en cuenta un almacenamiento en la planta de Pisco de 250.000 toneladas de este material, si bien es cierto en el proyecto que se está proponiendo con la escoria de Gerdau Diaco de la planta del Municipio de Tuta se Adicionará a la sub-rasante de las vías precisamente en la evaluación del comportamiento como adición de resultar positivo es una solución a muchas veredas (de Boyacá y Cundinamarca) que carecen de vías de acceso en buen estado.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Como se ha manifestado en las consultas de otros autores los peruanos especialmente, las condiciones de clima, climatología y de tipo de suelos entre otros factores difieren bastante con las condiciones que se presentan en la región Cundiboyacense, sin embargo los ensayos que se realizan tanto al suelo como a la escoria son estándar, por lo que se pueden analizar los resultados obtenidos de los diferentes estudios consultados con los estudios de la EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN, y determinar ese comportamiento por ejemplo en clima frío versus clima cálido, que puede dar bases para otro tipo de investigación con la escoria.

En cuanto a los estudios desarrollados en el ámbito nacional se han consultado los siguientes. Serna (2012), trata sobre el manejo de la escoria de manera adecuada tal que no afecte el medio ambiente y sea económico. De este trabajo de grado se resalta la normatividad ambiental que la autora menciona, esta preocupación por el medio ambiente ya se ha manifestado en varias ocasiones en el desarrollo de este proyecto, y es aquí donde se recuerda a la autora Karnele (2012) que concluyó en su investigación sobre la necesidad de conocer la legislación colombiana sobre el medio ambiente y el manejo de residuos como la escoria de acería. La autora hace un breve recuento sobre el surgimiento de las siderúrgicas en Colombia que fue a inicios del Siglo XX, con ocasión del descubrimiento de los yacimientos de hierro en el territorio cundinamarqués con la Ferrería de Pacho, posteriormente esta industria se expandió en los territorios de Antioquia y Boyacá. Posteriormente se descubrieron otros yacimientos de caliza, cal y hierro en diferentes zonas del país incluyendo los ya citados, que ayudaron a posicionar las industrias de acero como se puede observar en la tabla 34.

Tabla 34. *Producción anual de acero en Colombia.*

NOMBRE	PRODUCCIÓN ANUAL (Ton)
Paz del Río	350,000.00
Diaco	480,000.00
Sidenal	190,000.00
Acasa	144,000.00
Sidoc	102,000.00

Fuente: [www.bnamericas.com](http://www.bnamericas.com) (2012).

En cuanto, a la chatarrización la mayoría de las autopartes en Colombia tienen un origen doméstico. Según el Decreto 4741 de 2005 las escorias en Colombia no han sido catalogadas como peligrosas, en parte por su composición química, tal como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. *Caracterización química de la escoria.*

CONTENIDO	COMPOSICIÓN (%)
Óxido de Calcio (CaO)	27 - 37
Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	11 - 25
Óxido de Hierro (FeO)	3 - 25
Dióxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2 - 22

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

CONTENIDO	COMPOSICIÓN (%)
Óxido de Magnesio (MgO)	4 - 11
Óxido de Cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.6 - 4

*Fuente:* IHOBE, Sociedad Pública Gestión Ambiental (20009).

La Tabla 35, coincide con la tabla presentada por Ana Méndez Piña (2011) en su proyecto sobre Utilización de Escorias como Sustitutos de Áridos, en la Tabla 19, el valor que varía en este caso es el del CaO, de 40 – 52 del estudio mencionado comparado con 27 – 37, del estudio que se está citando.

Según Méndez (2011) en su investigación establece que el año 1974 es el punto de partida para el marco normativo en materia ambiental en el país, publicándose el Código de los Recursos Naturales. Posteriormente se sanciona la Ley Sanitaria que integra las normas sobre contaminación dadas en la década de los ochenta. En la década siguiente se reorganizan las entidades ambientales y se crea el Ministerio del Medio Ambiente que da origen al Sistema Nacional Ambiental, que agrega autoridades ambientales regionales que gozan de independencia presupuestal gracias a la autonomía que la norma les ha otorgado.

Para el año 2002 mediante el Decreto 1713 se reglamenta actividades complementarias al ambiente, como la gestión integral de los residuos y el servicio de aseo público. Con la expedición del decreto mencionado se da origen a las demás reglamentaciones que sobre materia ambiental se han generado para el país. Por su parte, el sector siderúrgico cuenta con diferentes normativas ambientales, definiendo un esquema institucional.

Así, el Ministerio de minas y Energía define las leyes o reglamentaciones para la explotación de minas y extracción de minerales relevantes para el proceso siderúrgico. En este orden de ideas, la Unidad de Planeación Minero Energético se encarga de coordinar y organizar el sector y a su vez divulgar la información de dicho sector, que ha evolucionado gracias el marco normativo que día a día amplía el marco de regulaciones. Normas que además han definido el residuo o desecho peligroso, que se entiende como aquél que deteriora la calidad ambiental y la salud humana debido a su nivel de toxicidad que se presentan en residuos peligrosos de los embalajes, envases, empaques cuando han estado en contacto con estos.

La normativa señalada, también ha definido el residuo sólido o desecho como el objeto material que resulta del uso o consumo de un bien en actividades cotidianas sean de orden institucional, comercial, doméstico, industrial o de servicios, debido al abandono – empaques, botellas, desechos, entre otros – que puede ser susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o disposición final. Los residuos sólidos se clasifican en aprovechables y no aprovechables. Los primeros hacen referencia a aquellos que se pueden transformar e incluir en un proceso productivo, los segundos no ofrecen ninguna posibilidad de aprovechamiento, reincorporación o reutilización en un proceso productivo, por ende, no tienen ningún valor comercial.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Por reutilización se entiende la adecuación de la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante procesos, operaciones o técnicas logran devolver al elemento su vida útil en la función original; por último, se entiende por separación de la fuente a la clasificación de los residuos sólidos en el sitio de origen para su futura recuperación.

En la Resolución 541 de 1994 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial establece los lineamientos para el transporte de la escoria como material de construcción; en la Ley 9 de 1979 establece los factores que pueden afectar las condiciones del medio ambiente; el Decreto 1609 de 2009 reglamenta el manejo y transporte de residuos peligrosos por carretera; Decreto 4741 de 2005 define el manejo y la prevención de los residuos o desechos peligrosos; la Resolución 1362 de 2007 hace referencia a los requisitos y el procedimiento para el registro de los residuos o desechos peligrosos y por último, la Ley 1333 de 2009 establece el procedimiento sancionatorio ambiental.

La autora de este estudio no menciona la Siderúrgica que produce la escoria, sin embargo, aporta datos a tener en cuenta como los presentados en la Tabla 36.

Tabla 36. Resultados prueba de peligrosidad realizada internamente en el año 2007.

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	VALOR	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE EN EL LIXIVIADO (mg/l)
Cr. Cromo	Absorción Atómica	mg/l	0.02	5.0
Cd. Cadmio	Absorción Atómica	mg/l	0.02	1.0
Hg. Mercurio	Absorción Atómica	µg/l	<0.01	0.2
Pb. Plomo	Absorción Atómica	mg/l	0.08	5.0
Ni. Níquel	Absorción Atómica	mg/l	0.70	N.A.
Cu. Cobre	Absorción Atómica	mg/l	0.02	N.A.
Se. Selenio	Absorción Atómica	mg/l	0.54	1.0
As. Arsénico	Generador de hidruros	µg/l	<1.23	5.0
CN. Cianuro	Absorción Atómica	mg/l	<.002	N.A.

Fuente: Serna Pérez, Adriana María (2012).

De acuerdo con la información anterior se puede concluir que la escoria no se puede considerar peligrosa, debido a que los no supera los niveles máximos permitidos y no existe ningún riesgo de ser utilizada por terceras personas.

La autora concluye que:

- La escoria se puede comercializar generando ingresos a las siderúrgicas, dándole un manejo adecuado a este subproducto.
- Es necesario para las siderúrgicas que un ente competente controle y les aporte una orientación en la manera que se debe hacer manejo ambiental en cuanto a estos subproductos.

**La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca**, en su estudio Aprovechamiento y Valorización de Residuos Industriales (2015), junto con la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, presentan una investigación sobre las

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

escorias que se producen en la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta – Colombia.

Es muy importante esta investigación en el desarrollo del proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, ya que hasta ahora de los Elaboración propia citados no se había encontrado información sobre las escorias que se producen en la planta de Gerdau Diaco, dicho esto a continuación se presenta el resumen del documento.

En la Figura 22 se presenta una reseña general de Gerdau, donde se aprecia la importancia de esta empresa brasilera en a nivel mundial.

Figura 22. Generalidades sobre Gerdau en el mundo.



*Fuente:* Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Pontificia Universidad Javeriana de Cali (2015).

La información presentada en la siguiente investigación ya se ha registrado en otras citas con las cuales se están haciendo las comparaciones con los datos presentados en este estudio.

En la Tabla 37, Tabla 38 y Tabla 39, se registra la caracterización de la escoria de la planta de Gerdau Diaco.

Tabla 37. *Generación de las escorias de acería eléctrica por tonelada de acero producida.*

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

RESIDUOS	CANTIDAD (Kg)
Escoria negra	110 - 150
Escoria blanca	20 - 30

Fuente: Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones – escorias de acerías.

Tabla 38. *Composición química de las escorias de acería eléctrica, agregado siderúrgico de fusión.*

NOMBRE	COMPUESTO	(% EN PESO)
Sodio	Na <sub>2</sub> O	0.31
Magnesio	MgO	5.09
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.50
Sílice	SiO <sub>2</sub>	13.97
Azufre	SO <sub>3</sub>	0.46
Potasio	K <sub>2</sub> O	0.10
Calcio	CaO	27.65
Titanio	TiO <sub>2</sub>	0.53
Vanadio	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07
Cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.85
Manganeso	MnO	4.12
Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.11
Niquel	NiO	0.02
Cobre	CuO	0.05
Zinc	ZnO	0.23
Estroncio	SrO	0.06
Bario	BaO	0.15
Cloro	Cl	0.07
Plomo	PbO	<0.01

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Pontificia Universidad Javeriana de Cali (2015).

Tabla 39. *Composición química de las escorias de acería eléctrica, agregado siderúrgico de Afino.*

NOMBRE	COMPUESTO	(% EN PESO)
Sodio	Na <sub>2</sub> O	0.07
Magnesio	MgO	5.77
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.16
Sílice	SiO <sub>2</sub>	25.72
Azufre	SO <sub>3</sub>	0.79
Potasio	K <sub>2</sub> O	0.28
Calcio	CaO	54.95
Titanio	TiO <sub>2</sub>	0.43
Cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15
Manganeso	MnO	2.24
Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.09
Cobre	CuO	<0.01
Zinc	ZnO	0.04

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

NOMBRE	COMPUESTO	(% EN PESO)
Estroncio	SrO	0.08
Cloro	Cl	<0.01
Plomo	PbO	N.D.

*Fuente:* Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Pontificia Universidad Javeriana de Cali (2015).

El informe describe como uso de los agregados siderúrgicos lo siguiente:

- Construcción y Adecuación de patios de maniobra, parqueaderos, accesos.
- Rellenos.
- Recuperación Geomorfológica de suelos.
- Conformación vial: Base y Subbase.
- Adición Asfáltica como agregado.

En el informe se ratifican los usos de la escoria en las obras de ingeniería que ya han citado algunos Elaboración propia ya referenciados.

Los Elaboración propia del estudio no especifican el uso de la escoria, sin embargo, presentan unas apreciaciones de lo que denominan “ventajas del uso del agregado siderúrgico” y a continuación se mencionan.

- Menor costo de la obra.
- Excelente CBR (120% - 200%, en comparación con 85% - 100% de la grava), lo que significa una mayor durabilidad contra una intensidad de la carga y del mismo espesor.
- Posibilidades de minimizar el espesor de la superficie y base del pavimento.
- La preservación de la materia prima extraída de los recursos naturales.
- Los agregados siderúrgicos están comprendidos por estructuras vitro-cristalinas, los cuales en capsulan los óxidos de los cuales está compuestos.
- Excelente resistencia al agua, son prácticamente impermeables por ser vitrificados primarios.
- Elevada resistencia al desgaste.
- Son aptos para aplicar en concreto asfáltico y subbases.

En la Figura 11 y Fotografía 12, se presentan como ejemplo los casos de aprovechamiento de los residuos industriales.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 11. *Vía intermunicipal desde tuta hacia el municipio de Toca.*



*Fuente:* Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Pontifica Universidad Javeriana de Cali (2015).

Fotografía 12. *Vía intermunicipal desde tuta hacia el municipio de Toca, utilización de agregado siderúrgico a lo largo de 14 Km.*



*Fuente:* Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Pontifica Universidad Javeriana de Cali (2015).

De las fotografías anteriores se observa que el uso de la escoria es a nivel superficial en las vías, que difiere con el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, pero se esperan buenos resultados al Adicionar la escoria en la capa inferior del tramo de la vía en estudio.

Sánchez (2016), recopila los diferentes estudios sobre el comportamiento de la escoria negra a lo largo de los recientes años en diferentes países. A su vez Vázquez y Barra (2011) el uso de las escorias en construcción, gracias a las propiedades con las que cuentan al ser permeables con el agua y la intemperie.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

En el estudio antes mencionado se hace referencia a la composición química, expansión, composición química y las consecuencias de su uso en las obras ingenieriles. Con lo abordado por Vásquez y Barra (2011) se encuentra que la referencia principal para el comportamiento expansivo siempre fue la Cal (CaO), no se había contemplado la capacidad del óxido de magnesio (MgO), sin embargo, revisando las tablas citadas de las consultas presentadas

“Se determinó que la escoria de acería como material para el uso en caminos forestales se encuentra apta y obedece con todo lo estipulado por la normativa en cuestiones ambientales, operativas y socioeconómica” (Sánchez A., H. M., 2016).

El autor muestra su preocupación que hay a nivel local con los pocos estudios que encuentran a nivel local de las escorias a pesar de que en otros países los resultados han sido óptimos como se ha descrito a lo largo de este proyecto.

Se concluye que:

- “Debido al potencial expansivo de la escoria negra es necesario para quienes las usen generar procesos de control y estabilidad, considerando que el no hacerlo sería perjudicial para la estructura de los suelos.
- En la mayoría de las investigaciones realizadas en escorias negras se observa que poseen una resistencia al desgaste por abrasión buena (inferior al 35%) y CBR superiores al 100%, lo que les da la posibilidad de ser incluidas en capas granulares de mezclado, capas asfálticas e incluso mezclas de concreto hidráulico para pavimentos” (Sánchez A., H. M., 2016).

De lo anterior se puede afirmar, que estas conclusiones ratifican a nivel local lo que otros autores han manifestado con respecto a la expansividad de la escoria negra y la necesidad de estabilizarlas o de contemplar un tiempo de envejecimiento, factores a tener en cuenta en el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”.

Segura (2016), trata como bien se menciona, la escoria Adicionada al asfalto se resalta de esta tesis, pero se encuentra un dato importante que no se había encontrado en las citas de las consultas anteriores y es lo referente al uso de la escoria de acería por los EE. UU en las obras aeronáuticas como base para la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional de Pittsburg. Su uso se expandió a países de Oriente, Latinoamérica, Asia y Europa para realizar carreteras.

De la cita anterior es interesante saber que en aeropuertos se ha aplicado la escoria de acería, se sabe que en el aeropuerto de Barranquilla Ernesto Cortizos, se utilizó recientemente en la pista grano de caucho para la capa de rodadura lo que demuestra que a nivel local se estudian materiales alternativos con buenos resultados, lo anterior para retomar que la escoria de acería se ha utilizado en estructura de pavimentos de aeropuertos, donde se requiere seguridad al 100% en todo aspecto, esto será materia de otro estudio.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Para terminar con lo que el autor especifica como ventajas de la escoria en obras viales en lo referente de las subbases granulares, se menciona lo siguiente:

- “Tiene un costo bajo en comparación a otros materiales pétreos disponibles en la zona.
- Excelente valor de CBR (150% - 300% en la escoria contra 85% - 100% en los agregados pétreos tradicionales) proporcionando mayor durabilidad ante la misma intensidad de cargas y espesor de construcción o la posibilidad de reducir el espesor de la capa de base.
- Puesto que la escoria tiene una mayor resistencia mecánica esta característica le da estabilidad a la base granular.
- Debido a la nula existencia de fracción fina plástica en las escorias, estas tienen una mejor conducta ante el efecto del agua” (Segura Almanza, A., 2016).

Importantes las consideraciones del autor porque, se han tocado los temas anteriormente descritos y concuerdan con las consultas ya mencionadas, sin embargo, el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, solo enfoca en la capa inferior de la estructura de pavimento.

Rojas (2018), nos presenta las perspectivas sobre el avance que Colombia tiene en materia de infraestructura vial, en este artículo no se tratan aspectos técnicos ni se presentan tablas o figuras del comportamiento de la escoria de planta siderúrgica alguna, se trata de presentar el punto de vista de un experto que evalúa como se presenta el futuro de la infraestructura vial en Colombia, por lo que el autor concluye que:

“Las asociaciones público-privadas (APP) son como mecanismos de contratación eficientes para el desarrollo de infraestructura vial, identificando la concesión mixta con aportes del concesionario y del Estado, como la modalidad más usada en el desarrollo de las generaciones de concesiones viales: 1G, 2G y 3G.

Tras analizar los índices de calidad en infraestructura vial y desarrollo económico en el período 2006-2014, se concluye que Colombia mejoró el índice de calidad vial en 1.5% y el PIB se incrementó en un 42.34%.

El Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial y el Foro Económico Mundial concuerdan en que Colombia incrementó sus inversiones en infraestructura y construcción hasta en 7.94% del PIB para el año 2014, simultáneamente ha mejorado sus indicadores de competitividad al nivel internacional entre los años 1993 a 2014.

La anterior consideración no representa un análisis econométrico riguroso, en vista de que los conceptos estudiados desde el punto de vista ingenieril tratan

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

de relacionar cómo es el comportamiento económico con relación a las inversiones en Colombia.

De acuerdo con los resultados, se puede concluir que las variables de índice de construcción e inflación generan una repercusión moderada sobre el resultado de la variable de inversión en transporte, puesto que sus correlaciones con esta variable son menores al 0.50.

Además, se puede concluir que el incremento en la inversión privada en transporte tiene una relación directamente positiva sobre el incremento en el PIB, considerando la correlación que los vincula es positiva del 63.3%” (Rojas López, M., & Ramírez Muriel, A. F., 2018).

De lo anterior se puede concluir que el avance en la infraestructura vial en Colombia depende no solo de las grandes empresas constructoras del apoyo de los bancos o de músculos financieros fuertes que evidentemente esperan retribuciones grandes de sus inversiones, si bien en el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”, no se pretenden infraestructuras de gran envergadura sino un punto de vista importante en el sentido de vista, donde las vías principales y su desarrollo en Colombia está atrasado, para las vías terciarias no se podría esperar mayor apoyo del gobierno, pero como se mencionó en la introducción de este proyecto, El PND prioriza proyectos de inversión en vías terciarias y da inicio en el 2019 (<https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/3467-el-plan-nacional-de-desarrollo-trazo-el-camino-para-que-mas-campesinos-puedan-beneficiarse-con-el-programa-de-vias-rurales>).

## 7. MARCO CONTEXTUAL

### 7.1 MARCO CONTEXTUAL E INSTITUCIONAL

La presente investigación se realizó en la ciudad de Bogotá, en un contexto académico e institucional para la Universidad Santo Tomás para trabajo de grado de la Maestría en Infraestructura Vial, realizando una evaluación al comportamiento de la mezcla de terreno natural del municipio de Nemocón con escoria de acería proporcionado por la Siderúrgica GERDAU DIACO ubicada en el Municipio de Tuta en el Departamento de Boyacá. El laboratorio donde se realizaron las pruebas es un laboratorio de suelos certificado, con toda la normativa y calidad vigente ubicada en el Municipio de Cota Cundinamarca, el tramo de prueba se realizó en el Municipio de Nemocón en la finca El Futuro.

### 7.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

Para la construcción de carreteras en Colombia se sigue el Manual de Normas de Ensayo de Materiales para carreteras donde se estandarizan los procedimientos de muestreo y ensayo en los laboratorios donde se efectúan las pruebas para los proyectos de la infraestructura de carreteras a cargo del INVÍAS. Los procedimientos descritos en el manual mencionado anteriormente se basan en normas internacionales como la ASTM, que han sido adaptadas a los requerimientos del INVÍAS.

A continuación se describen los ensayos y la norma que los especifica en Colombia, tenidos en cuenta para este proyecto.

- LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS (I.N.V. E – 126-13), este ensayo se desarrolló con el fin de clasificar el terreno del tramo de prueba para de esta manera tener un punto de referencia y de allí partir con parámetros para la mezcla que se realizó (Instituto Nacional de Vías [INVÍAS], 2013).
- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO EN SUELOS MEDIANTE PERDIDA POR IGNICIÓN (I.N.V. E – 121-13), ensayo que se realizó para determinar el contenido de material orgánico que se presentó en el tramo de prueba y de esta manera observar el grado de oxidación que presentado (Instituto Nacional de Vías [INVÍAS], 2013).
- GRAVEDAD ESPECÍFICA / ABSORCIÓN ( $\frac{3}{4}$ " –  $\frac{3}{8}$ " – N°4 – N°40 – N°200) AASHTO T85-91 (2004).
- CBR [AASHTO] T193-99 (2013), este ensayo se realizó para determinar la capacidad de soporte del suelo, teniendo en cuenta que el tramo de prueba es una vía de acceso a cultivos de flores por el cual transitan constantemente camiones de carga y buses que transportan al personal que allí labora.
- RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ ") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

ÁNGELES (I.N.V. E – 218-13), ensayo de abrasión (Instituto Nacional de Vías [INVÍAS], 2013).

También se consultaron las siguientes normas:

- MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, adoptado mediante Resolución No. 000744 del 04 de marzo de 2009 del Ministerio de Transporte.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE - INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS. Guía de diseño de pavimentos con placa 2015.

### 7.3 GLOSARIO

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials.

**a/c:** Relación agua/cemento (Landaberea Lorenzo, 2018).

**ANI:** Agencia Nacional de Infraestructura.

**AODS:** Argon Oxygen Decarburization Slag (Escoria de Descarburación con O<sub>2</sub> y Ar o de AOD) (Landaberea Lorenzo, 2018).

**Árido:** Material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente. Según su origen el árido puede ser natural, artificial o reciclado ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%81rido\\_\(miner%C3%ADa\)&oldid=124525326](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%81rido_(miner%C3%ADa)&oldid=124525326)).

**Árido natural:** Procede del laboreo de un yacimiento y que ha sido sometido únicamente a procesos mecánicos. Las rocas de las que se extraen áridos naturales son: Rocas calcáreas sedimentarias (caliza y dolomía), Arenas y gravas, Rocas ígneas y metamórficas (granito, basalto y cuarcita).

**Árido artificial:** Procede de un proceso industrial y ha sido sometido a alguna modificación físico-química o de otro tipo. Por ejemplo, la arcilla.

**Árido reciclado:** Resulta del reciclaje de residuos de demoliciones o construcciones y de escombros.

**Arrabio:** Es el primer proceso que se realiza para obtener Acero, los materiales básicos empleados son Mineral de Hierro, Coque y Caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del mineral y los reduce a hierro metálico (<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arrabio&oldid=114095502>).

**ASTM:** American Society of Testing Materials.

**BFS:** Blast Furnace Slag (Escoria de Horno Alto) (Landaberea Lorenzo, 2018).

**BOF:** Basic Oxygen Furnace (Convertidor Básico de Oxígeno o Convertidor LD) (Landaberea Lorenzo, 2018).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

**Caracterizar:** Determinar los rasgos peculiares de una persona o una cosa que las distinguen de otras (<https://es.thefreedictionary.com/caracterizar>).

Identificar las características mecánicas de la escoria desde el punto de vista metalográfico y composicional para detectar las posibles incidencias que pueden tener los materiales que se mezclarían, teniendo en cuenta el PH característico de acidez del agua presente en los sitios de prueba de campo.

**CBR:** California Bearing Ratio, es una prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo. Fue desarrollado por el Departamento de Transportes de California antes de la Segunda Guerra mundial ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=California\\_Bearing\\_Ratio&oldid=119155230](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=California_Bearing_Ratio&oldid=119155230)).

**Clinker:** El clinker se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. El clinker es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland. El promedio del diámetro de las partículas de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros. Hay cuatro compuestos principales en el clinker que totalizan el 90 % o más del peso del cemento Portland (<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Clinker&oldid=114249085>).

**Desescoriar:** Extraer la escoria de los hornos o de los conductos de las calderas (<https://es.thefreedictionary.com/desescoriar>).

**EAF:** Electric Arc Furnace (Horno Eléctrico de Arco).

**EAFS:** Electric Arc Furnace Slag (Escoria de Horno Eléctrico de Arco, o escoria negra) (Landaberea Lorenzo, 2018).

**Ensayo a compresión:** Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo\\_de\\_compresi%C3%B3n&id=109247181](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo_de_compresi%C3%B3n&id=109247181)).

**Ensayo de tracción:** Consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo\\_de\\_tracci%C3%B3n&id=112911631](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo_de_tracci%C3%B3n&id=112911631)).

**Escoria:** Es un material que contiene sustancias inútiles de un mineral, que se encuentran presentes en cualquier proceso metalúrgico que involucre fundiciones. Por lo general, las escorias de cobre son óxidos de hierro silicatos SiO<sub>2</sub>, aunque existen otros elementos que no superan el 20.0% por lo que no se toman en cuenta ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Escoria\\_%28metalurgia%29&id=105829652](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Escoria_%28metalurgia%29&id=105829652)).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

**Granulometría:** Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Clasificaci%C3%B3n\\_granulom%C3%A9trica&oldid=110489194](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Clasificaci%C3%B3n_granulom%C3%A9trica&oldid=110489194)).

**HAE:** Horno de Arco Eléctrico (Soto Izquierdo, Soto Izquierdo, & Díaz Brito, 2008).

**HEA:** Horno Eléctrico de Arco (Landaberea Lorenzo, 2018).

**INVÍAS:** Instituto Nacional de Vías.

**LDS:** Linz-Donawitz process Slag (Escoria del proceso LD/Linz-Donawitz) (Landaberea Lorenzo, 2018).

**LFS:** Ladle Furnace Slag (Escoria de Horno Cuchara, o escoria blanca) (Landaberea Lorenzo, 2018).

**Límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia:** Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos,<sup>1</sup> aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916) ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%ADmites\\_de\\_Atterberg&oldid=123965137](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%ADmites_de_Atterberg&oldid=123965137)).

**Límite líquido:** Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la copa de Casagrande.

**Límite plástico:** Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

**Límite de retracción o contracción:** Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

**Mortero:** El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes ([https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Mortero\\_\(construcci%C3%B3n\)&oldid=115662051](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Mortero_(construcci%C3%B3n)&oldid=115662051)).

**Peletización:** Es el proceso de comprimir o moldear un material en la forma de una bolita (<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Peletizaci%C3%B3n&oldid=119912935>).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

**Tamizado:** El tamizado o cribado es un método mecánico para separar dos sólidos formados por partículas de tamaños diferentes. Consiste en pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz, criba o herramienta de colador (en función del uso podrán ser metálicos, vegetales -tejidos- o de nailon). Las partículas de menor tamaño atraviesan el filtro por los poros, y las de mayor tamaño quedan retenidas (<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tamizado&oldid=116276728>).

**TGA:** Thermogravimetric Analysis (Análisis Termogravimétrico) (Landaberea Lorenzo, 2018).

**World Steel Association:** Asociación mundial del acero

**XRD:** X-ray diffraction (Difracción de rayos X) (Landaberea Lorenzo, 2018).

## **8. METODOLOGÍA**

### **8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación que se adelantó en el proyecto es considerada de tipo exploratorio y descriptiva debido a que se han desarrollado pocos estudios relacionados con el tema. Y cuantitativa, dado que se realizaron ensayos de laboratorio y se compararon con una muestra patrón para obtener diferencias porcentuales y describir las variaciones que se presenten en el comportamiento de una mezcla.

### **8.2 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del planteamiento del diseño metodológico del proyecto.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

## MARCO METODOLÓGICO

Diagrama No 1



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

La caracterización de los materiales se realizó en el siguiente laboratorio:

Nombre: Stalo Group S.A.S.  
NIT: 901.084.237-7  
Dirección: Vereda Parcelas, Parcela 45, Puerta 3. Cota – Cundinamarca.  
Actividad comercial: Construcción de otras obras de Ingeniería Civil.  
Teléfono: (+57 1) 8 75 90 38

A continuación, se describen el procedimiento de las fases del proyecto:

### Recopilación de Información

La reunión de datos a partir de diversas fuentes para conocer y estudiar el objeto de estudio de un proyecto o investigación.

De acuerdo con la investigación realizada, sobre los estudios anteriores

**Fase 1 Obtención y caracterización de los materiales:** En esta fase se desarrolló la selección de la sub-rasante natural que se estudió a la cual se le realizaron los ensayos que se presentan en la Tabla 40, lo anterior para seguir su evolución a través de la adición de la escoria de acería.

Tabla 40. Tipo de Ensayo y Norma del ensayo, para Caracterización – Escoria de Acería.

ENSAYO	NORMA DEL ENSAYO
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos.	I.N.V. E – 126-13
Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición	I.N.V. E – 121
Gravedad Específica / Absorción ( $\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ " – N°4 – N°40 – N°200)	AASHTO T85-91
Resistencia al Desgaste de los Agregado de Tamaño menores de 37.5mm ( $1\frac{1}{2}$ "), Por medio de la Máquina de los Ángeles.	I.N.V. E – 218-13
Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados.	I.N.V. E – 224-13
Índice de Aplanamiento y de Alargamiento de los Agregados para Carreteras.	I.N.V. E – 230-13
CBR (100% de densidad seca máxima y cuatro días de inmersión en agua).	AASHTO T193-99

Fuente: Elaboración propia.

En este proyecto se obtuvo la cantidad de material orgánico que contiene el tramo de prueba, teniendo en cuenta que este está ubicado en una zona rural y cuenta con presencia de especies vegetales, todo ello con el fin de determinar la

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

oxidación de este material y poder observar la afectación de la mezcla del terreno natural con la mezcla de la escoria.

Este proceso se realiza de acuerdo a la norma I.N.V. E – 121 (Instituto Nacional de Vías [INVÍAS], 2013).

Gravedad Específica: Para este ensayo se tomó una muestra seca que se pasó por el tamiz No. 4, todo el material que no quedó retenido se descartó. La muestra que quedó se Lavó para eliminar cualquier polvo u otros recubrimientos de la superficie. Posteriormente se secó la muestra en un horno a una temperatura de  $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$  ( $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), la muestra se dejó enfriar hasta obtener un manejo cómodo de la temperatura, se sumergió la escoria de acería en agua a una temperatura ambiente durante un período de  $17 \pm 1$  hora. Se retiró la escoria del agua y se secó con un paño absorbente hasta eliminar películas de agua visibles. En este punto la escoria estuvo en un estado de superficie seca saturado (SSD). Se colocó la muestra en un recipiente, se pesó y se registró como peso de la muestra de superficie seca saturada en el aire.

Después del pesaje, se colocó la muestra de superficie seca saturada en un recipiente, se sumergió en agua a una temperatura de  $73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$  ( $23.0 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ), se agitó la muestra inmersa para quitar todo el aire atrapado y se prosiguió a un pesaje. Se registró el peso de la muestra saturada en agua. Se retiró la muestra del agua y se colocó en un sartén. Se secó la muestra a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Se dejó enfriar hasta obtener un manejo cómodo de la temperatura. Se pesó y registró nuevamente para obtener el peso de la muestra seca al horno en el aire.

Se procedió al ensayo de resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ) por medio de la máquina de los Ángeles: El ensayo se realizó a los agregados gruesos hasta de 37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ) para determinar la resistencia a la abrasión o desgaste empleando una máquina con una carga abrasiva. Este ensayo permitió conocer la durabilidad y resistencia del agregado. Para el ensayo se utilizó escoria de acería y se utilizaron los tamices  $1\frac{1}{2}$ ", 1",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{1}{4}$ " y N°4. La muestra se lavó y se secó en horno a una temperatura constante comprendida entre  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , se prepararon 500 gramos de escoria de acería.

En la Fotografía 13, Fotografía 14 y Fotografía 15, se complementa la descripción anterior con respecto al ensayo de caracterización de los materiales.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 13. *Ensayo de desgaste de los agregados. Tamizado y máquina de los Ángeles.*



*Fuente:* Laboratorio Stalo Group SA.S (2019).

La muestra se colocó en la máquina de los Ángeles con una carga abrasiva que corresponden a esferas de acero de diámetro de 46.8 mm (1 27/32") y una masa comprendida entre 390.0 g y 445.0 g. Se giró un cilindro con una velocidad entre 188 rad/minuto y 208 rad/minuto (30 r.p.m. y 33 r.p.m.), hasta completar 500 revoluciones. El cilindro de la máquina de los Ángeles debe girar con una velocidad constante.

Fotografía 14. *Ensayo de desgaste de los agregados. Esferas de acero y máquina de los Ángeles.*



*Fuente:* Laboratorio Stalo Group SA.S., (2019).

La muestra se extrajo del cilindro y se realizó una separación mediante el empleo del tamiz de 1.7 mm (N°12), la muestra se lavó, se secó en el horno a una temperatura  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , se determinó la masa con una precisión de 1.0 gramo.

Se realizó el cálculo del porcentaje de desgaste mediante la expresión.

$$\% \text{ Desgaste} = \left[ \frac{(P1 - P2)}{P1 \times 100} \right] \times 100$$

Dónde:

P<sub>1</sub>: Masa de la muestra antes del ensayo

P<sub>2</sub>: Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiza N°12

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados: El ensayo se realizó a la muestra de escoria de acería para determinar el porcentaje, en masa o por conteo de una muestra de agregado grueso compuesto por partículas fracturadas. La cara fracturada corresponde a una superficie angular o quebrada de una partícula de agregado. Para el ensayo se emplearon los siguientes equipos: balanza, tamices 37.5 mm, 25.0 mm, 19.0 mm, 12.5 mm y 9.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ ",  $1$ ",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{8}$ "), cuarteador y una espátula.

Fotografía 15. Caras Fracturadas en los Agregados. Determinación de la masa de la muestra.



Fuente: Laboratorio Stalo Group SA.S (2019).

La muestra debía contener una masa mínima por tamiz retenido como se indicada en la Tabla 41.

Tabla 41. Masa mínima en gramos ensayo porcentaje de caras fracturadas.

TAMIZ, ABERTURA EN PULGADAS	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA EN GRAMOS
$\frac{3}{8}$	200
$\frac{1}{2}$	500
$\frac{3}{4}$	1,500
1	3,000
$1\frac{1}{2}$	7,500
2	15,000
$2\frac{1}{2}$	30,000
3	60,000
$3\frac{1}{2}$	90,000

Fuente: Elaboración propia.

La muestra de Escoria de Acería se lavó y secó hasta obtener una separación limpia de material fino y grueso por medio de tamiz de 4.75 mm (No.4).

Posteriormente se determinó la masa de la muestra. Se extendió la muestra seca en una superficie donde se le realizó la inspección a cada partícula para verificar el criterio de fractura que corresponde a la partícula que tiene un área a proyectada de un cuarto de la máxima área de la sección transversal y la cara tiene bordes cortantes y bien definidos.

Posterior se determinó la masa de partículas fracturadas, la masa de partículas dudosas y la masa de partículas que no cumplen con el criterio de fracturadas.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Con la ecuación:

$$P = \left[ \frac{F + \left(\frac{Q}{2}\right)}{(F + Q + N)} \right] \times 100$$

Dónde:

P = Porcentaje de partículas de caras fracturadas

F = Masa o número de partículas fracturadas con al menor el número de caras fracturadas.

Q = Masa o número de partículas dudosas

N = Masa o número de partículas que no cumplen el criterio de fracturadas.

Evaluación de la Resistencia Mecánica de los Agregados Gruesos por el Método de 10.0 % de Finos:

En este ensayo se buscó evaluar la resistencia mecánica de los agregados gruesos a la trituración al ser sometidos a esfuerzos de compresión determinada para producir en esta muestra de agregado grueso un 10.0% de finos que pase por el tamiz No 8 para someterlo a diferentes pruebas que se describen más adelante. La preparación de la muestra consistió en dejar secarla al aire libre y luego se tamizó entre los tamices 12.7 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) y 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ " ) ya que estos son los establecidos. Una vez seleccionada la muestra se procedió a llenar el recipiente cilíndrico en tres (3) capas de 25 golpes que se le dan con una varilla de sección circular recta luego se determina con una presión de 1.0 g la masa del agregado luego de ello se procedió a cargar con el pistón, para penetrar la muestra cuyo indicador dio la naturaleza del material y dicha penetración se determinó según la Tabla 42.

Tabla 42. Penetración Según Tipo de Agregado.

NATURALEZA DEL MATERIAL	PENETRACIÓN
Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15 mm
Agregados constituidos de partículas angulares.	20 mm
Agregados ligeros, que presenten vacíos en su interior.	24 mm

Fuente: Elaboración propia.

Una vez puesta la carga y obtenida la penetración indicada se procedió a tomar el dato de la carga en Newton y se sacó la muestra del recipiente. El material extraído del cilindro se procedió a tamizar en el tamiz No 8 y se determinó la masa retenida en este para ver el resultado del sometimiento al esfuerzo.

Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el equipo micro-Deval: Este ensayo se utilizó para medir la resistencia de la abrasión de los agregados grueso. El ensayo de micro-Deval consistió en

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

someter una muestra de agregado gruesa para medir la abrasión y durabilidad de los agregados. En este ensayo se tomó una muestra de agregado grueso en un recipiente de acero con 2 litros de agua y una carga abrasiva de 5000 g de esferas de acero de 9.5 mm de diámetro estos recipientes acompañados de las esferas se dejaron girar dentro del aparato de Micro – Deval a 100 r.p.m. por dos horas luego se lavó la muestra y se secó en el horno y por último se determinó la pérdida de material que se pasó por el tamiz No 16, este valor es expresado en porcentaje del total de la muestra original.

Caracterización de la arcilla mediante los siguientes ensayos que se realizaron de acuerdo con la Tabla 43:

Tabla 43. *Ensayos físicos a realizar a la arcilla.*

ENSAYOS FÍSICOS A REALIZAR A LA ARCILLA	NÚMERO DE ENSAYOS
Clasificación (límites de Atterberg y humedad natural)	3
Hidrómetro	3
Peso unitario	3
Expansión de lambe	3
Contracción	3

*Fuente:* Elaboración propia.

Los ensayos químicos y mineralógicos que se le realizaron a la escoria fueron:

Análisis de contenido químico y mineral de Contenido de sílice, hierro, aluminio, titanio, sodio, potasio, manganeso y magnesio.

### ANÁLISIS METALOGRAFICO

Estos ensayos se realizaron con el siguiente laboratorio:

Nombre: Alpha 1 S.A.S.  
NIT: 900.196.109-1  
Dirección: Av. Carrera 60 No. 67A – 80, Bogotá D.C.  
Especialidades: Granulometría, Difracción de Rayos X (DRX), Fluorescencia de Rayos X (WD-XRF) Longitud de onda, Muestreo y exploración, Autenticación de reportes.  
Correo: [administrativo@alpha1.com.co](mailto:administrativo@alpha1.com.co)  
PBX: (+57 1) 2 31 35 18  
Celular: (+57 1) 313 4 54 93 61  
Página web: <https://www.alpha1.com.co/>

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Es un estudio que se utiliza para la caracterización de los materiales, este análisis estudia las características micro estructurales de metales o aleaciones las cuales están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas.

La preparación de la muestra consiste en tres pasos:

- Corte
- Descarte
- Pulido

En estos procesos lo que se busca es dejarle un acabado de espejo a la muestra para proceder a realizar los dos procesos el ataque químico y analizar la muestra en el microscopio (Metalinspec, 2019).

La difracción de rayos X (XRD) es un procedimiento que permite rápidamente la identificación de materiales particulados en arcillas y otros minerales proporciona información detallada de la estructura cristalográfica de la muestra que se utiliza para identificar las fases presentes, este proceso es útil específicamente para la identificación de las fases del grano fino que son difíciles de identificar en otros métodos.

Este procedimiento se utilizó para determinar conjuntos de minerales en masa de rocas, arcillas, menas, macropartículas y productos metalúrgicos. Proporciona un método semicuantitativo para determinar los porcentajes normativos incluyendo la fracción de cada fase mineral contenida en su muestra (SGS Colombia S.A.S, 2020).

### **ANÁLISIS XRD CUALITATIVO**

Todas las fases identificadas por los análisis XRD se reportan y se agrupan en cantidades grandes (>30.0%), moderadas (10-30%), pequeñas (2.0%-10.0%) y mínimas (<2.0%). La identificación y la clasificación de las concentraciones se basan en las alturas máximas relativas y en la estructura cristalina del mineral.

### **ANÁLISIS XRD SEMICUANTITATIVO**

Todos los minerales identificados por análisis de difracción de rayos X se reportan y se agrupan en cantidades grandes (>30.0%), moderadas (10.0%-30.0%), pequeñas (2.0%-10.0%) y mínimas (<2.0%). Además, las concentraciones de minerales (en % de peso) generadas por los análisis XRD RIR (o Rietveld) se combinan con un análisis integral de la roca y se presentan en informes.

### **ESPECIACIÓN DE MINERALES**

El análisis XRD puede determinar las fases de minerales específicos presentes en una muestra. SGS provee análisis especializados de especiación para determinar:

- Mineralogía de la arcilla.
- Sílice libre frente a sílice respirable.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Alpha 1 S.A.S., realizó los siguientes análisis:

Análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva. Se realizó un barrido exploratorio y se cuantificó cada elemento detectado.

Análisis cuantitativo Rietveld por difracción de rayos X de materiales para obtener las fases mineralógicas correspondientes.

**Fase 2 Plan de dosificación:** Se realizó una dosificación de la escoria de acería y se pasó por los tamices analizados para tener una distribución y así poder analizar su comportamiento en el terreno natural al ser mezclado con la escoria.

**Fase 3 Ensayos de laboratorio:** En campo se realizaron los ensayos de CBR, compresión encofinada, para determinar el comportamiento de la sub-rasante arcillosa con la escoria de acería.

**Fase 4 Análisis de resultados y conclusiones:** Después de realizar los ensayos de laboratorio de acuerdo con la norma, se hicieron los análisis de los resultados arrojados en la mezcla de la sub-rasante con la escoria de acería y se determinó, si la escoria de acería sirve como estabilizante y que mejoras le produjeron al terreno para de aquella manera y por medio del ensayo de CBR observar su comportamiento.

La Tabla 44 y Tabla 45, presentan los materiales y ensayos que se realizaron.

Tabla 44. *Materiales que se emplearon en el estudio.*

MATERIAL	TIPO	ORIGEN
Sub-rasante natural	Arcillosa	Nemocón Cundinamarca
Escoria	Acería	Gerdau Diaco

*Fuente:* Elaboración propia.

### Población y muestra

Tabla 45. *Ensayos realizados a la mezcla.*

POBLACIÓN Y MUESTRA			
TIPO DE ENSAYO	PORCENTAJE ADICIONAR	NORMA DE REFERENCIA	NÚMERO DE ENSAYOS
CBR método 1 (sub-rasante con escoria)	50%	I.N.V. E-148	5

*Fuente:* Elaboración propia.

### 8.3 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN:

Para el estudio de la investigación sobre la adición de escoria de acería como mejoramiento de suelos naturales, se realizó principalmente la revisión bibliográfica, análisis de documentos sobre investigaciones que abarcan el tema sobre la escoria en Colombia y en otros países, todo ello con el fin de poder

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

observar cómo se comportó la adición de escoria a sub-rasantes en los suelos naturales y poderlas medir por medio de un CBR en los tramos prueba, la presentación de la información con base en los resultados obtenidos, se ilustra mediante gráficos de capacidad de carga del suelo ya tratado, se dan los resultados cuantitativos para demostrar que la información obtenida con base a los datos cualitativos es la más óptima para que sea efectiva la investigación.

### 8.4 TRAMOS DE PRUEBA

La planta de GERDAU DIACO donde se hace el proceso de fundición de la chatarra se encuentra ubicada en el Municipio de Tuta en el Departamento de Boyacá, los tramos de prueba se hicieron en el municipio de Nemocón Cundinamarca donde se realizaron los ensayos en campo para determinar en qué porcentaje se mejora el suelo en su capacidad portante para el tráfico vehicular.

En la Fotografía 16, Fotografía 17, Fotografía 18, Fotografía 19, Fotografía 20, Fotografía 21, Fotografía 22, Fotografía 23, Fotografía 24, Fotografía 25, Fotografía 26 y Fotografía 27, se presenta la planta de Gerdau Diaco, acería que ha proporcionado la escoria.

Fotografía 16. *Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 17. Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 18. Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 19. *Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).*



*Fuente:* Elaboración propia.

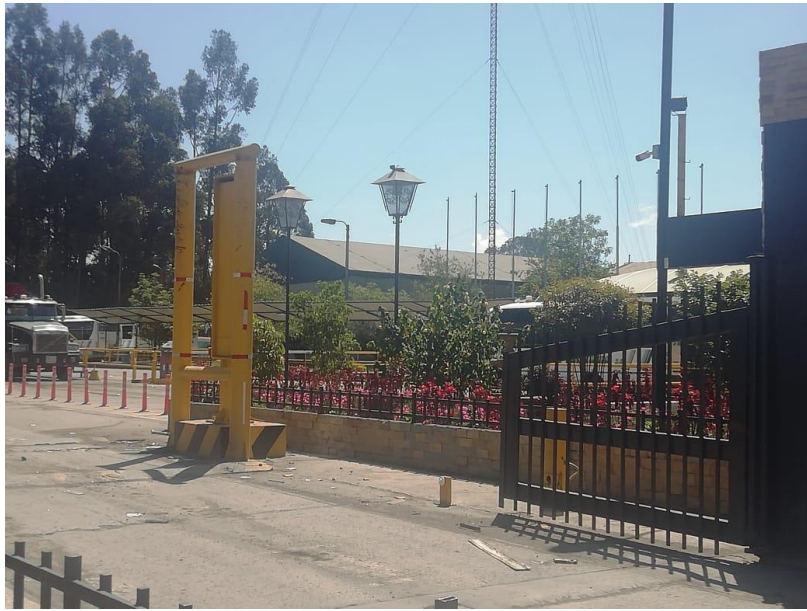
Fotografía 20. *Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 21. *Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 22. *Entrada a la planta GERDAU DIACO en el Municipio de Tuta (Boyacá).*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 23. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 24. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 25. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 26. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 27. Acopio de escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá).



*Fuente:* Elaboración propia.

En la Fotografía 28, Fotografía 29, Fotografía 30 y Fotografía 31 se evidencia la recolección de la escoria y posterior salida de la planta de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta (Boyacá) hacia los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón (Cundinamarca).

Fotografía 28. Carga de la escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba.



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 29. Carga de la escoria en el patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba.



*Fuente:* Elaboración propia.

Para la elaboración de los tramos de prueba se solicitaron dos (2) viajes de escoria cuyo peso se estima en 22.54 Toneladas.

Fotografía 30. Salida de la escoria del patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba.



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 31. Salida de la escoria del patio de Gerdau Diaco, planta en el Municipio de Tuta (Boyacá), para transportarla a los tramos de prueba.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron dos (2) tramos de prueba, el Tramo 1 se elaboró compactando de manera manual con un vibro compactador tipo canguro y el Tramo 2 se construyó con la ayuda de retroexcavadora y rodillo compactador, a estos tramos se le tomaron las muestras para los ensayos de CBR naturales y modificados con la escoria, con el fin de observar los resultados obtenidos del terreno natural y su comparación con el terreno estabilizado con escoria, se tuvo en cuenta el flujo vehicular que transita a diario en este sector de Flores el Futuro en el Municipio de Nemocón.

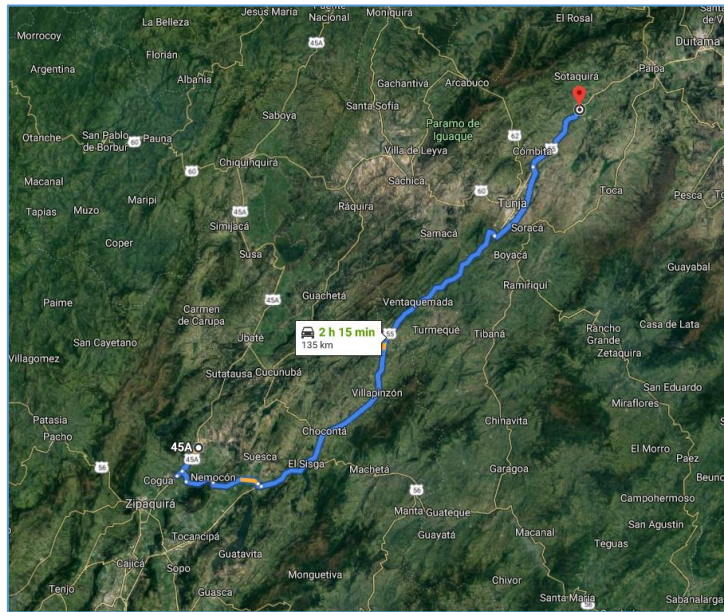
En la Figura 23, se observa la ruta del sitio de recogida del material en el Municipio de Tuta – Boyacá hasta el tramo de prueba en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca, en un recorrido de 135 Km en un tiempo aproximado de 2:15 horas.

Datos de la razón social del lugar donde se ubica el tramo de prueba:

Nombre: Flores el Fututo S.A.  
Dirección: Centro Comercial Centro Chía Centro Empresarial Of. 402  
NIT: 800.129.680-6.  
Actividad comercial: Cultivo y comercialización de flores de alta calidad  
Teléfono: (+57 1) 8 84 00 49  
Celular: 3125856781

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

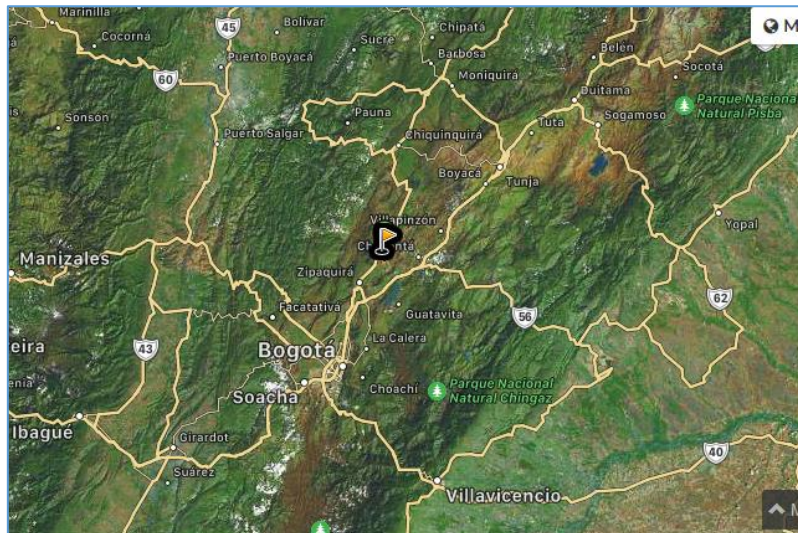
Figura 23. Ruta desde la planta de Gerdau Diaco en Tuta (Boyacá) hasta los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón (Cundinamarca).



Fuente: Wikiloc (2019).

En la Figura 24 y la Figura 25, se observa la localización general de los tramos de prueba.

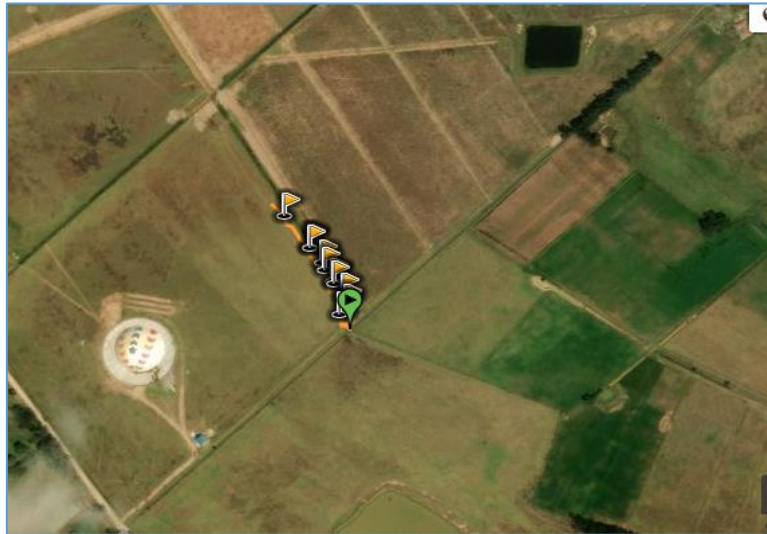
Figura 24. Localización de los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro.



Fuente: Wikiloc (2019).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 25. Localización de los tramos de prueba en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro.



Fuente: Wikiloc (2019).

En la Figura 26 se observa la localización detallada de cada tramo de prueba.

Figura 26. Localización de los tramos de prueba 1 y 2.



Fuente: Elaboración propia.

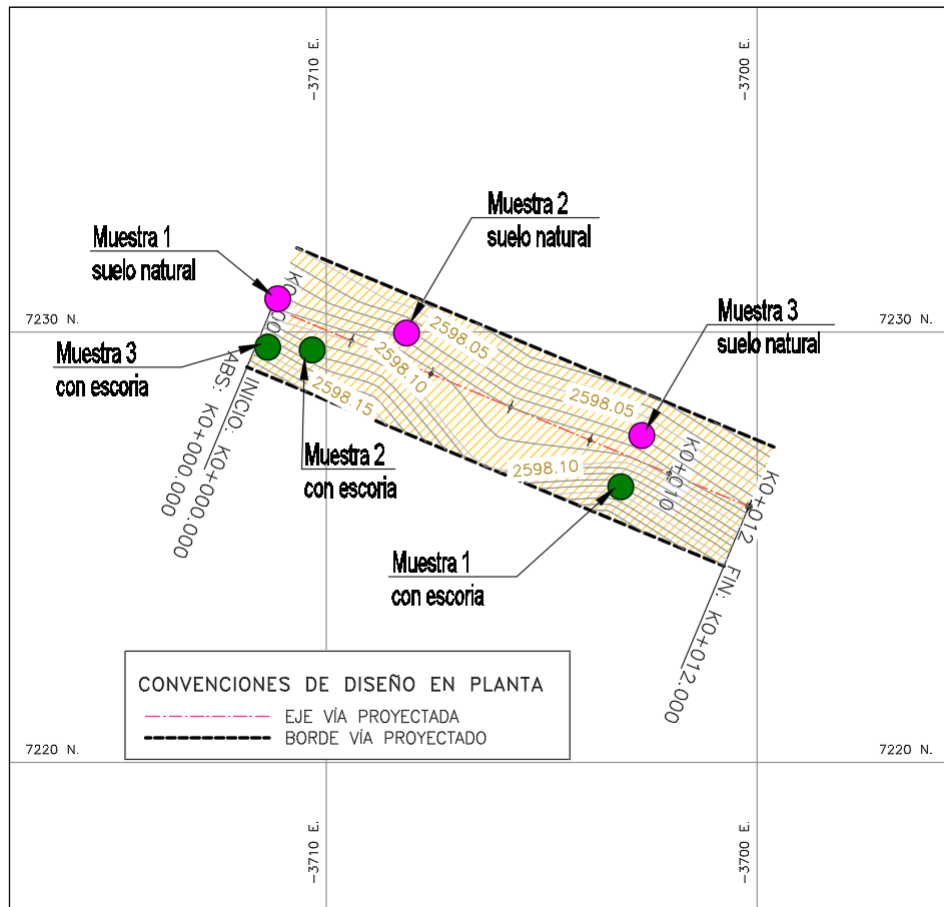
### Descripción del Tramo de Prueba 1.

El tramo de prueba 1, tiene 12 m de largo y un ancho de 3 m. Su localización se presenta en la Figura 26.

En la Figura 27 se observa la vista en planta del tramo de prueba 1 abscisado y con la localización de las muestras tomadas para los ensayos tomados en K0+000, K0+001 y K0+003.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 27. Tramo de prueba 1, vista en planta.

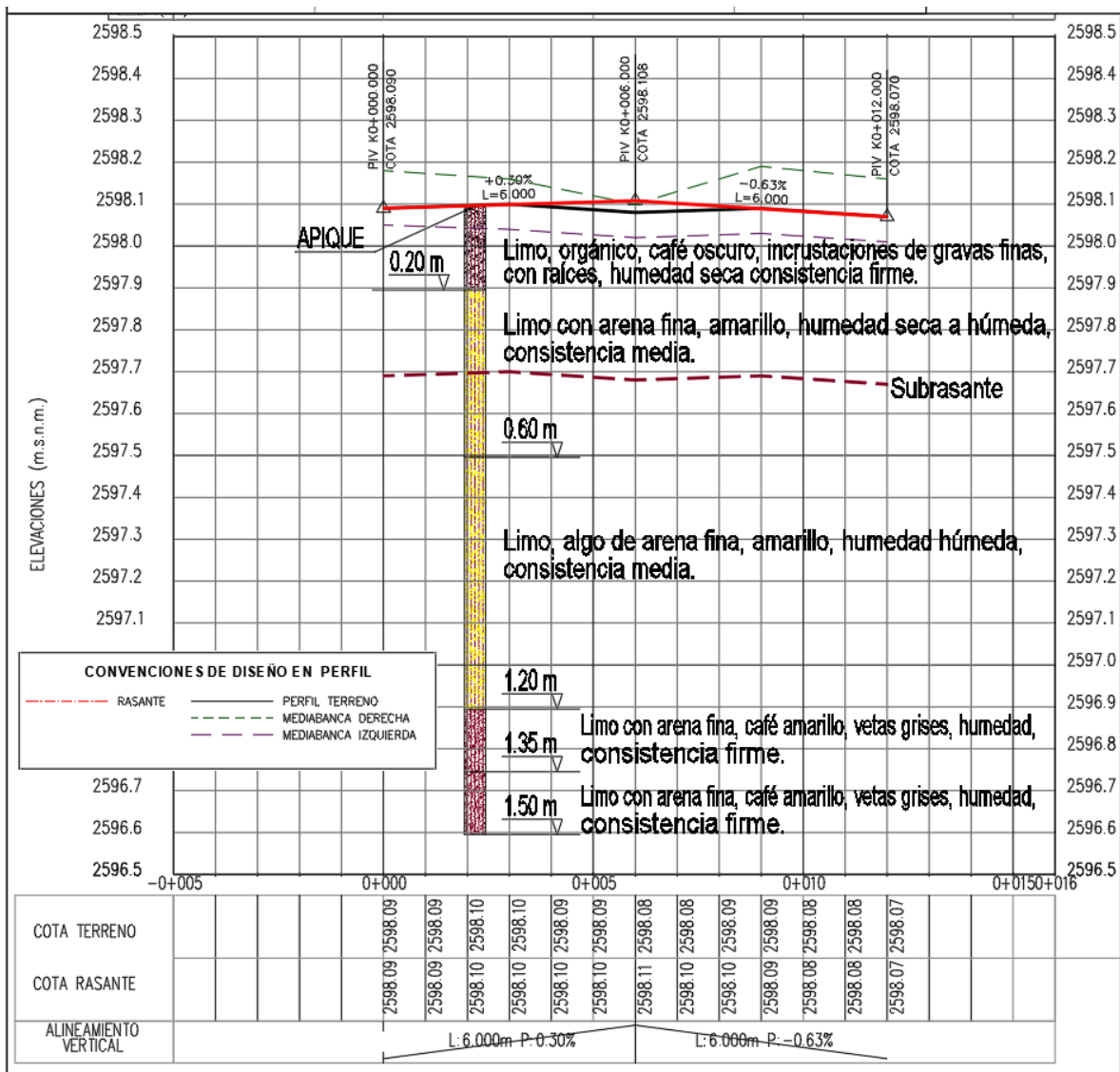


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28, se presenta la vista en perfil, la línea roja correspondiente al diseño de la rasante propuesta.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 28. Tramo de prueba 1, vista en perfil con la estratigrafía.



Fuente: Elaboración propia.

En la Fotografía 32, Fotografía 33 y Fotografía 34, se observa el tramo de prueba antes de la intervención.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 32. *Tramo de prueba 1 en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 33. *Tramo de prueba 1 en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 34. *Tramo de prueba 1 en el Municipio de Nemocón, vías de acceso a Flores el Futuro.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Se procedió a abscisar el tramo de prueba 1 como se observó en la Figura 27.

Fotografía 35. *Abscisado del tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Se realizó una nivelación de precisión en el tramo de prueba 1, para obtener un perfil del terreno y proponer un diseño geométrico de rasante como se observa en la Fotografía 36, Adicionalmente en la Tabla 46 se presenta el resultado de la nivelación.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 36. Nivelación del tramo de prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Resultado de la nivelación en el tramo de prueba 1.

ABSCISA	BORDE IZQUIERDO		EJE	BORDE DERECHO	
	DISTANCIA AL EJE	COTA		DISTANCIA AL EJE	COTA
K0+000.00	-1.50	2598.05	2598.09	1.50	2598.18
K0+003.00	-1.50	2598.04	2598.10	1.50	2598.16
K0+006.00	-1.50	2598.02	2598.08	1.50	2598.10
K0+009.00	-1.50	2598.03	2598.09	1.50	2598.19
K0+012.00	-1.50	2598.01	2598.07	1.50	2598.16

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se tomaron las respectivas muestras en el terreno natural para los ensayos propuestos.

En el tramo de prueba 1 vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca se tomaron las muestras para los ensayos que se anexan al final del anteproyecto, que corresponden a:

- Ensayo de CBR inalterado.
- Contenido de materia orgánica.
- Descripción del suelo.
- Ensayo de clasificación y límites.

En la Fotografía 37, Fotografía 38, Fotografía 39, Fotografía 40, Fotografía 41, Fotografía 42 y Fotografía 43, se presenta la toma de muestras en el tramo de prueba en el suelo natural.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 37. Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 38. Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 39. Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 40. Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

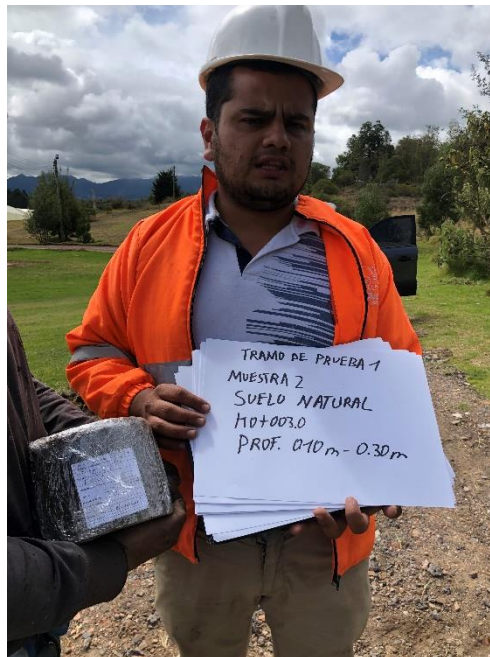
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 41. Toma de muestras en el tramo de prueba 1, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 42. Toma de muestras del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra 2.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 43. Toma de muestras del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra 3.



*Fuente:* Elaboración propia.

Continuando con el proceso constructivo del tramo de prueba 1, se excavaron 40 cm del suelo existente en el sector donde se encuentra el nivel de subrasante, el material removido se mezcló con la escoria en una proporción de 50 – 50 (es decir 50% del material excavado y 50% de escoria de Gerdau Diaco).

En la Fotografía 44, Fotografía 45, Fotografía 46, Fotografía 47 y Fotografía 48 se muestra el proceso de excavación y mezcla del suelo natural con la escoria de acería.

Fotografía 44. Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 45. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 46. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 47. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 48. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

El siguiente paso, fue el de compactar el terreno ya con la escoria instalada. Como ya se mencionó esta etapa se realizó con ayuda de un vibro compactador tipo canguro.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

En la Fotografía 49, Fotografía 50, Fotografía 51, Fotografía 52, Fotografía 53 y Fotografía 54 se presenta la actividad de compactación.

Fotografía 49. *Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 50. *Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 51. *Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 52. *Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 53. *Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 54. *Proceso de compactación del terreno en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Ya con el terreno debidamente compactado, se toman las muestras del terreno con la adición de la escoria, para los ensayos de CBR. Lo anterior para realizar las comparaciones del terreno en estado natural vs el comportamiento del terreno con la adición de la escoria.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

En la Fotografía 55, Fotografía 56, Fotografía 57, Fotografía 58, Fotografía 59, Fotografía 60, Fotografía 61, Fotografía 62, Fotografía 63 y Fotografía 64, se presenta la evidencia de la toma de muestras mencionadas en el párrafo anterior.

Fotografía 55. *Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 56. *Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 57. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 58. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 59. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 1.



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 60. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1.



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 61. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 2.



Fuente: Elaboración propia.

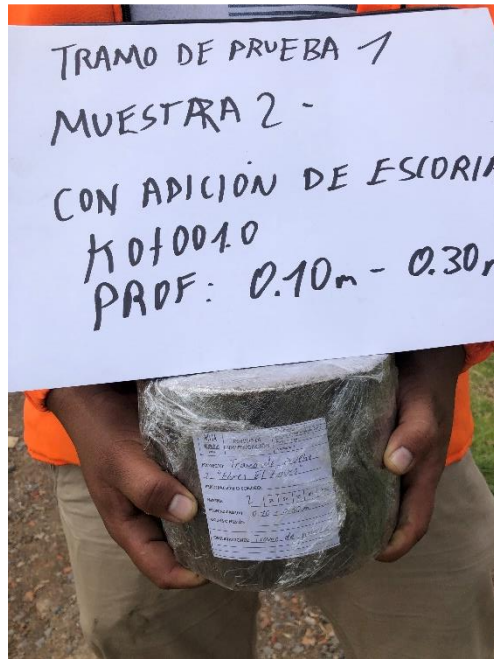
Fotografía 62. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 2.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 63. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 2.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 64. Toma de muestras en el terreno con adición de escoria en el tramo de prueba 1, muestra 3.



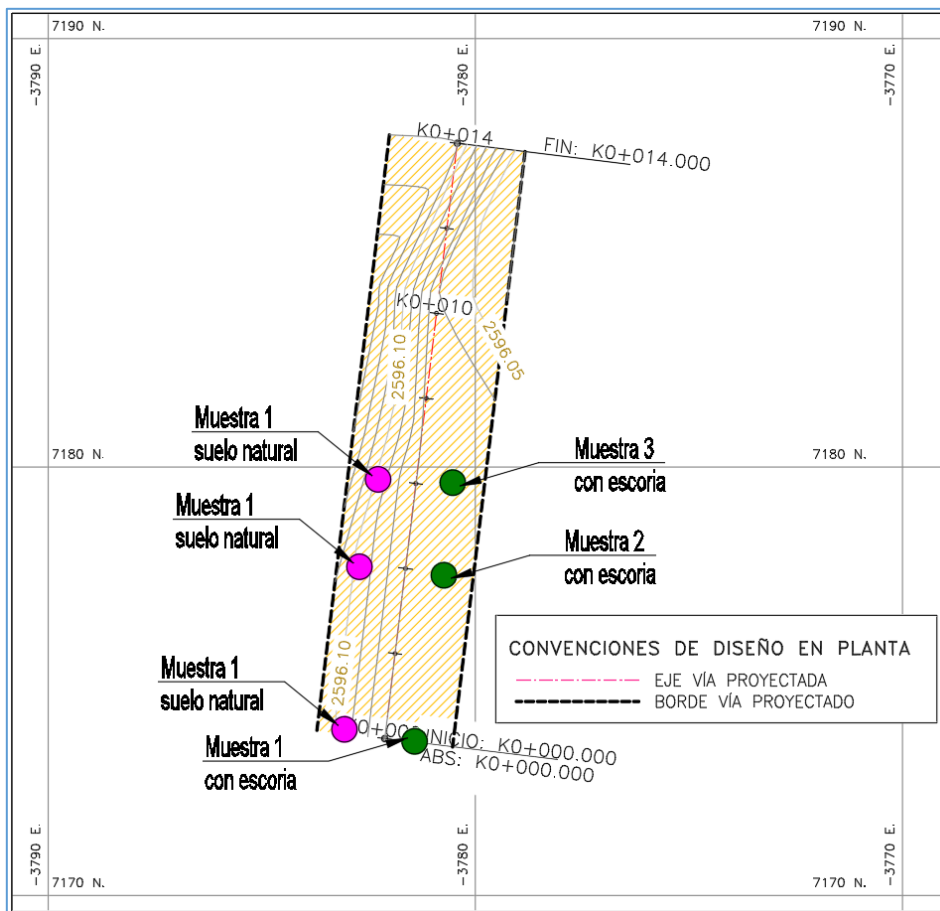
Fuente: Elaboración propia.

### Descripción del Tramo de Prueba 2.

El tramo de prueba 2, tiene 14 m de largo y un ancho de 3.2 m. Su localización se presenta en la Figura 26.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

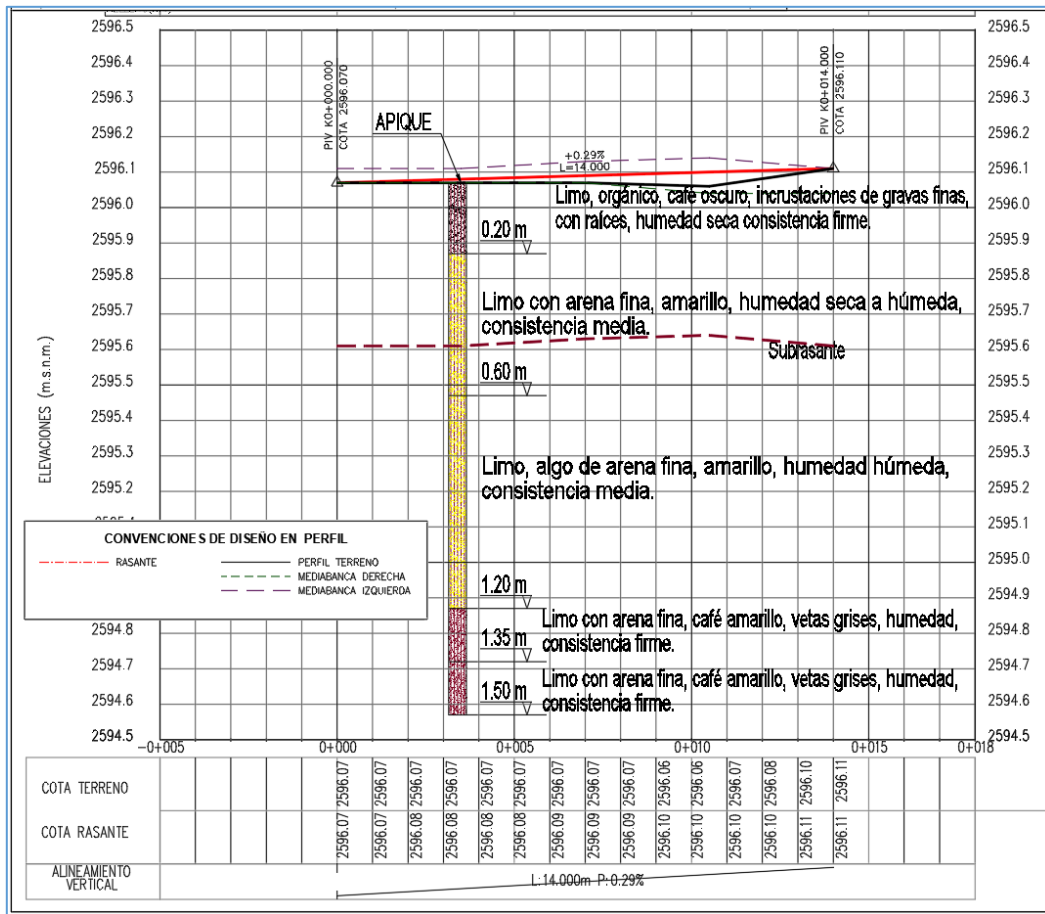
Figura 29. Tramo de prueba 2, vista en planta.



Fuente: Elaboración propia.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 30. Tramo de prueba 2, vista en perfil con la estratigrafía.



Fuente: Elaboración propia.

En la Fotografía 65, Fotografía 66, Fotografía 67 y Fotografía 68, se presenta la actividad de descarga de la escoria en el tramo de prueba 2, Adicionalmente se observa el estado actual de la vía.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 65. Descarga de la escoria de Gerdau Diaco en el tramo de prueba 2.



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 66. Descarga de la escoria de Gerdau Diaco en el tramo de prueba 2.



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 67. Material descargado en el sector del tramo de prueba 2.



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 68. Estado del tramo de prueba 2, antes de la intervención.



*Fuente:* Elaboración propia.

Se abscisó el tramo de prueba para la localización de las muestras a tomar.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 69. *Abscisado del tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 70. *Abscisado del tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Se realizó una nivelación de precisión en el tramo de prueba 2, para obtener un perfil del terreno y proponer un diseño geométrico de rasante como se observa en la Fotografía 71, Fotografía 72 y Fotografía 73, Adicionalmente en la Tabla 47 se presenta el resultado de la nivelación.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 71. Nivelación del tramo de prueba 2.



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 72. Nivelación del tramo de prueba 2.



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 73. Nivelación del tramo de prueba 2.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Resultado de la nivelación en el tramo de prueba 2.

ABSCISA	BORDE IZQUIERDO		EJE	BORDE DERECHO	
	DISTANCIA AL EJE	COTA		DISTANCIA AL EJE	COTA
K0+000.00	-1.60	2596.11	2596.07	1.60	2596.07
K0+003.50	-1.60	2596.11	2596.07	1.60	2596.07
K0+007.00	-1.60	2596.13	2596.07	1.60	2596.07
K0+010.50	-1.60	2596.14	2596.06	1.60	2596.04
K0+014.00	-1.60	2596.11	2596.11	1.60	2596.04

Fuente: Elaboración propia.

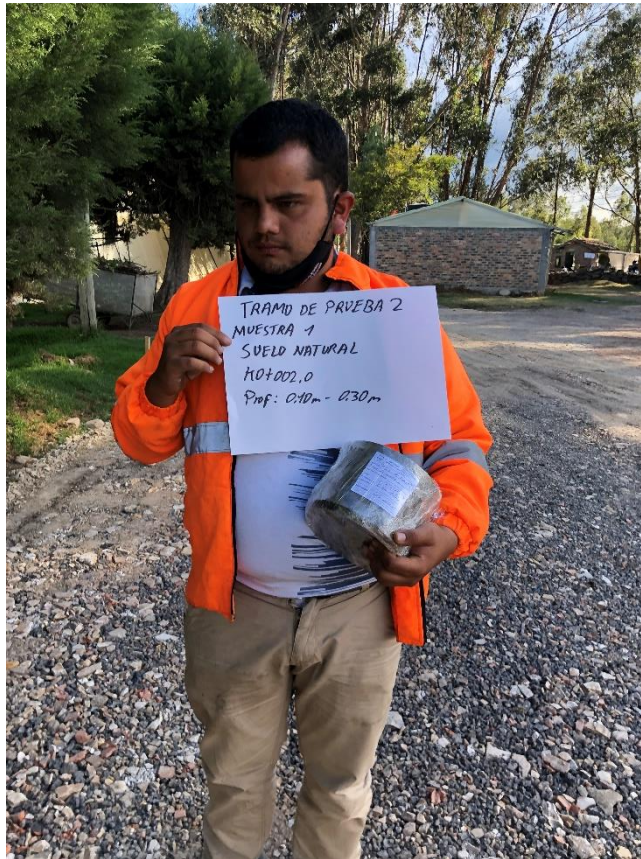
En el tramo de prueba 2 vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca se tomaron las muestras para los ensayos que se anexan al final del anteproyecto, que corresponden a:

- Ensayo de CBR inalterado.
- Contenido de materia orgánica.
- Descripción del suelo.
- Ensayo de clasificación y límites.

En la Fotografía 74, Fotografía 75 y Fotografía 76, se presenta la toma de muestras en el tramo de prueba en el suelo natural.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 74. Toma de muestras en el tramo de prueba 2, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 75. Toma de muestras en el tramo de prueba 2, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 76. Toma de muestras en el tramo de prueba 2, vías de acceso a Flores el Futuro, en el Municipio de Nemocón – Cundinamarca.



Fuente: Elaboración propia.

Como ya se mencionó en el tramo de prueba 2, se utilizaron una retroexcavadora John Deere y un compactador de rodillo Benitin. En la Figura 31 y Figura 32, se presentan las fichas técnicas de los equipos mencionados.

Figura 31. Especificaciones de la retroexcavadora John Deere, utilizada en la implementación del tramo de prueba 2.

310L ESPECIFICACIONES	
<b>Motor</b>	<b>310L</b>
Fabricante y modelo	John Deere PowerTech™ E 4045HT085 turbocargado, específico para cada país, recomendado para aplicaciones de gran altitud
Estándar de emisiones para motores no usados en vehículos de carretera	Tier 3 (EPA)/Fase IIIA (UE)
Cilindrada	4,5 l (276 pulg. <sup>3</sup> )
Potencia máxima neta (ISO 9249)	68 kW (91 hp) a 2 250 rpm
Par motor máximo neto (ISO 9249)	380 Nm (280 lb. por pie) a 1 400 rpm
Aumento neto del par motor	37%
Lubricación	Sistema de presión con filtro enroscable y enfriador
Limpiador de aire	De etapa dual y tipo seco, con elemento de seguridad y válvula de evacuación
<b>Enfriamiento</b>	
Tipo de ventilador	Ventilador de refrigeración estándar de tipo de succión, controlado por temperatura (viscoso) con ventilador de velocidad variable opcional
Calificación del refrigerante del motor	-40°C (-40°F)
Enfriador del aceite de motor	Aceite a agua
<b>Tren de potencia</b>	

Fuente: John Deere.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 32. Especificaciones del rodillo compactador, utilizado en la implementación del tramo de prueba 2.



**Venta de Rodillo Compactador Benitin**

A continuación se especifica las características técnicas del producto [Rodillo Compactador Benitin FLY800].

**Ficha Técnica del Producto**

- » Velocidad: 0 a 4 Km/hora
- » Capacidad de escala: 30%
- » Carga Lineal Estática: 55N/CM
- » Frecuencia Vibración: 70HZ
- » Fuerza Excitante: 20 KN
- » Potencia: 9 HP
- » Tamaño de rueda: 350x635mmx2
- » Accionamiento: Hidráulico
- » Control de Vibración: Embrague Electromagnético

INGERCOL

Fuente: INGERCOL.

Fotografía 77. Retroexcavadora John Deere, utilizada en la implementación del tramo de prueba 2.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 78. Retroexcavadora John Deere, utilizada en la implementación del tramo de prueba 2.



*Fuente:* Elaboración propia.

Continuando con el proceso constructivo del tramo de prueba 2, se excavaron 40 cm del suelo existente en el sector donde se encuentra el nivel de subrasante, el material removido se mezcló con la escoria en una proporción de 50 – 50 (es decir 50% del material excavado y 50% de escoria de Gerdau Diaco).

En la Fotografía 79, Fotografía 80, Fotografía 81, Fotografía 82, Fotografía 83, Fotografía 84, Fotografía 85, Fotografía 86 y Fotografía 87, se observa el proceso de excavación de la subrasante de la vía y posterior mezcla con la escoria.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 79. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 80. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 81. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 82. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 83. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 84. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 85. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 86. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 87. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, en su capa final.*



Fuente: *Elaboración propia.*

Luego de instalarse la mezcla, sigue la etapa de compactación donde se utiliza el equipo mencionado anteriormente (compactador Benitín), como se observa en la Fotografía 88, Fotografía 89, Fotografía 90 y Fotografía 91.

Fotografía 88. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.*



Fuente: *Elaboración propia.*

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 89. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Fotografía 90. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 91. *Excavación y mezcla del suelo extraído con la escoria de acería en el tramo de prueba 2, utilización del compactador.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Posterior a la compactación, se realiza la toma de las muestras del suelo alterado con la escoria, como se presenta en la Fotografía 92, Fotografía 93, Fotografía 94 y Fotografía 95.

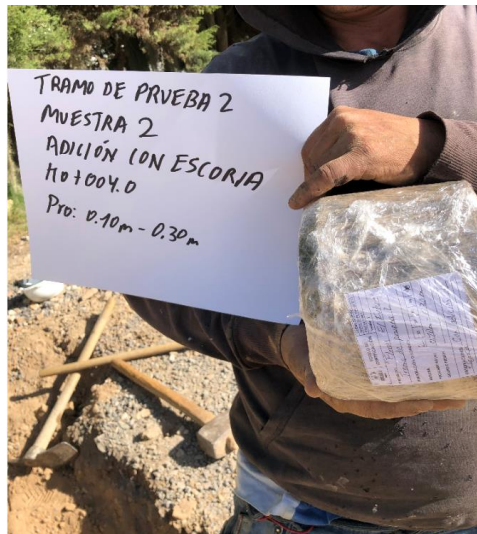
Fotografía 92. *Toma de la muestra 1 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.*



*Fuente:* Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 93. Toma de la muestra 2 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.



Fuente: Elaboración propia.

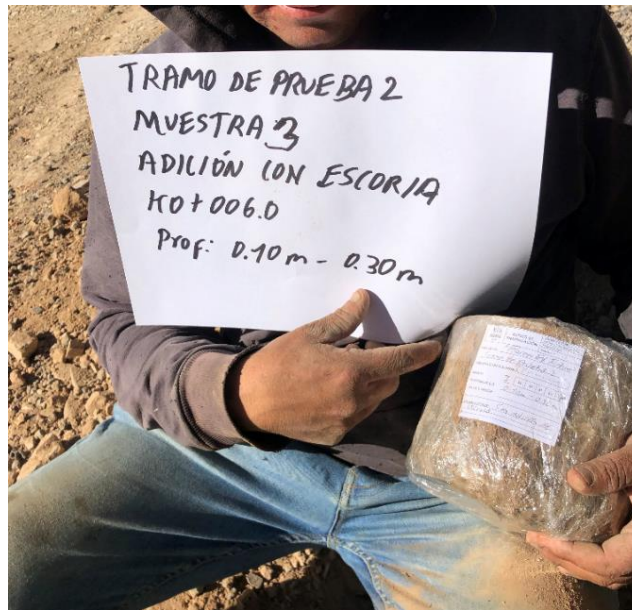
Fotografía 94. Toma de la muestra 3 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.



Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 95. Toma de la muestra 3 del suelo alterado con la escoria, en el tramo de prueba 2.



Fuente: Elaboración propia.

Se toma como vehículo de diseño el C3 teniendo en cuenta que este tipo de vehículo es el que más transita en las vías terciarias, Adicionalmente se tienen en cuenta las consideraciones de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella del INVÍAS, ya que este tipo de vías son las más viables y construidas en el mejoramiento de la red vial terciaria a dónde se quiere aplicar el proyecto “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA DE GERDAU DIACO COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO DE NEMOCÓN”.

De la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella del INVÍAS, se extrae del Capítulo 1 en su numeral **c) El tránsito**, el siguiente concepto: “Lo relevante es la selección del Vehículo de Diseño puesto que de él depende el peso y configuración del eje de referencia y la adecuación geométrica que se le debe construir a la vía para que dicho vehículo pueda circular adecuadamente.

Para el tipo de vías en las que se construirían pavimentos con placa-huella y dado el alto costo por kilómetro que demanda este tipo de solución lo mínimo razonable sería adoptar como vehículo de diseño el camión C-2 con un eje trasero sencillo de once (11) toneladas.

La adecuación geométrica requerida por la vía para que pueda circular un camión C-2 consiste básicamente en el sobreancho en las curvas de deflexión grande y radio pequeño. Tal adecuación sería la misma que la requerida por un camión C-3 puesto que su longitud respecto al camión C-2 difiere en tan solo cuarenta centímetros aproximadamente. Si por la vía ya adecuada geométricamente y con el pavimento con placa-huella puede circular un camión C-2 también lo podría hacer un camión C-3” (Guía de diseño de pavimentos con placa – huella, [INVÍAS] 2015).

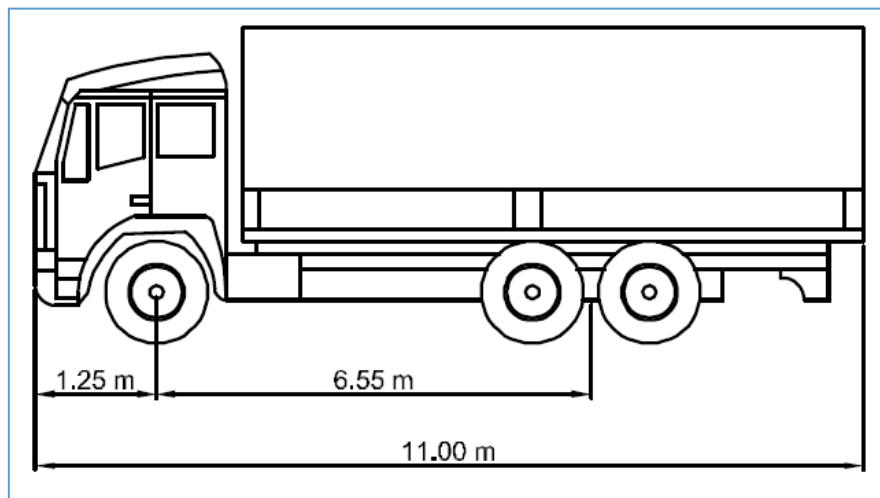
Lo anterior quiere decir que el camión tipo C2 tiene las dimensiones similares a las de camión de tipo C3 en cuanto a su longitud y pueden circular en una vía

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

terciaria sin ningún inconveniente. La gran diferencia entre estos dos (2) tipos de vehículos está en el eje tándem de 22 toneladas del camión C3 contra el camión C2 cuyo eje trasero sencillo de 11 toneladas.

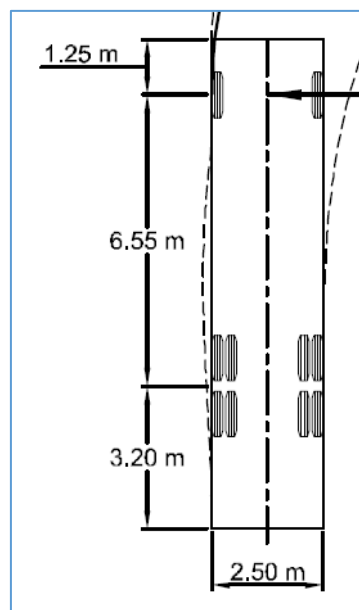
En la Figura 33 y Figura 34, se muestra el camión de diseño tipo C3. En la Figura 35 y Figura 36, se observa el camión de diseño tipo C2, figuras tomadas del manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS, donde se confirma lo mencionado en el párrafo anterior, en cuanto a la similitud de las dimensiones de estos tipos de vehículos (Guía de diseño de pavimentos con placa – huella, [INVÍAS] 2015).

Figura 33. Camión de diseño Tipo C3, vista en corte.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Capítulo 2, Controles para el Diseño Geométrico. INVÍAS.

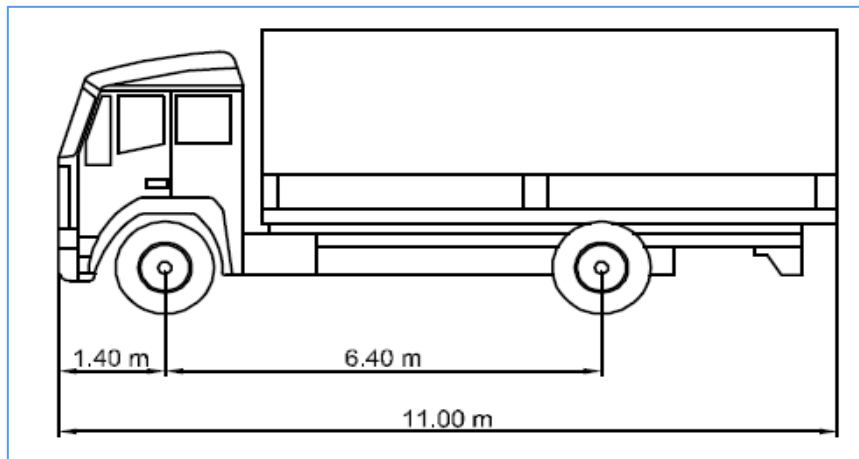
Figura 34. Camión de diseño Tipo C3, vista superior.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Capítulo 2, Controles para el Diseño Geométrico. INVÍAS.

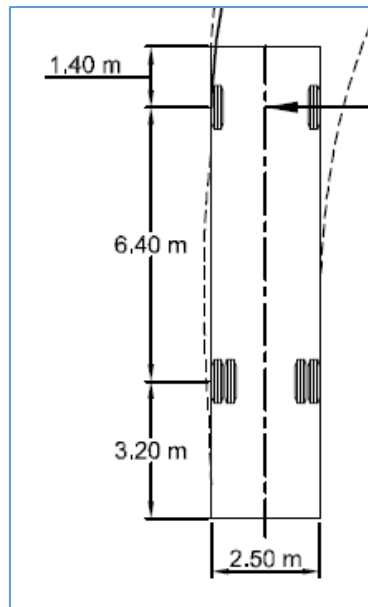
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 35. Camión de diseño Tipo C2, vista en corte.



Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Capítulo 2, Controles para el Diseño Geométrico. INVÍAS.

Figura 36. Camión de diseño Tipo C2, vista superior.

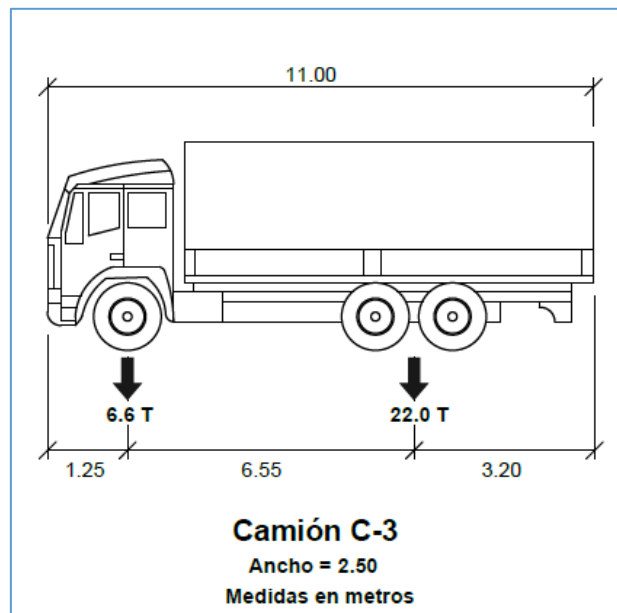


Fuente: Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Capítulo 2, Controles para el Diseño Geométrico. INVÍAS.

También del capítulo 1 en el numeral **h) Resistencia del concreto**, considera en el sub numeral **1.3 Vehículo de diseño** lo siguiente: “Tomando en consideración que la vía una vez pavimentada debe permitir la circulación de los camiones que transporten los productos agropecuarios, forestales, mineros o industriales que se extraigan o fabriquen en la zona se ha adoptado como vehículo de diseño el camión C-3. En la Figura 1.1 se ilustran las dimensiones y pesos por eje de dicho camión” (Guía de diseño de pavimentos con placa – huella, [INVÍAS] 2015).

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 37. Pesos y dimensiones del vehículo de diseño – C3 (Mintransporte, 2004).



Fuente: Figura 1.1 de la Guía de diseño de pavimentos con placa – huella, [INVÍAS] (2015).

## 9. ESTUDIO DE TRÁNSITO

Este estudio se realiza para estimar el nivel de tránsito que soportan las vías de circulación de la Floristería El Futuro en el municipio de Nemocón, dónde se realizaron los ensayos de resistencia de subrasante.

Las vías de circulación analizadas, únicamente sirven a los flujos de vehículos y maquinaria que sirve al cultivo de flores de la Floristería El Futuro, en la cual se desarrollan a diario actividades varias relacionadas con el transporte de empleados, visitantes, maquinaria agrícola, transporte de insumos, materiales, equipos, de los productos de cultivo, entre otros.

Por lo anterior, se realiza el siguiente estudio de tránsito el cual sirve de base para determinar las características de demanda sobre las vías de estudio.

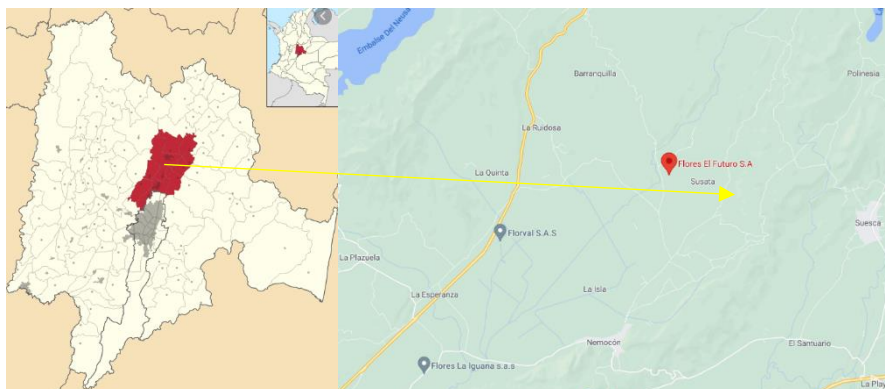
Como objetivo principal, el Estudio de Tránsito es realizado con el propósito de estimar de manera aproximada el tránsito que soportarán los tramos de prueba en un período de 10 y 20 años, de tal manera que dicho valor sea empleado en diversos análisis como estructurales, económicos y de operación.

También se trazaron los objetivos específicos como:

- Revisar y exponer las generalidades de la producción de flores.
- Determinar el tránsito promedio diario (TPD) a partir de información primaria y secundaria.
- Valorar las estimaciones y proyecciones del tránsito vehicular.
- Realizar la estimación del tránsito de diseño con base a los parámetros establecidos por normas INVIAS.

La floristería El Futuro, se encuentra en el municipio de Nemocón, en el departamento de Cundinamarca, situado aproximadamente a 80 Km de la Capital del país. Este municipio se encuentra a una altura de 2.585 msnm en la cordillera Oriental, siendo la mayor parte del territorio de clima frío, con una temperatura media anual de 12,8 °C. La precipitación media anual 629.7 mm, y un número promedio mensual de días con precipitación de 153 al año. El periodo más lluvioso va de septiembre a diciembre y el más seco de diciembre a marzo (Alcaldía de Nemocón, 2021).

Figura 38. Localización general de la zona de estudio.



Fuente: Google earth.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

El Municipio de Nemocón cuenta con una extensión de 9.836 hectáreas, que en su mayoría corresponden al suelo rural, el cual se usa principalmente en agricultura, ganadería, floricultura y minería. Existen diversos usos que se le dan a la tierra, entre los cuales el más significativo es el uso pecuario, seguido por el uso forestal, de recreo y paisaje; en menor escala existen cultivos de floricultura con fines de exportación.

En cuanto a la economía del municipio están establecidas 20 empresas floricultoras que, junto con las fincas ganaderas, la explotación minera, la producción de ladrillo y la económica informal, representan las principales actividades del municipio en esta materia.

Las empresas floricultoras, especialmente en temporada, tienen un flujo continuo de comercio de exportación, las cuales aumentan de manera importante durante los meses dónde se desarrolla el día de la madre y el día de San Valentín en Estados Unidos.

Nemocón tiene una producción agrícola de 871 toneladas anuales. Cuenta con 45 hectáreas de cultivo de papa, 30 Ha de cultivo de arveja, 59 Ha de maíz forrajero, y en mayor cantidad, los cultivos de flores representan gran parte de producción agrícola con 400 hectáreas sembradas (Plan de desarrollo municipal 2016-2019), cuyo rendimiento se estima alrededor de 30 toneladas/Ha (Departamento nacional de Planeación [DNP], 2019).

Este análisis plantea la estimación de la demanda de tránsito de las vías de acceso interno a la floristería El Futuro en el marco del presente trabajo de grado.

Figura 39. *Floristería el Futuro en Nemocón.*



Fuente: Google maps

## 9.1 ENFOQUE Y METODOLOGÍA UTILIZADA

La determinación del tránsito de diseño requiere de la información básica de campo y la determinación de factores dependientes del tipo de actividades y de la configuración de vehículos y aspectos económicos y de usos de suelo que se abordaran a continuación.

### 9.1.1 Enfoque

Se identifican cinco etapas empleadas en el desarrollo del presente estudio:

En la primera etapa se realiza el acopio y análisis de la información existente relacionada con el objeto del estudio.

En la segunda etapa, y mediante información secundaria, se reconocen las características físicas del uso del suelo y del cultivo de flores.

La tercera etapa corresponde a la apropiación de la información con fines de estimación del tráfico para el diseño.

La cuarta etapa corresponde a la tabulación de la información obtenida y la elaboración de los cálculos necesarios para establecer el TPDA y su proyección al año horizonte del proyecto.

La quinta etapa corresponde al cálculo de los tránsitos promedio diarios y número de ejes equivalentes con su respectiva proyección y evaluación de las cargas transitadas.

## 9.2 METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología empleada para llegar a la estimación del tránsito de diseño, el cuál será un componente en el dimensionamiento de estructural del proyecto.

### 9.2.1 Recopilación de información existente

Se partió de la recolección de información existente de tránsito en la zona de influencia dónde se tomó el registro de unidades que arribaron durante los trabajos de exploración del suelo. El resultado del aforo realizado se resume en el siguiente cuadro.

Tabla 48. Vehículos aforados en campo (repeticiones).

Tipo de vehículo	Cantidad
Livianos	30
Buses (Busetón)	40
Camiones C2G	10
Tractores	3

Fuente: Observaciones de campo

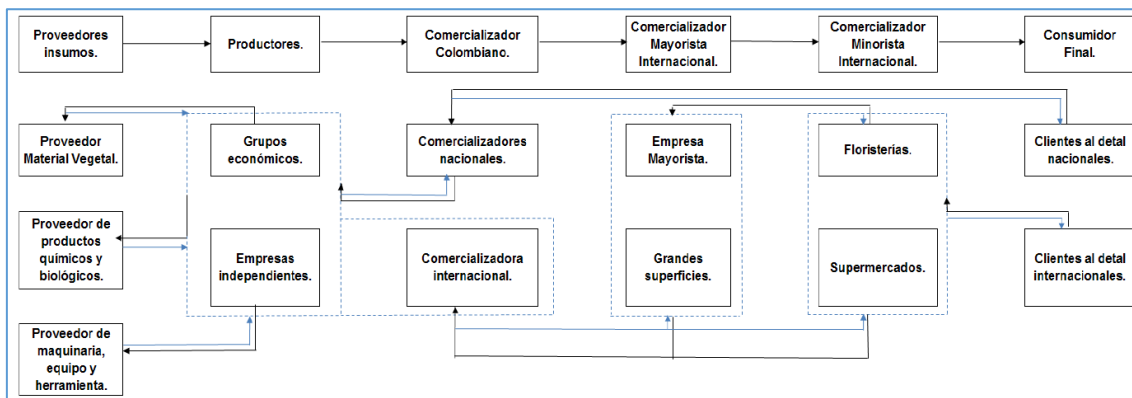
### 9.2.2 Caracterización del cultivo de flores

Debido a que los datos de control de entrada y salida de vehículos, además del flujo vehicular de maquinaria al interior de la floristería no fue de fácil acceso, hubo la necesidad de relacionar algunos datos generales de cultivo de flores que permitieran estimar, y posteriormente, construir la demanda de tráfico de las vías interiores de acceso al proyecto. A continuación, se presenta dicha caracterización.

### 9.2.3 Cadena de flores en Colombia

Según análisis sectoriales realizados por la Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la cadena de flores se encuentra compuesta por una serie de actores primarios como lo son proveedores de insumos, productores, comercializadores internos, comercializadores mayoristas internacionales, minoristas internacionales y finalmente, los consumidores finales.

Figura 40. Composición de la cadena de flores en Colombia.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2019.

Entre tanto, los reguladores de esta cadena, se encuentran compuestos por un entorno organizacional liderado por el ministerio de agricultura y desarrollo rural, ministerio de comercio, industria y turismo, Procolombia, ICA, Sena, Asocolflore, Caproflor, Grupo GEFFA, pequeños productores asociados, universidades y otros grupos de interés.

Según datos de la misma fuente, este sector representa el segundo renglón de exportaciones agrícolas del país aportando el 17.0% del impuesto de renta del agro colombiano, generando aproximadamente noventa mil empleos rurales formales directos. Complementariamente, este sector nació con enfoque de comercio internacional con el 95.0% de la producción comercializada en el exterior y representa el 75.0% de la carga aérea nacional exportada.

### 9.2.4 Indicadores de producción

A continuación, se presentan los indicadores de producción de flores del período 2015-2018 de los cuales se obtiene un rendimiento promedio de producción de toneladas por hectárea de 30 Ton/ha.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 49. *Indicadores de producción.*

<b>Área sembrada:</b>			
2015: 7.167 Has	2016: 7.714 Has	2017: 8.181 Has	2018: 8.433 Has
<b>Producción:</b>			
2015: 222.356 Ton	2016: 236.785 Ton	2017: 246.118 Ton	2018: 239.497 Ton
<b>Rendimiento Promedio:</b>			
2015: 31,0 Ton/Ha	2016: 30,7 Ton/Ha	2017: 30,1 Ton/Ha	2018: 28,4 Ton/Ha

*Fuente:* Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2018.

### 9.2.5 Floristería El futuro

La localización de esta finca se encuentra en las coordenadas 5.1195028215473775 N, -73.8604743469612 O. La actividad principal de esta floristería consiste en la producción y comercialización de flores y follajes de alta calidad, enfocada al desarrollado de una amplia gama de productos que se encuentran categorizados en Rosas Standar, Rosas Spray y Bouquets totalizando más de 45 subproductos tanto de tipo exportación como para el comercio local y nacional.

La floristería El futuro cuenta con una importante infraestructura física que se encuentra contenida en alrededor de 40 hectáreas (Google maps) de naves de invernadero que operan con cultivos escalados para atender la demanda anual de sus productos.

### 9.2.6 Logística de transporte de flores

Una vez es cortada la flor, se clasifica según el largo de su tallo y se transportan a zonas especiales que cuentan con un cuarto frío donde comienza el proceso de postcosecha. En esta parte el producto es clasificado y enviado al siguiente punto de la línea en donde se hace un control de calidad, se organizan los ramos y se empacan según el cliente final.

Una vez organizada, la flor pasa a recipientes antes de llegar al embalaje. Dependiendo del tipo de flor, se emplean cajas de distintos tamaños hasta alcanzar aproximadamente 30 unidades por viaje en camiones refrigerados que se desplazan hasta el aeropuerto. Los tipos de caja comunes para el transporte de flores son los siguientes, siendo el formato Quartas el más empleado para el mercado americano:

Tabla 50. *Cajas para el empaque de flores.*

Presentación	Dimensiones
Formato Jumbo	1200mm x 320mm x 320mm

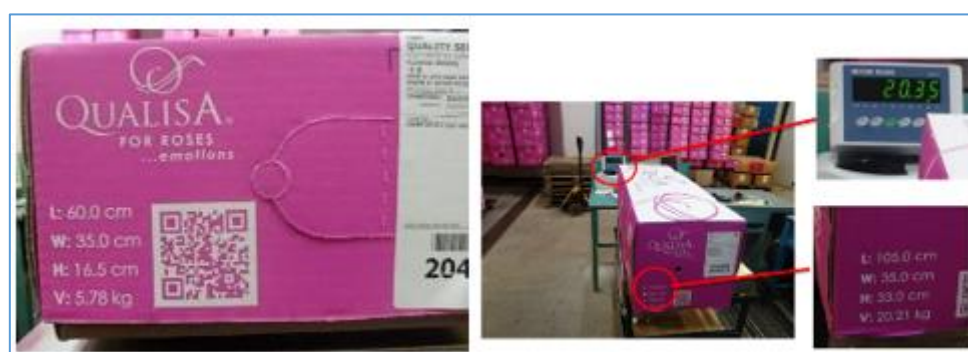
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Presentación	Dimensiones
Formato Full	1050mm x 125mm x 125mm
Formato Tabaco	1050mm x 250mm x 250mm
Formato Quartas	900mm x 250mm x 160mm

*Fuente:* Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2018.

En cuanto al peso, se cuenta con información de dos (2) tipos de empaque de la empresa Qualisa, de Ecuador, cuya actividad es la exportación de flores.

Figura 41. Tipos de cajas para empaques de flores.



*Fuente:* Flores Qualisa, Ecuador.

Finalmente, se determina el peso bruto por m<sup>3</sup> de la mercancía, estableciendo un valor aproximado de 167.3 Kg. Es importante aclarar que este dato se presenta a nivel ilustrativo dado que no es suficiente para deducir el volumen promedio que ocupan las cajas en un camión cargado.

Tabla 51. Características de empaqueo de flores para exportación.

Tamaño de Caja	Presentación 1	Presentación 2
Largo, m	1.05	0.60
Ancho, m	0.35	0.35
Alto, m	0.33	0.16
<b>Peso Kg</b>	<b>20.35</b>	<b>5.78</b>
Peso volumétrico caja + flores, kg/m <sup>3</sup>	167.80	166.81

*Fuente:* Elaboración propia.

Basados en lo anterior, se asume el peso de una caja como el promedio aritmético de las dos presentaciones señaladas en la anterior tabla; esto es 13 kg/caja.

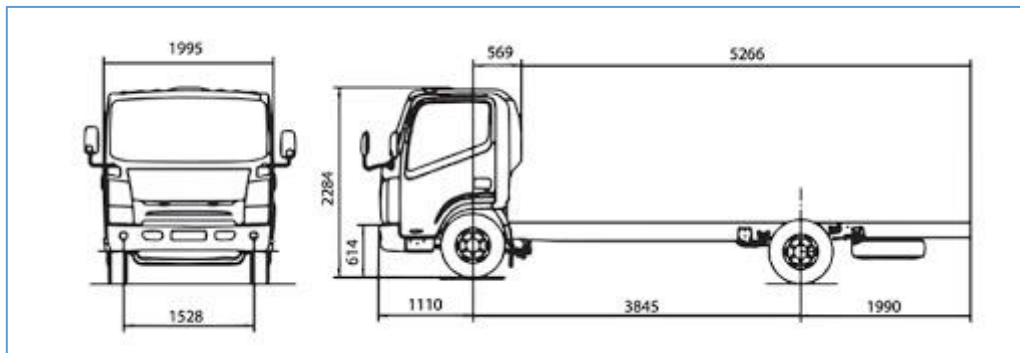
### 9.2.7 Tipologías vehiculares

Para los análisis de tránsito, se tuvo en cuenta la distribución de los vehículos consignada en la Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte, de tal forma los vehículos de dicho regulado son los siguientes:

- Automóviles: Autos, camperos, camionetas
- Buses: Buses, busetas
- Camiones:
  - 2: Camión de 2 ejes
    - 2P: Camiones de 2 ejes pequeños
    - 2G: Camiones de 2 ejes grandes
  - 3: Camión de 3 ejes
  - 2S2: Camión de 4 ejes
  - 2S3: Camión de 5 ejes
  - 3S3: Camión de más de 5 ejes

A partir de esta clasificación, se utiliza el tipo de camión C2G, el cual es correspondiente con los tipos de vehículo refrigerados que se utilizan en el transporte de los productos de la floristería El Futuro.

Figura 42. Camión tipo para el transporte de flores



Fuente: Resolución 4100 de 2004 del Ministerio de Transporte.

## 9.3 TABULACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

A partir de los datos recopilados, el presente apartado presenta los cálculos que hacen parte de la estimación del tránsito promedio diario anual que se emplea para la determinación del tránsito de diseño.

### 9.3.1 Cantidad de viajes anuales

A partir de la información escogida como representativa de las operaciones de cultivo y transporte de productos de flores, se estima un volumen de producción de 1,200 toneladas anuales en la floristería el Futuro. Este resultado se determinó mediante la siguiente expresión:

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

- Producción anual= Área de cultivo (40 Ha) x Rendimiento de producción (30 Ton/Ha) = 1200 Ton

Teniendo en cuenta que en promedio cada viaje se encuentra alrededor de 30 cajas por camión, y que, a su vez, el peso promedio de caja se asumió en 13 Kg se tiene:

- Peso/viaje = (30 Un/viaje) X (13 Kg/Un) = 390 Kg/ viaje = 0.39 Ton/ viaje

A partir de los anteriores resultados es posible cuantificar la cantidad de vehículos C2G que se necesitan para evacuar la producción; esto es:

- Viajes anuales= Producción anual (1200 Ton/año) / Peso/viaje (0.39 Ton/viaje) = 3077 viajes anuales.
- Teniendo en cuenta que el anterior resultado representa únicamente las repeticiones en un sentido de circulación, la cantidad de recorridos anuales por las vías de proyecto es de 6154 vehículos C2G.

### 9.3.2 Estimación del TPDA

Dado a que no se cuenta con información más detallada que permita estimar el nivel de tránsito en el tramo de prueba, se asume que la demanda identificada de buses, vehículos particulares y maquinaria es constante durante todas las semanas y días del año, asumiendo que la producción del cultivo es continua, y que en parte, esto compensaría posiblemente demanda no identificada durante las observaciones expuestas en el numeral 9.2.1. Vale la pena aclarar, que los tractores, en este caso, se asumen como vehículos C2P y se Adiciona 1 vehículo Adicional con objeto de representar camiones que proveen insumos al proyecto.

Asimismo, se asume que las repeticiones estimadas de vehículos C2G se distribuyen a lo largo de los 365 días del año alcanzando un promedio de 17 vehículos diarios; bajo la lógica de cálculo, se aproxima a 20 el número de repeticiones diarias al no tener contemplados dentro de los cálculos a otros proveedores de la cadena de producción.

Finalmente, a continuación, se presenta el resumen con los volúmenes de tránsito sobre el tramo de prueba, esto en términos de Tránsito Promedio Diario Anual-TPDA.

Tabla 52. Resumen volúmenes de tránsito.

Día	AUTOS	BUSES	C-2P	C-2G	C3 - C4	C5	>C5
TPDA	30	40	3	20	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

## 9.4 CÁLCULO DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

Existen dos maneras generales para determinar el tránsito de diseño. La primera con base en series históricas del tránsito y proyecciones, denominada por el INVIAS de Nivel 1, y la segunda con base en el tránsito actual y proyecciones, denominada por el INVIAS de Nivel 2. Para el caso de estudio se utilizó el Nivel 2, debido a que no se cuenta con información histórica del tránsito.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

### 9.4.1 Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual

A partir de los volúmenes determinados en la sección anterior, se obtuvo el tránsito promedio diario anual del año 2021 (TPDA) que fue empleado como tránsito normal base para las estimaciones del tránsito de diseño. La siguiente tabla presenta el TPDA de la vía de estudio.

Tabla 53. *Tránsito promedio diario anual.*

Año	Auto	Bus	Camiones						Total
			C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	Total	
2021	30	40	4	20	0	0	0	24	94
DISTRIBUCIÓN	32%	43%	4%	21%	0%	0%	0%	25%	

Fuente: Elaboración propia.

### 9.4.2 Tasas de crecimiento

Debido a que el cultivo de estudio es un proyecto que se encuentra consolidado desde hace décadas no se espera ningún tipo de expansión y por tanto, se asume una tasa plana de crecimiento.

## 9.5 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8,2 TONELADAS EN EL PERÍODO DE DISEÑO

Luego de la definición de los elementos que componen la estimación del TPDA y el crecimiento normal del mismo, en el presente apartado se presentan los resultados del tránsito de diseño.

### 9.5.1 Tránsito normal

El crecimiento del tránsito normal fue estimado a partir de la proyección de cortes temporales desde el año 2021, y operación hasta el año 2031 (10 años) y 2041 (20 años).

Tabla 54. *Crecimiento del tránsito normal*

AÑO	Auto	Bus	Camiones						Total
			C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	Total	
2,021	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,022	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,023	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,024	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,025	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,026	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,027	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,028	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,029	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,030	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,031	30	40	4	20	0	0	0	24	94

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

AÑO	Auto	Bus	Camiones					Total	Total
			C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5		
2,032	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,033	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,034	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,035	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,036	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,037	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,038	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,039	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,040	30	40	4	20	0	0	0	24	94
2,041	30	40	4	20	0	0	0	24	94

Fuente: Elaboración propia.

### 9.5.2 Estimación de ejes equivalentes en el período de diseño

A continuación, se describe el procedimiento empleado para la determinación del número de ejes equivalentes que habrán transitado a los 10 y 20 años después del inicio de la operación del proyecto. La expresión general de cálculo es la siguiente:

$$N_o = N_i$$

**Dónde:**

**N<sub>o</sub>:** Número de ejes equivalentes al año base.

**N<sub>i</sub>:** Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el año de la medición del tránsito.

### 9.5.3 Cálculo de Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el año de la medición del tránsito.

Las estimaciones del tránsito del año base se realizaron conforme la metodología establecida en el manual de bajos volúmenes de tránsito, y cuya expresión general es la siguiente:

$$N_{80 \text{ kN carril de diseño (normal), año base}} = 365_{\text{días/año}} \times \left[ \sum_{i=1}^k \left( \text{Vehículos Comerciales}_{\text{día/ambas direcciones}} \times \%V_k \times FD_k \right) \right] \times Fd$$

#### 9.5.3.1 Factor de daño FDK

Los factores de daño utilizados en la estimación del tránsito son los que se encuentran establecidos por el INVIAS en el año 2007.

Tabla 55. Factores de daño INVIAS.

Tipo Veh.	F.E 2007
Buses	1.00
C2P	1.01

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tipo Veh.	F.E 2007
C2G	2.72
C3-C4	3.72
C5	4.88
>C5	5.23

Fuente: INVIAS, 2007.

### 9.5.3.2 Factor de distribución direccional, Fd

Teniendo en cuenta que las vías de acceso son de ancho reducido, se asume un factor de distribución direccional de 1.

### 9.5.3.3 Confiabilidad

Teniendo en cuenta la limitada disponibilidad de información local se establece una confiabilidad del 90% con desviación normal estándar de 1.282 para la corrección final del tránsito de diseño.

Tabla 56. Nivel de confiabilidad.

Confiabilidad, %	Desviación normal estándar, Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos INVIAS.

En la siguiente tabla se presenta el cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que se espera circulen durante el horizonte de proyecto, encontrando un tránsito acumulado a los 10 años de  $4.58 \times 10^5$  y de  $8.74 \times 10^5$  ejes hacia el año 20.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 57. Cálculo de ejes equivalentes Tramo de prueba Floristería El Futuro.

Año	Buses	Camiones						Total Ejes Equivalentes			Año Proyecto
		C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	Total	Anual	Acumulado	N Diseño (8,2 Ton)	
2,021	40	4	20	0	0	0	24	35,931	35,931	41,645	0
2,022	40	4	20	0	0	0	24	35,931	71,861	83,290	1
2,023	40	4	20	0	0	0	24	35,931	107,792	124,935	2
2,024	40	4	20	0	0	0	24	35,931	143,722	166,581	3
2,025	40	4	20	0	0	0	24	35,931	179,653	208,226	4
2,026	40	4	20	0	0	0	24	35,931	215,584	249,871	5
2,027	40	4	20	0	0	0	24	35,931	251,514	291,516	6
2,028	40	4	20	0	0	0	24	35,931	287,445	333,161	7
2,029	40	4	20	0	0	0	24	35,931	323,375	374,806	8
2,030	40	4	20	0	0	0	24	35,931	359,306	416,452	9
<b>2,031</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>35,931</b>	<b>395,237</b>	<b>458,097</b>	<b>10</b>
2,032	40	4	20	0	0	0	24	35,931	431,167	499,742	11
2,033	40	4	20	0	0	0	24	35,931	467,098	541,387	12
2,034	40	4	20	0	0	0	24	35,931	503,028	583,032	13
2,035	40	4	20	0	0	0	24	35,931	538,959	624,677	14
2,036	40	4	20	0	0	0	24	35,931	574,890	666,322	15
2,037	40	4	20	0	0	0	24	35,931	610,820	707,968	16
2,038	40	4	20	0	0	0	24	35,931	646,751	749,613	17
2,039	40	4	20	0	0	0	24	35,931	682,681	791,258	18
2,040	40	4	20	0	0	0	24	35,931	718,612	832,903	19
<b>2,041</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>35,931</b>	<b>754,543</b>	<b>874,548</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de ejercicios permiten establecer de manera aproximada la carga de tránsito que soportan las vías de uso privado de la Floristería el Futuro, haciendo uso, principalmente, de datos provenientes de información secundaria, lo cual reduce los costos de trabajos de campo para realizar los estudios de tránsito a partir de aforos aleatorios que pueden llegar a desestimar, o según la época en que se realicen, sobredimensionar el nivel de tránsito diario.

Debido a que este cálculo presenta alta incertidumbre entre las variables asumidas, es recomendable constatar con los propietarios del cultivo la cantidad de entradas y salidas de vehículos para aproximar de manera más precisa el nivel de tránsito que soportan las vías del proyecto.

En este análisis se entregan los NEE desde el año 2021 hasta el año 2041 tomando como base la normativa INVIAS.

El número de ejes equivalente calculado es:

$$\text{a 10 años NEE} = 4.6 * 10^5$$

$$\text{a 20 años NEE} = 8.7 * 10^5$$

## 10. PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos obtenidos, con el fin de dar seguimiento a los objetivos trazados al comienzo de la estructuración del proyecto, para de esta forma verificar los alcances de cada uno de ellos.

### 10.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES OBJETO DE INVESTIGACIÓN

La caracterización de los materiales estudiados en el desarrollo de este proyecto (escoria de Gerdau Diaco, suelo natural en el Municipio de Nemocón); dicha caracterización se realizó en laboratorios certificados. Con el fin de obtener los parámetros mecánicos de referencia, para de esta manera compararlos entre sí.

### 10.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Se realizó la caracterización de la escoria de acería procedente de la planta de Gerdau Diaco ubicada en el Municipio de Tuta (Boyacá), a continuación, se presentan los resultados de los ensayos de límites, granulometría, CBR de laboratorio y Triaxial CU.

#### 10.2.1 Límites de Atterberg para Tramo de prueba 1

Una vez realizado en el laboratorio los ensayos de límites de Atterberg al tramo de prueba inalterado se obtuvo lo siguiente.

Del Anexo 13, se toma la información que se presenta en la Tabla 58, Tabla 59 y Tabla 60 que corresponde a la muestra M-1 del tramo de prueba sin alterar con escoria, en una profundidad de 0.00 m – 0.20 m.

Tabla 58. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	3
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>24</b>	<b>13</b>
P1,gr	52.68	55.24	45.97
P2,gr	45.18	48.55	39.02
P3,gr	17.17	24.62	15.71
<b>Humedad, %</b>	<b>26.8</b>	<b>28.0</b>	<b>29.8</b>

*Fuente:* Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Para el cálculo de la humedad se toman los resultados del ensayo No. 1 de la Tabla 58.

$$\text{Peso Agua} = 52.68 \text{ gr} - 45.18 \text{ gr} = 7.5 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 45.18 \text{ gr} - 17.17 \text{ gr} = 28.01 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{7.5 \text{ gr}}{28.01 \text{ gr}} \right] * 100 = 26.80\%$$

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Se realiza el anterior procedimiento para las tres muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite Líquido} = \frac{26.8\% + 28.0\% + 29.8\%}{3} = 28.2\%$$

### Límite plástico y humedad natural de la muestra (1. LÍMITES NATURAL M 1 TRAMO 1 K0+003.0)

Tabla 59. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	19.15	18.25	90.92
P2,gr	17.18	16.43	82.48
P3,gr	7.98	7.86	25.37
<b>Humedad, %</b>	<b>21.4</b>	<b>21.2</b>	<b>14.8</b>

Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

(1.LIMITES NATURAL M 1TRAMO 1 K0+000.3).

En este caso se toman los resultados del ensayo No. 1 de la (1. LÍMITES NATURAL M 1 **TRAMO 1 K0+003.0**)

Peso Agua = 19.15 gr – 17.18 gr = 1.97 gr

Peso Suelo Seco = 17.18 gr – 7.98 gr = 9.2 gr

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{1.97 \text{ gr}}{9.2 \text{ gr}} \right] * 100 = 21.40\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las dos muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{21.4\% + 21.2\%}{2} = 21.3\%$$

### Gradación de la muestra M-1 TRAMO No 1 K0+003.0

Continuando con la información tomada del Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1., y la Tabla 60 presenta la siguiente información.

Tabla 60. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

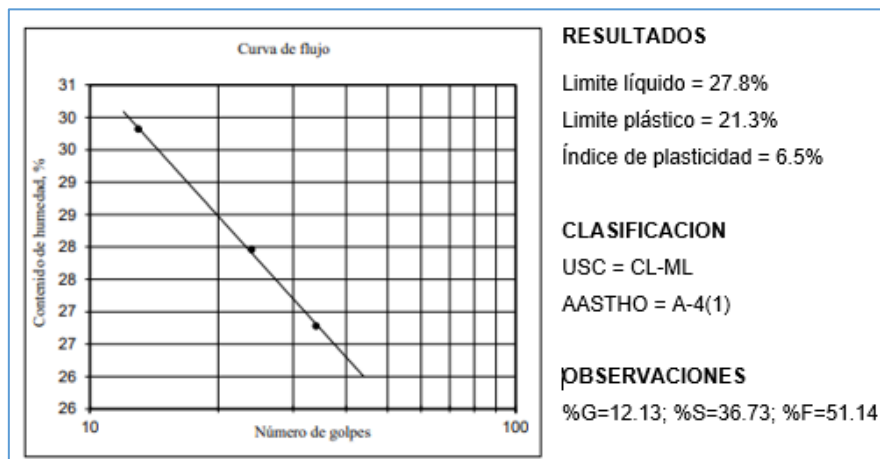
P1, gr = 637.1			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			
1 ½"			
1"			
¾"			100.0
½"	22.4	3.52	96.48

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

P1, gr = 637.1			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3/8"	22.3	3.50	92.98
4	32.6	5.12	87.87
10	47.5	7.46	80.41
20	27.6	4.33	76.08
40	18.0	2.83	73.25
60	20.6	3.23	70.02
100	60.2	9.45	60.57
200	60.1	9.43	51.14
Fondo	325.8	51.14	
<b>Σ</b>	<b>637.1</b>	<b>100</b>	

Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Figura 43. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.



Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Del Anexo 17, se toma la información de la muestra M-2 del tramo de prueba sin alterar con escoria en una profundidad de 0.10 m – 0.30 m.

### Límite líquido de la muestra - M2-3 TRAMO No 1 K0+000.9

Tabla 61. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	3
N	35	25	15
P1,gr	42.67	48.19	52.96
P2,gr	35.83	41.04	44.11
P3,gr	10.86	17.16	16.85
<b>Humedad, %</b>	<b>27.4</b>	<b>29.9</b>	<b>32.5</b>

Fuente: Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3.

Para el cálculo de la humedad se toman los resultados del ensayo No. 1:

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

$$\text{Peso Agua} = 42.67 \text{ gr} - 35.83 \text{ gr} = 6.84 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 35.83 \text{ gr} - 10.86 \text{ gr} = 24.97 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{6.84 \text{ gr}}{24.97 \text{ gr}} \right] * 100 = 27.4\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las tres muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite Líquido} = \frac{27.4\% + 29.9\% + 32.5\%}{3} = 29.93\%$$

Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3.

Tabla 62. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	14.75	14.42	66.04
P2,gr	13.65	13.44	59.53
P3,gr	7.43	7.92	11.19
<b>Humedad, %</b>	<b>17.7</b>	<b>17.8</b>	<b>13.5</b>

Fuente: Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3.

De los resultados del ensayo No. 1 (1. LÍMITES NATURAL M 1 TRAMO 1 K0+003.0)

, se realizan los siguientes cálculos.

$$\text{Peso Agua} = 14.75 \text{ gr} - 13.65 \text{ gr} = 1.1 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 13.65 \text{ gr} - 7.43 \text{ gr} = 6.22 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{1.1 \text{ gr}}{6.22 \text{ gr}} \right] * 100 = 17.7\%$$

Se repite el anterior procedimiento para las dos muestras restantes y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{17.7\% + 17.8\%}{2} = 17.75\%$$

### Gradación de la muestra M-1 TRAMO No 1 K0+0.3

Continuando con la información tomada del Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3., la Tabla 63 presenta la siguiente información.

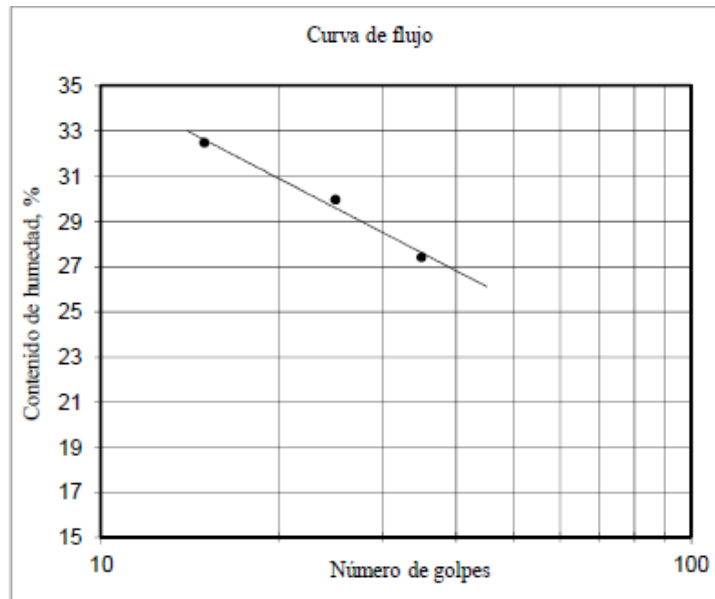
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 63. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

P1, gr = 637.1			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			100.00
1/2"	1.3	0.56	99.44
3/8"	7.7	3.32	96.12
4	5.4	2.33	93.79
10	12.1	5.22	88.58
20	7.9	3.41	85.17
40	13.3	5.73	79.44
60	3.2	1.38	78.06
100	1.8	0.78	77.28
200	1.5	0.65	76.64
Fondo	177.8	76.64	
<b>Σ</b>	<b>232.0</b>	<b>100</b>	

Fuente: Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3.

Figura 44. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

<b>RESULTADOS</b>	
Límite líquido, %	29,6
Límite plástico, %	17,7
Índice de plasticidad, %	11,9
<b>CLASIFICACION</b>	
USC	CL
AASHTO	A-6 (7)

*Fuente:* Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3.

Del Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1., se toma la información de la muestra M-2 del tramo de prueba alterado con escoria en una profundidad de 0.10 m – 0.30 m.

Tabla 64. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	3
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>24</b>	<b>13</b>
P1,gr	58.92	52.61	44.84
P2,gr	53.12	46.87	40.01
P3,gr	18.94	15.74	15.84
<b>Humedad, %</b>	<b>17.0</b>	<b>18.4</b>	<b>20.0</b>

*Fuente:* Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Para el cálculo de la humedad se toman los siguientes datos de la Tabla 65, en este caso los resultados del ensayo No. 1:

$$\text{Peso Agua} = 58.92 \text{ gr} - 53.12 \text{ gr} = 5.8 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 53.12 \text{ gr} - 18.94 \text{ gr} = 34.18 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{5.8 \text{ gr}}{34.18 \text{ gr}} \right] * 100 = 17\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las tres muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite Líquido} = \frac{17.0\% + 18.4\% + 20.0\%}{3} = 18.4\%$$

### Límite plástico y humedad natural de la muestra (3. LÍMITES CON ADICIÓN DE ESCORIA M 1 TRAMO 1 K0+000.3)

Tabla 65. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	16.59	16.35	296.90
P2,gr	15.45	15.25	282.00
P3,gr	7.94	7.97	34.50
<b>Humedad, %</b>	<b>15.2</b>	<b>15.1</b>	<b>6.0</b>

*Fuente:* Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

En este caso se toman los resultados del ensayo No. 1 de Límite Plástico y Humedad Natural.

$$\text{Peso Agua} = 16.59 \text{ gr} - 15.45 \text{ gr} = 1.14 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 15.45 \text{ gr} - 7.94 \text{ gr} = 7.51 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{1.14 \text{ gr}}{7.51 \text{ gr}} \right] * 100 = 15.2\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las dos muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{15.2\% + 15.1\%}{2} = 15.15\%$$

### Gradación de la muestra M-1 TRAMO No 1 K0+0.3

Continuando con la información tomada del Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1., la Tabla 66 presenta la siguiente información.

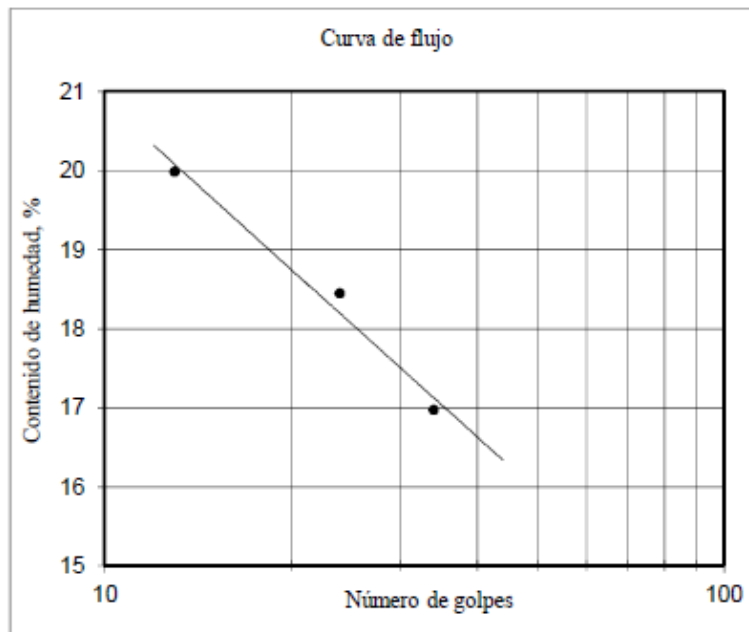
Tabla 66. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

P1, gr = 637.1			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			100.00
1 ½"	79.5	2.28	97.72
1"	474.7	13.62	84.10
¾"	348.5	10.00	74.10
½"	524.1	15.04	59.06
⅜"	254.8	7.31	51.75
4	521.4	14.96	36.79
10	233.5	6.70	30.09
20	101.1	2.90	27.19
40	70.4	2.02	25.16
60	71.1	2.04	23.12
100	249.5	7.16	15.97
200	154.0	4.42	11.55
Fondo	402.4	11.55	
<b>Σ</b>	<b>3485.0</b>	<b>100</b>	

*Fuente:* Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 45. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.



<b>RESULTADOS</b>	
Límite líquido, %	18,1
Límite plástico, %	15,1
Índice de plasticidad, %	2,9
<b>CLASIFICACION</b>	
USC	GP-GC
AASHTO	A-1-a (0)

Fuente: Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Del Anexo 29, se toma la información de la muestra M-2 del tramo de prueba alterado con escoria en una profundidad de 0.10 m – 0.30 m. La información mencionada se presenta en la Tabla 67.

Tabla 67. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	3
<b>N</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>15</b>
P1,gr	56.34	61.72	56.37
P2,gr	51.59	56.44	49.56
P3,gr	19.78	24.63	12.15
<b>Humedad, %</b>	<b>14.9</b>	<b>16.6</b>	<b>18.2</b>

Fuente: Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3.

Para el cálculo de la humedad se toman los siguientes datos de la Tabla 67, en este caso los resultados del ensayo No. 1:

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

$$\text{Peso Agua} = 56.34 \text{ gr} - 51.59 \text{ gr} = 4.75 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 51.59 \text{ gr} - 19.78 \text{ gr} = 31.81 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{4.75 \text{ gr}}{31.81 \text{ gr}} \right] * 100 = 14.9\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las tres muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite Líquido} = \frac{14.9\% + 16.6\% + 18.2\%}{3} = 16.4\%$$

### Límite plástico y humedad natural de la Muestra 4. LÍMITES CON ADICIÓN DE ESCORIA T1AE M2-3 TRAMO No 1 K0+009.0

Tabla 68. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	15.84	17.60	65.63
P2,gr	15.06	16.66	60.76
P3,gr	7.95	7.99	17.25
<b>Humedad, %</b>	<b>11.0</b>	<b>10.8</b>	<b>11.2</b>

Fuente: Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3.

En este caso se toman los resultados del ensayo No. 1 del ensayo del Límite plástico y humedad natural.

$$\text{Peso Agua} = 15.84 \text{ gr} - 15.06 \text{ gr} = 0.78 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 15.06 \text{ gr} - 7.95 \text{ gr} = 7.11 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{0.78 \text{ gr}}{7.11 \text{ gr}} \right] * 100 = 11\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las dos muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{11\% + 10.8\%}{2} = 10.9\%$$

### Gradación de la muestra T1AE M2-3 TRAMO No 1 K0+009.0

Continuando con la información tomada del, la Tabla 69 presenta la siguiente información.

Tabla 69. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

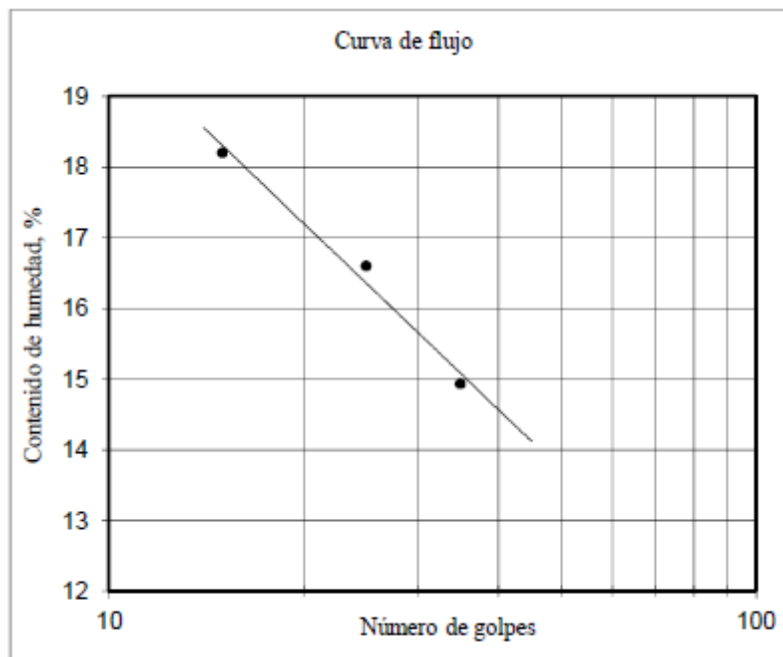
P1, gr = 536			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

P1, gr = 536			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
1 ½"			100.00
1"	61.7	11.51	88.49
¾"	83.7	15.62	72.87
½"	49.2	9.18	63.69
⅜"	91.1	17.00	46.70
4	76.6	14.29	32.41
10	46.3	8.64	23.77
20	15.9	2.97	20.80
40	10.9	2.03	18.77
60	10.7	2.00	16.77
100	35.9	6.70	10.09
200	14.4	2.69	7.39
Fondo	39.6	7.39	0.00
<b>Σ</b>	<b>536</b>	<b>100</b>	

*Fuente:* Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3.

*Figura 46. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.*



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

<b>RESULTADOS</b>	
Límite líquido, %	16,4
Límite plástico, %	10,9
Índice de plasticidad, %	5,5
<b>CLASIFICACION</b>	
USC	GW-GC
AASHTO	A-1-a (0)

Fuente: Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3.

### 10.3 ENSAYOS DE CBR

#### 10.3.1 Ensayo de CBR tramo de prueba inalterado

Los siguientes son los resultados de los ensayos del CBR inalterado, para la Muestra No. 1.

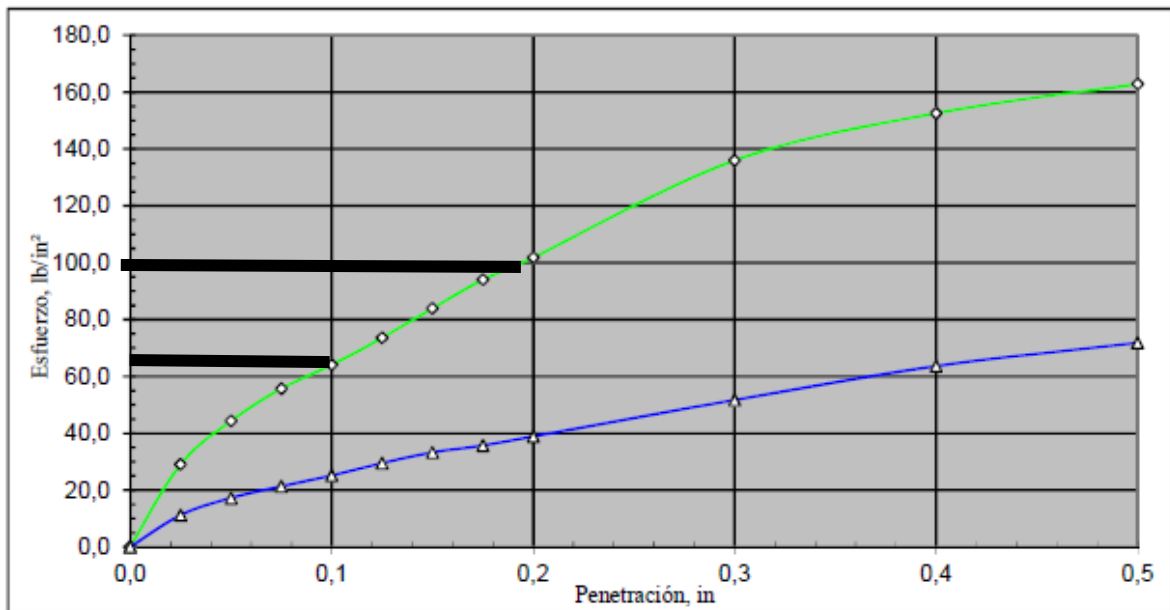
Tabla 70. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1, de 0.00 m a 0.020 m.

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión			4	
Expansión, in			0.004	
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0.000	0.0	0.000	0.0
0.025	0.388	29.1	0.150	11.2
0.050	0.592	44.4	0.230	17.2
0.075	0.743	55.7	0.285	21.4
0.100	0.855	64.1	0.336	25.2
0.125	0.982	73.6	0.394	29.5
0.150	1.120	83.9	0.444	33.3
0.175	1.255	94.0	0.477	35.7
0.200	1.359	101.8	0.519	38.9
0.300	1.815	136.0	0.690	51.7
0.400	2.036	152.6	0.849	63.6
0.500	2.173	162.8	0.958	71.8
CBR Corregido 0.1"	6.4		2.5	
CBR Corregido 0.2"	6.8		2.6	
Humedad de penetración, %	6.02		13.13	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.26			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.13			

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fuente: Anexo 51. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR Muestra No1 Profundidad 0.00 m - 0.20 m. CBR NATURAL T1 SN K0+0.03.

Figura 47. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1, de 0.00 m a 0.020 m.



Fuente: Anexo 51. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR Muestra No1 Profundidad 0.00 m - 0.20 m. CBR NATURAL T1 SN K0+0.03.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

Realizada la gráfica que se presenta en la Figura 47 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 64 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.9522 Mpa.

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.4416\text{Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 6.4\%$$

De la gráfica presentada en la Figura 47, se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 102 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.7004 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (0.7004\text{Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 6.8\%$$

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO, para la Muestra No 2 en una Profundidad 0.00 m - 0.20 m en el Anexo 9. **CBR NATURAL T1 SN K0+0.06.**

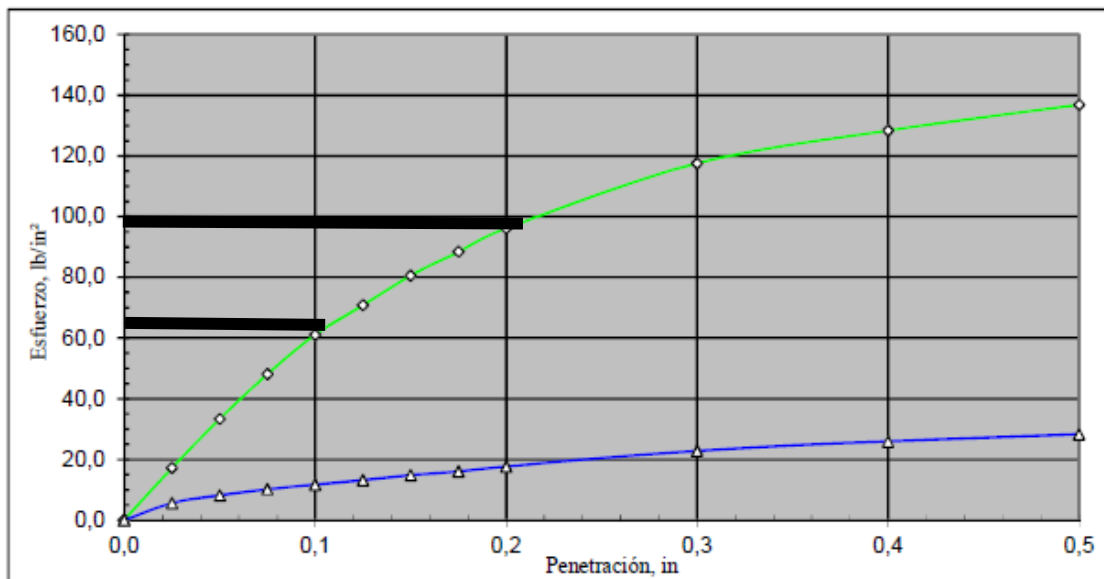
Tabla 71. *Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 2.*

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.230	17.2	0.075	5.6
0.050	0.445	33.3	0.109	8.2
0.075	0.642	48.1	0.136	10.2
0.100	0.815	61.1	0.156	11.7
0.125	0.945	70.8	0.176	13.2
0.150	1.075	80.6	0.198	14.8
0.175	1.180	88.4	0.214	16.0
0.200	1.283	96.1	0.236	17.7
0.300	1.569	117.6	0.305	22.9
0.400	1.713	128.4	0.346	25.9
0.500	1.826	136.8	0.378	28.3
CBR Corregido 0.1"	6.1		1.2	
CBR Corregido 0.2"	6.4		1.2	
Humedad de penetración, %	13.47		26.05	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	1.81			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1.6			

*Fuente:* Anexo 9. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-2, de 0.10 m a 0.30 m.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 48. *Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 2, de 0.10 m – 0.30 m.*



*Fuente:* Anexo 9. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-2, de 0.10 m a 0.30 m.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

Realizada la gráfica que se presenta en la Figura 48 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 61 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.4209 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.4209 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 6.1\%$$

De la gráfica presentada en la Figura 48 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 97 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.6592 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (0.6592 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 6.4\%$$

Los siguientes son los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO, de la Muestra No 3 presentados en el Anexo 10, **7. CBR NATURAL T1 SN K0+009.0.**

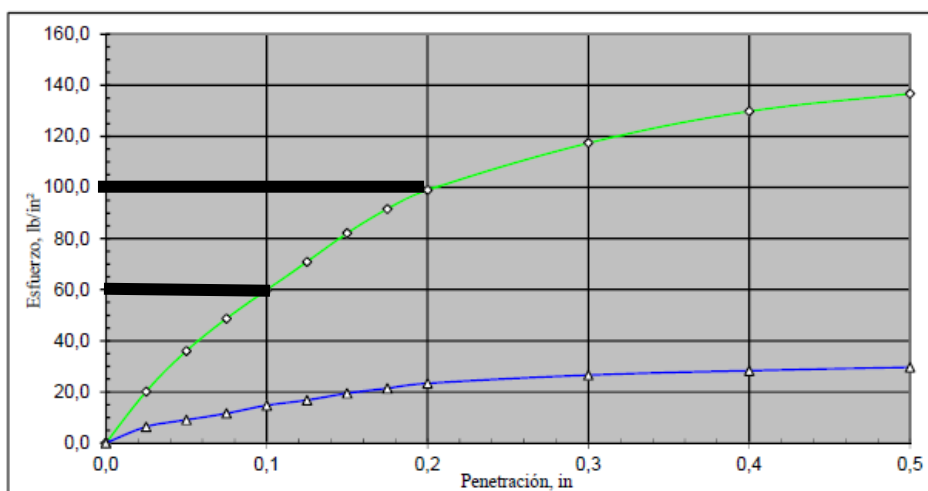
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 72. *Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3.*

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.269	20.2	0.085	6.4
0.050	0.481	36.0	0.121	9.1
0.075	0.650	48.7	0.155	11.6
0.100	0.800	59.9	0.197	14.8
0.125	0.946	70.9	0.224	16.8
0.150	1.096	82.1	0.260	19.5
0.175	1.222	91.6	0.286	21.4
0.200	1.321	99.0	0.312	23.4
0.300	1.567	117.4	0.355	26.6
0.400	1.732	129.8	0.378	28.3
0.500	1.824	136.7	0396	29.7
CBR Corregido 0.1"	6.0		1.5	
CBR Corregido 0.2"	6.6		1.6	
Humedad de penetración, %	10.91		25.03	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	1.87			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1.69			

*Fuente:* Anexo 10. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-3, de 0.10 m a 0.30 m.

Figura 49. *Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3.*



*Fuente:* Anexo 10. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-3, de 0.10 m a 0.30 m.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

Realizada la gráfica que se presenta en la Figura 49 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 60 lb/in<sup>2</sup> que equivale a 0.414 Mpa.

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.414 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 6.0\%$$

De la Figura 49 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 96 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.6798 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (0.6798 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 6.6\%$$

Los siguientes son los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO, de la Muestra No 1 en una Profundidad de 0.00 m - 0.30 m del Anexo 25, **8. CBR ADICIÓN T1 K0+0.003.0.**

Tabla 73. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1 del Apique 2.

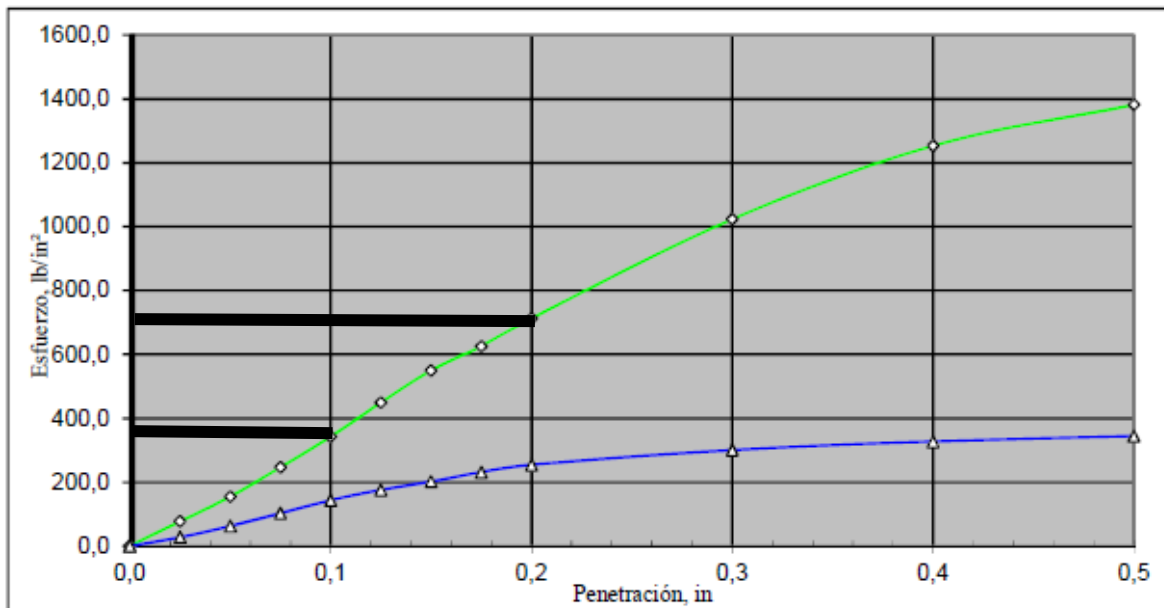
Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0	0	0	0	0
0.025	1.034	77.5	0.375	28.1
0.05	2.065	154.7	0.84	62.9
0.075	3.296	247	1.377	103.2
0.1	4.575	342.8	1.915	143.5
0.125	5.995	449.2	2.35	176.1
0.15	7.336	549.7	2.7	202.3
0.175	8.35	625.7	3.091	231.6
0.2	9.515	713	3.398	254.6
0.3	13.66	1023.6	4.02	301.2
0.4	16.73	1253.7	4.365	327.1
0.5	18.44	1381.8	4.598	344.6

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
CBR Corregido 0.1"	34.3		14.4	
CBR Corregido 0.2"	47.5		17	
Humedad de penetración, %	6.02		13.26	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.48			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.34			

Fuente: Anexo 25. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Perforación AP-2, muestra M-1.

Figura 50. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 1 del Apique 2.



Fuente: Anexo 25. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Perforación AP-2, muestra M-1.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 50 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 343.23 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 2.3667 Mpa

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (2.3667 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 34.3\%$$

De la Figura 50 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 709.54 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 4.8925 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (4.8925 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 47.5\%$$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO, para la Muestra No 2 Profundidad 0.10 m - 0.30 m en el Anexo 25, **CBR ADICIÓN T1 K0+006.0**.

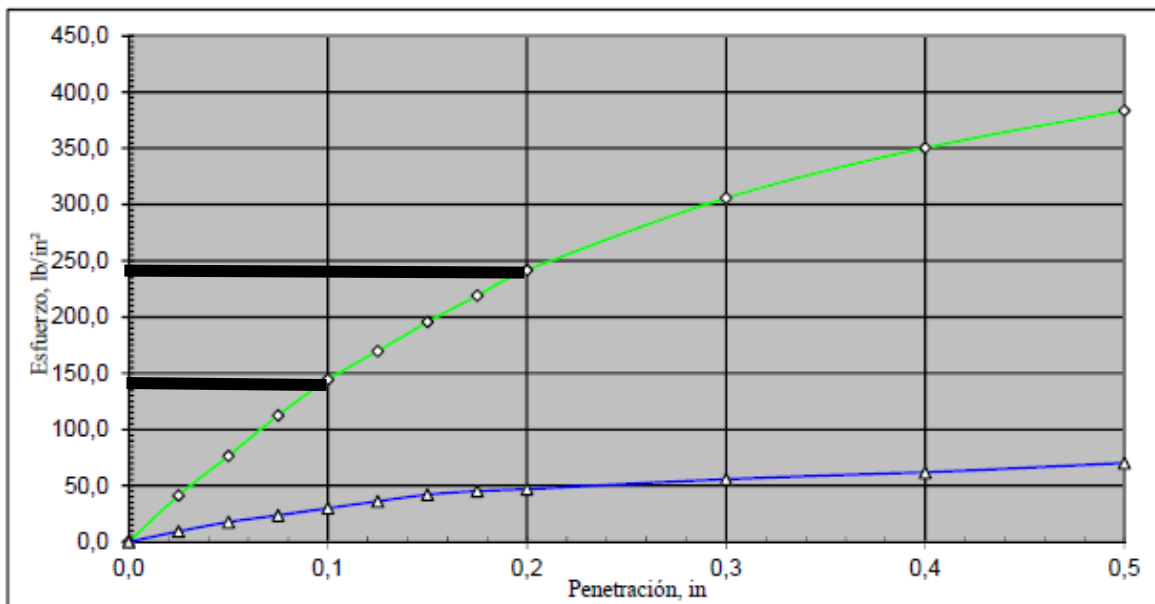
Tabla 74. Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 2 en el Tramo 1.

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.551	41.3	0.125	9.4
0.050	1.020	76.4	0.236	17.7
0.075	1.501	112.5	0.316	23.7
0.100	1.927	144.4	0.401	30.0
0.125	2.264	169.7	0.482	36.1
0.150	2.610	195.6	0.561	42.0
0.175	2.922	219.0	0.604	45.3
0.200	3.225	241.7	0.626	46.9
0.300	4.081	305.8	0.745	55.8
0.400	4.675	350.3	0.826	61.9
0.500	5.118	383.5	0.937	70.2
CBR Corregido 0.1"	14.4		3.0	
CBR Corregido 0.2"	16.1		3.1	
Humedad de penetración, %	11.19		14.03	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.36			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.12			

Fuente: Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 51. *Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 2 en el Tramo 1.*



Fuente: Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

Realizada la gráfica que se presenta en la Figura 51 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 144.1 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.9936 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.9936 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 14.4\%$$

De la Figura 51 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 240 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.6583 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (1.6583 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 16.1\%$$

Los siguientes son los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO, de la Muestra No 3 presentados, en una Profundidad 0.10 m - 0.30 m Anexo 27, **10. CBR ADICIÓN T1 K0+009.0.**

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

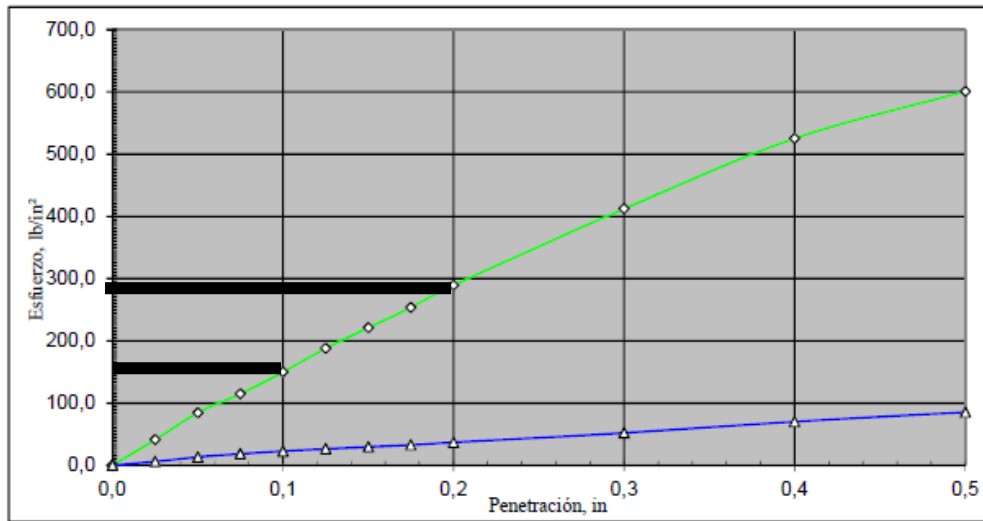
Tabla 75. *Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3, en el Tramo de Prueba 1 con adición de escoria.*

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión			4	
Expansión, in			0.004	
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0.0	0.0	0.00	0.0
0.025	0.548	41.1	0.080	6.0
0.050	1.126	84.4	0.178	13.3
0.075	1.531	114.7	0.245	18.4
0.100	1.998	149.7	0.300	22.5
0.125	2.507	187.9	0.352	26.4
0.150	2.949	221.0	0.398	29.8
0.175	3.384	253.6	0.435	32.6
0.200	3.860	289.3	0.492	36.9
0.300	5.499	412.1	0.694	52.0
0.400	7.007	525.1	0.937	70.2
0.500	8.015	600.6	1.139	85.4
CBR Corregido 0.1"	15.0		2.2	
CBR Corregido 0.2"	19.3		2.5	
Humedad de penetración, %	11.08		13.23	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.39			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.15			

*Fuente:* Anexo 27. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-3.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 52. Ensayo de CBR INALTERADO de la Muestra 3, en el Tramo de Prueba 1 con adición de escoria.



Fuente: Anexo 27. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-3.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 52 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 152 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.035 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (1.035 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 15\%$$

De la Figura 52 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 288 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.9879 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (1.9879 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 19.3\%$$

### 10.3.2 Límites de Atterberg para Tramo de prueba 2

Resultados tramo 2

Del Anexo 17, (11.LIMITES NATURAL M 1TRAMO 2 K+0.6) Límite líquido de la muestra M-1 TRAMO No 2 K0+000.6

Tabla 76. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

ENSAYO No.	1	2	3
N	35	25	15
P1,gr	42.67	48.19	52.96
P2,gr	35.83	41.04	44.11
P3,gr	10.86	17.16	16.85
<b>Humedad, %</b>	<b>27.4</b>	<b>29.9</b>	<b>32.5</b>

Fuente: Anexo (11.LIMITES NATURAL M 1TRAMO 2 K0+000.6)

Para el cálculo de la humedad se toman los siguientes datos de la Tabla 76, en este caso los resultados del ensayo No. 1:

$$\text{Peso Agua} = 42.67 \text{ gr} - 35.83 \text{ gr} = 6.84 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 35.83 \text{ gr} - 10.86 \text{ gr} = 24.97 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{6.84 \text{ gr}}{24.97 \text{ gr}} \right] * 100 = 27.4\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las tres muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite Líquido} = \frac{27.4\% + 29.9\% + 32.5\%}{3} = 29.6\%$$

### DOCUMENTO 17 (11.LIMITES NATURAL M 1TRAMO 2 K0+000.6)

Tabla 77. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	14.75	14.42	66.04
P2,gr	13.65	13.44	59.53
P3,gr	7.43	7.92	11.19
<b>Humedad, %</b>	<b>17.7</b>	<b>17.8</b>	<b>13.5</b>

Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

En este caso se toman los resultados del ensayo No. 1 de la (1. LÍMITES NATURAL M 1 TRAMO 1 K0+003.0)

$$\text{Peso Agua} = 14.75 \text{ gr} - 13.65 \text{ gr} = 1.1 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 13.64 \text{ gr} - 7.43 \text{ gr} = 6.21 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{1.1 \text{ gr}}{6.21 \text{ gr}} \right] * 100 = 17.7\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las dos muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{17.7\% + 17.8\%}{2} = 17.7\%$$

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

### Gradación de la muestra M-1 11.LIMITES NATURAL M 1TRAMO 2 K0+006.0

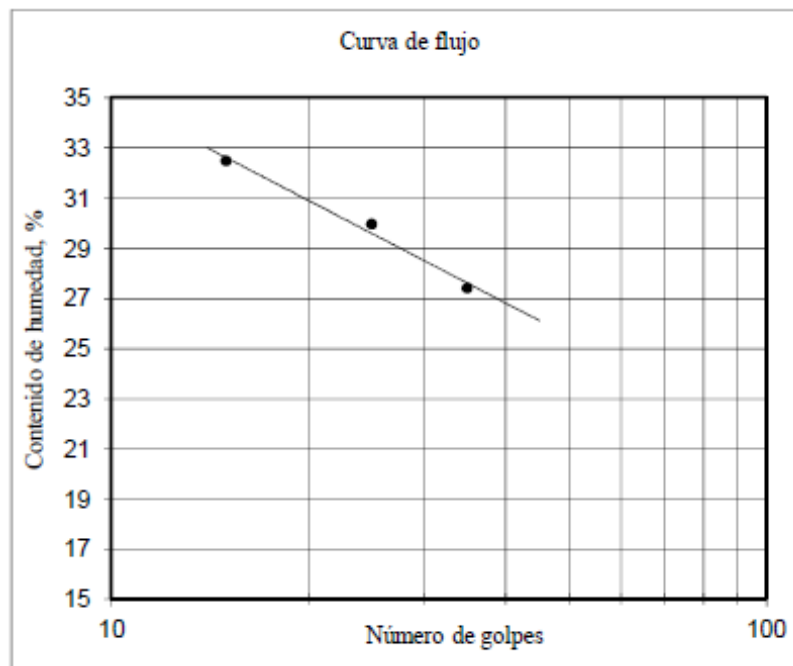
Continuando con la información tomada del Anexo 13, (11.LIMITES NATURAL M 1TRAMO 2 K0+000.6), la Tabla 78 presenta la siguiente información.

Tabla 78. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

P1, gr = 637.1			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			
1 ½"			
1"			
¾"			100.00
½"	1.3	0.56	99.44
⅜"	7.7	3.32	96.12
4	5.4	2.33	93.79
10	12.1	5.22	88.58
20	7.9	3.41	85.17
40	13.3	5.73	79.44
60	3.2	1.38	78.06
100	1.8	0.78	77.28
200	1.5	0.65	77.28
Fondo	177.8	76.64	76.64
<b>Σ</b>	<b>232.0</b>	<b>100</b>	

Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Figura 53. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

<b>RESULTADOS</b>	
Límite líquido, %	29,6
Límite plástico, %	17,7
Índice de plasticidad, %	11,9
<b>CLASIFICACION</b>	
USC	CL
AASHTO	A-6 (7)

Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Del Anexo 42 (**12. LÍMITES ADICIÓN M 1 TRAMO 2 K0+006.0**), se presenta la siguiente información.

### Límite líquido de la muestra M-1 TRAMO No 2 K0+006.0

Tabla 79. Resultados de límite líquido, muestra M-1 de 0.10 m – 0.30 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	3
N	35	25	15
P1,gr	64.98	53.72	79.95
P2,gr	59.49	48.48	70.66
P3,gr	24.69	16.95	19.92
<b>Humedad, %</b>	<b>15.8</b>	<b>16.6</b>	<b>18.3</b>

Fuente: Anexo 42. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.

Para el cálculo de la humedad se toman los siguientes datos de la TABLA 1, en este caso los resultados del ensayo No. 1:

$$\text{Peso Agua} = 64.98 \text{ gr} - 59.49 \text{ gr} = 6.49 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 59.49 \text{ gr} - 24.69 \text{ gr} = 34.8 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{6.49 \text{ gr}}{34.8 \text{ gr}} \right] * 100 = 18.64\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las tres muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite Líquido} = \frac{15.8\% + 16.6\% + 18.3\%}{3} = 16.7\%$$

### Límite plástico y humedad natural de la muestra (**12.LÍMITES ADICIÓN M 1 TRAMO 2 K+006.0**)

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 80. Resultados de límite plástico y humedad natural, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	16.03	13.21	91.31
P2,gr	15.34	12.68	84.44
P3,gr	9.03	7.53	19.64
<b>Humedad, %</b>	<b>10.9</b>	<b>10.3</b>	<b>10.6</b>

Fuente: Anexo 42. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.

En este caso se toman los resultados del ensayo No. 1 de la Tabla 80.

Peso Agua = 16.03 gr – 15.34 gr = 0.69 gr

Peso Suelo Seco = 15.34 gr – 9.03 gr = 6.31 gr

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{0.69 \text{ gr}}{6.31 \text{ gr}} \right] * 100 = 10.9\%$$

Se realiza el anterior procedimiento para las dos muestras y después se calcula el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{10.9\% + 10.3\%}{2} = 10.6\%$$

### Gradación de la muestra M-1 (12.LÍMITES ADICIÓN M 1TRAMO 2 K0+006.0)

Continuando con la información tomada del Anexo 42 (12.LÍMITES ADICIÓN M 1TRAMO 2 K0+006.0), la Tabla 81 presenta la siguiente información.

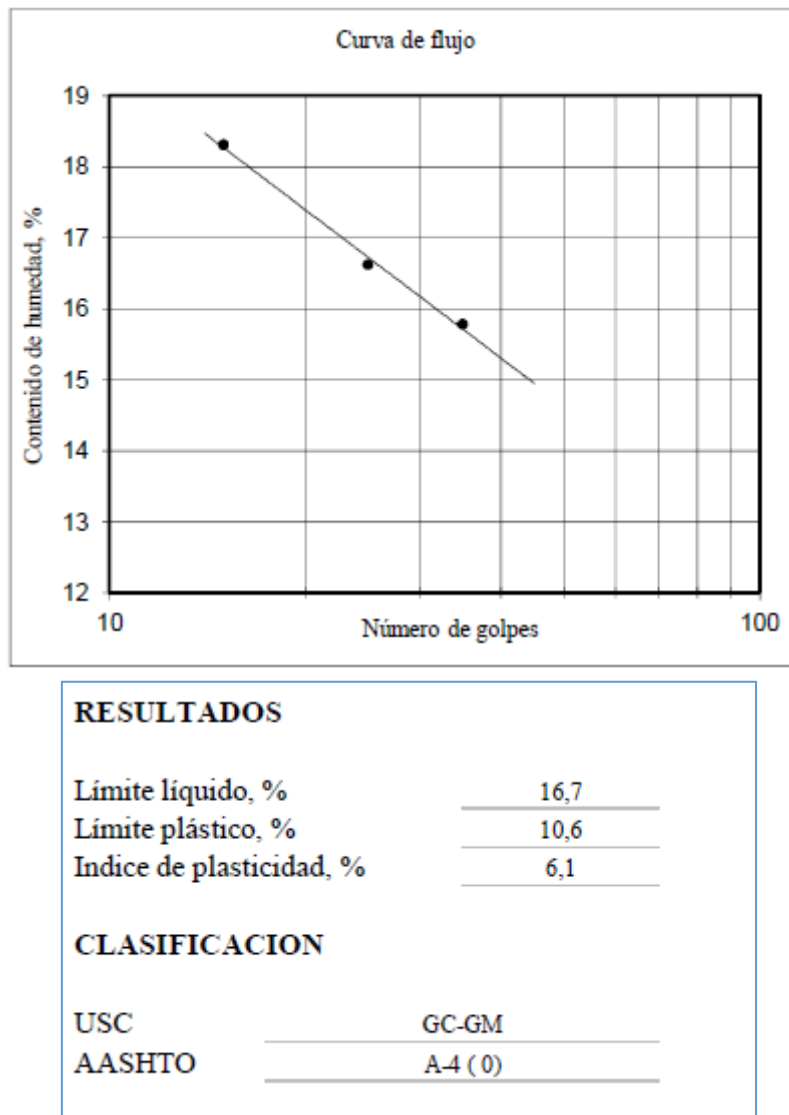
Tabla 81. Resultado de la gradación, muestra M-1 de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.

P1, gr = 2416			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			100.00
1 ½"	58.5	2.42	97.58
1"	28.9	1.20	96.38
¾"	85.7	3.55	92.84
½"	376.6	15.59	77.25
⅜"	175.8	7.28	69.97
4	76.1	3.15	66.82
10	33.0	1.37	65.46
20	21.5	0.89	64.57
40	36.7	1.52	63.05
60	37.7	1.56	61.49
100	147.9	6.12	55.36
200	151.3	6.26	49.10
Fondo	1186.3	49.10	
<b>Σ</b>	<b>2416</b>	<b>100</b>	

Fuente: Anexo 42. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 54. Resultado del ensayo de clasificación de la muestra M-1, de 0.00 m – 0.20 m de profundidad.



Fuente: Anexo 42. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.

### 10.3.3 Análisis de CBR para Tramo de prueba 2

Los siguientes son los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 1 en una Profundidad 0.10 m - 0.30 m Anexo 39, 13. **CBR NATURAL TRAMO 2 K0+003.0.**

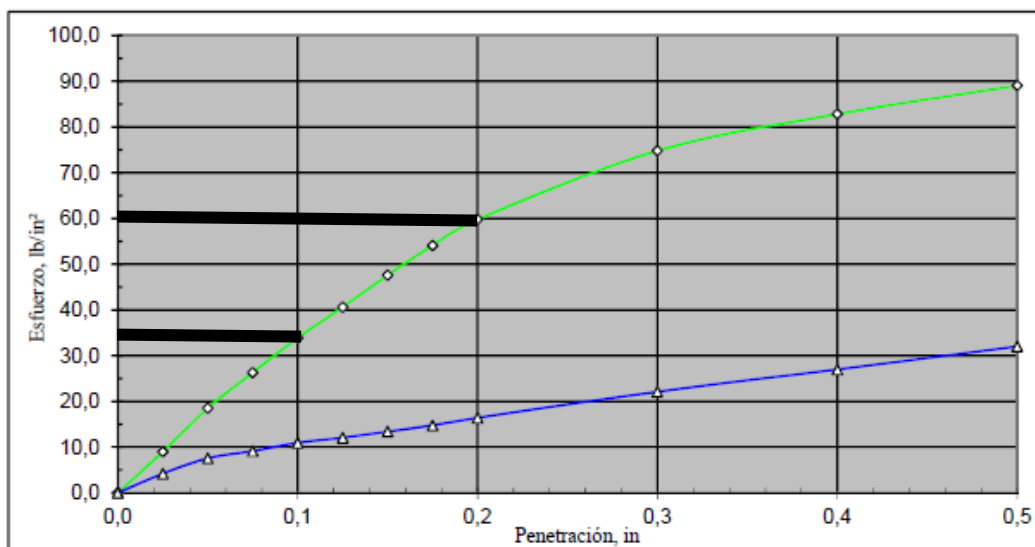
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 82. CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 1 en el Tramo de prueba 2.

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión				
	4			
Expansión, in				
	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.120	9.0	0.056	4.2
0.050	0.247	18.5	0.101	7.6
0.075	0.351	26.3	0.122	9.1
0.100	0.452	33.9	0.146	10.9
0.125	0.542	40.6	0.161	12.1
0.150	0.635	47.6	0.179	13.4
0.175	0.722	54.1	0.197	14.8
0.200	0.798	59.8	0.219	16.4
0.300	0.998	74.8	0.295	22.1
0.400	1.105	82.8	0.360	27.0
0.500	1.188	89.0	0.427	32.0
CBR Corregido 0.1"	3.4		1.1	
CBR Corregido 0.2"	4.0		1.1	
Humedad de penetración, %	11.2		31.64	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	1.80			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1.62			

Fuente: Anexo 39. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.

Figura 55. CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 1 en el Tramo de prueba 2.



Fuente: Anexo 39. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 55 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 34.1 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.2346 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.2346 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 3.4\%$$

De la Figura 55 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 59.75 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.412 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (0.412 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 4.0\%$$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO para el suelo natural en el tramo de prueba No. 2, para la Muestra No 2 en una Profundidad 0.10 m - 0.30 m en el Anexo 40, **14. CBR NATURAL TRAMO 2 K0+006.0.**

Tabla 83. CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 2 en el Tramo de prueba 2.

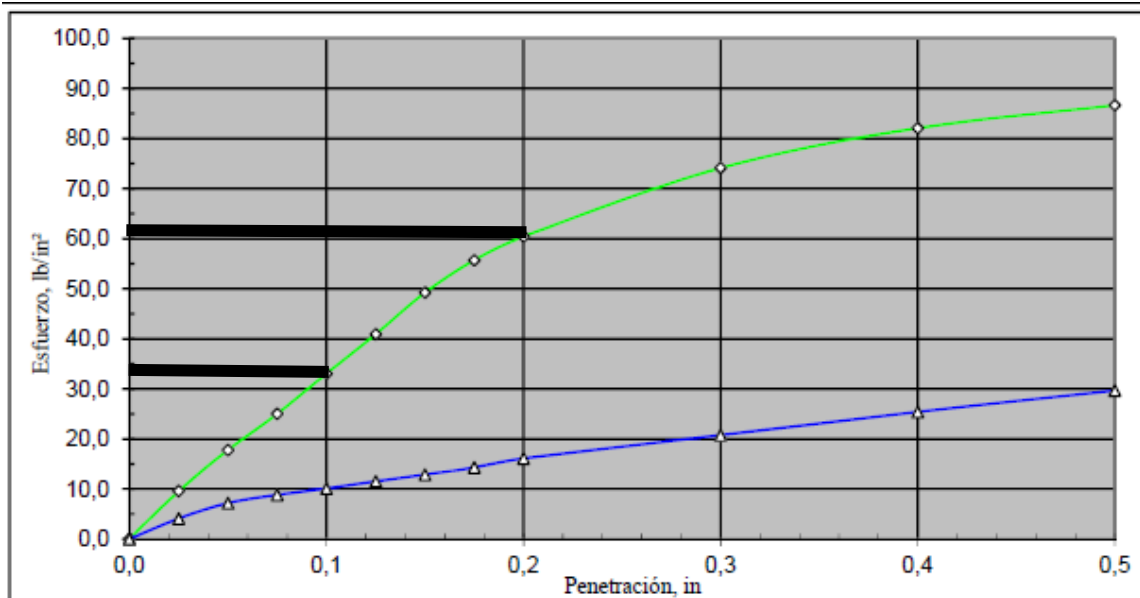
Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.128	9.6	0.055	4.1
0.050	0.237	17.8	0.096	7.2
0.075	0.334	25.0	0.118	8.8
0.100	0.441	33.0	0.135	10.1
0.125	0.546	40.9	0.154	11.5
0.150	0.657	49.2	0.172	12.9
0.175	0.743	55.7	0.191	14.3
0.200	0.806	60.4	0.215	16.1
0.300	0.989	74.1	0.277	20.8
0.400	1.095	82.1	0.339	25.4
0.500	1.156	86.6	0.396	29.7
CBR Corregido 0.1"	3.3		1	

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
CBR Corregido 0.2"	4		1.1	
Humedad de penetración, %	12.22		32.63	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	1.80			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1.61			

Fuente: Anexo 40. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.

Figura 56. CBR INALTERADO en el suelo natural, de la Muestra No. 2 en el Tramo de prueba 2.



Fuente: Anexo 40. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 56 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 33 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.2277 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.2277 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

$$\text{CBR } 0.1 = 3.3\%$$

De la Figura 56 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 59.75 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.412 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (0.412 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 4.0\%$$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO para el suelo natural en el Tramo de prueba No. 2, para la Muestra No 3 en una Profundidad de 0.10 m - 0.30 m en el Anexo 41, **15. CBR NATURAL TRAMO 2 K0+009.0.**

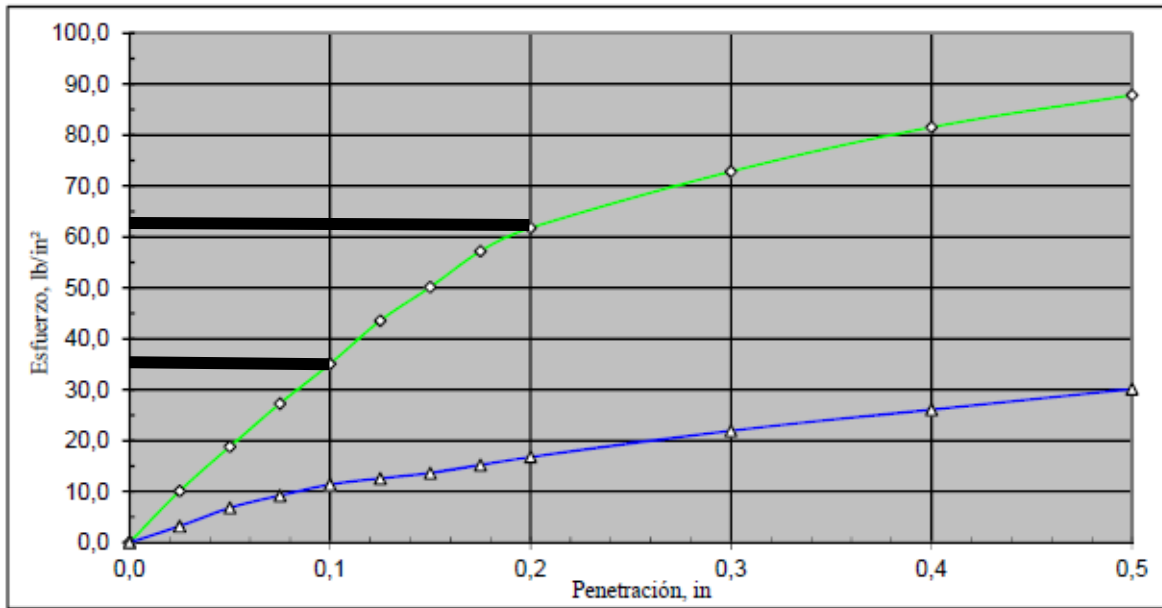
Tabla 84. *Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2.*

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.135	10.1	0.043	3.2
0.050	0.251	18.8	0.091	6.8
0.075	0.364	27.3	0.123	9.2
0.100	0.4698	35.1	0.152	11.4
0.125	0.581	43.5	0.168	12.6
0.150	0.669	50.1	0.182	13.6
0.175	0.763	57.2	0.203	15.2
0.200	0.824	61.7	0.224	16.8
0.300	0.972	72.8	0.293	22.0
0.400	1.088	81.5	0.348	26.1
0.500	1.172	87.8	0.402	30.1
CBR Corregido 0.1"	3.5		1.1	
CBR Corregido 0.2"	4.1		1.1	
Humedad de penetración, %	11.88		31.41	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	1.84			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1.64			

*Fuente:* Anexo 41. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 57. Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2.



Fuente: Anexo 41. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 57 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 35 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.2415 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.2415 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 3.5\%$$

De la Figura 57 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 61.2 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.4223 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (0.4223 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 4.1\%$$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO para el suelo natural en el Tramo de prueba No. 2, para la Muestra No 1 en una Profundidad 0.10 m - 0.30 m en el Anexo 43, **16. CBR ADICIÓN TRAMO 2 K0+003.0.**

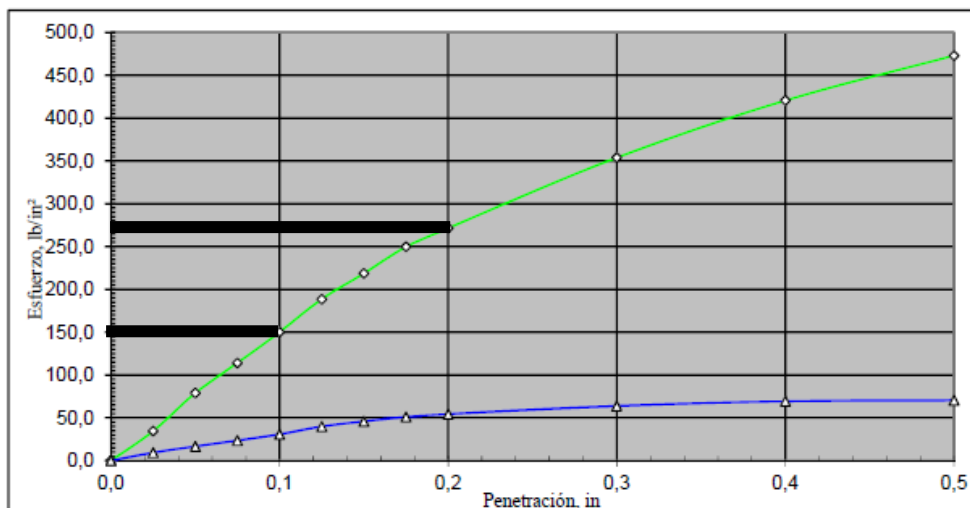
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 85. *Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 1 en el Tramo de prueba 2.*

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.461	34.5	0.124	9.3
0.050	1.054	79.0	0.222	16.6
0.075	1.522	114.1	0.314	23.5
0.100	2.004	150.2	0.411	30.8
0.125	2.516	188.5	0.532	39.9
0.150	2.917	218.6	0.612	45.9
0.175	3.332	249.7	0.681	51.0
0.200	3.623	271.5	0.726	54.4
0.300	4.721	353.8	0.851	63.8
0.400	5.612	420.5	0.926	69.4
0.500	6.311	472.9	0.941	70.5
CBR Corregido 0.1"	15.0		3.1	
CBR Corregido 0.2"	18.1		3.6	
Humedad de penetración, %	14.57		17.88	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.37			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.07			

*Fuente:* Anexo 43. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.

Figura 58. *Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 1 en el Tramo de prueba 2.*



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

*Fuente:* Anexo 43. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 58 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 151.1 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.035 Mpa.

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (1.035 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 15.0\%$$

De la Figura 58 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 270.3 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.8643 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (1.8643 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 18.1\%$$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO en el Tramo de prueba No. 2, para la Muestra No 2 en una Profundidad de 0.10 m - 0.30 m en el Anexo 44, **17. CBR ADICIÓN TRAMO 2 K0+0.06.**

Tabla 86. *Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 2 en el Tramo de prueba 2.*

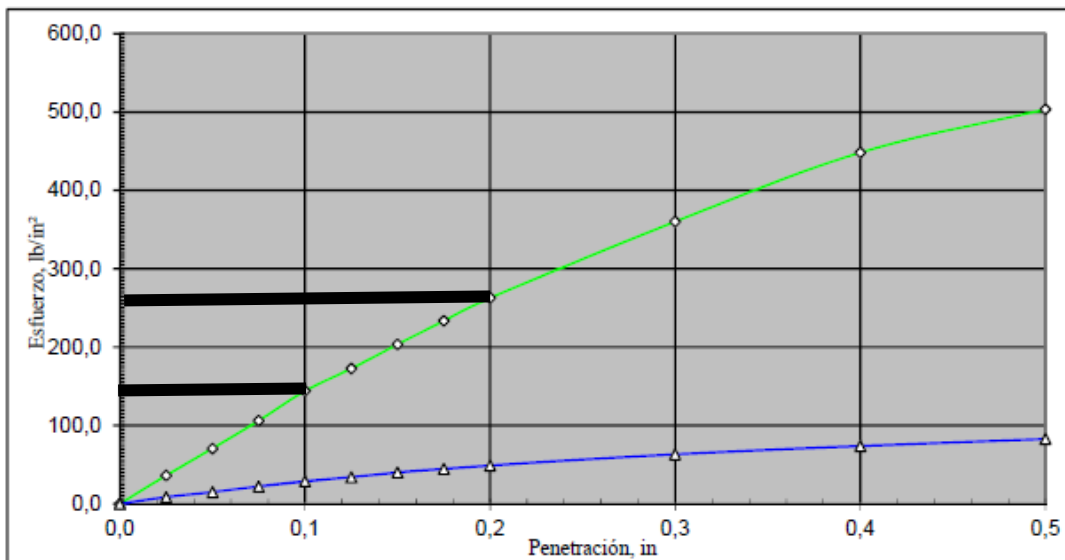
Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	0.485	36.3	0.117	8.8
0.050	0.942	70.6	0.201	15.1
0.075	1.418	106.3	0.298	22.3
0.100	1.923	144.1	0.386	28.9
0.125	2.304	172.7	0.455	34.1
0.150	2.715	203.5	0.536	40.2
0.175	3.116	233.5	0.596	44.7
0.200	3.506	262.7	0.655	49.1
0.300	4.805	360.1	0.845	63.3
0.400	5.981	448.2	0.986	73.9

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.500	6.716	503.3	1.105	82.8
CBR Corregido 0.1"	14.4		2.9	
CBR Corregido 0.2"	17.5		3.3	
Humedad de penetración, %	9.02		15.56	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.25			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.06			

*Fuente:* Anexo 44. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.

Figura 59. Ensayo de CBR INALTERADO en suelo natural, de la Muestra 2 en el Tramo de prueba 2.



*Fuente:* Anexo 44. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 59 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 144 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.9936 Mpa.

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

$$\text{CBR } 0.1 = (0.9936 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 14.4\%$$

De la Figura 59 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 261.4 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.8025 Mpa.

$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (1.8025 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 17.5\%$$

A continuación se presentan los resultados de los ensayos del CBR INALTERADO en el Tramo de prueba No. 2, para la Muestra No 3 en una Profundidad de 0.10 m - 0.30 m en el Anexo 45, **18.CBR ADICIÓN TRAMO 2 K0+009.0.**

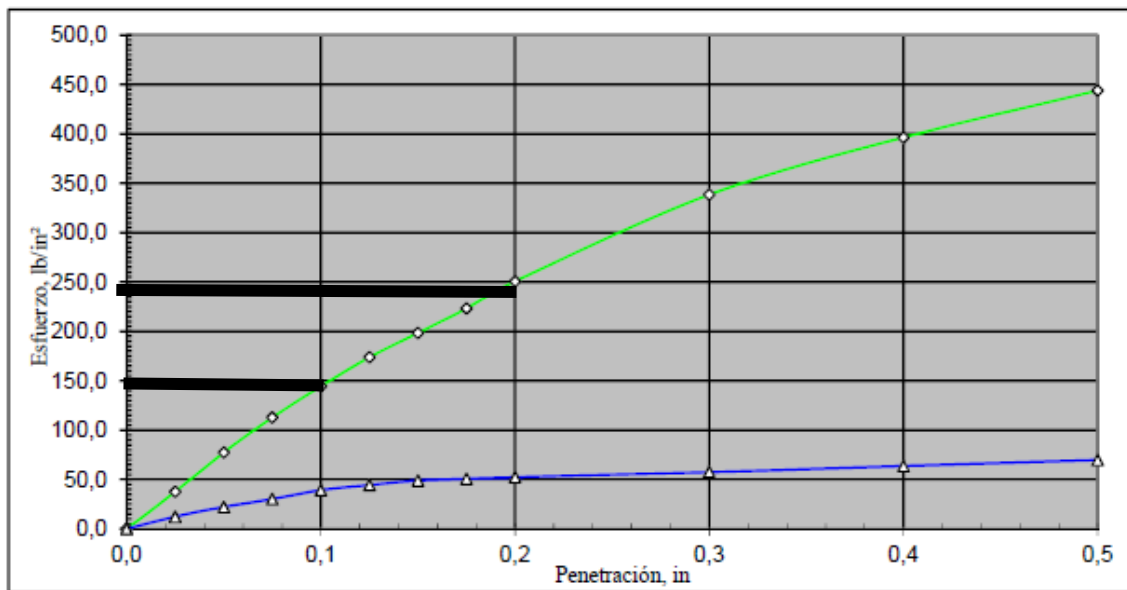
Tabla 87. *Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2.*

MOLDE NO	1		1	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	NATURAL		SATURADA	
DÍAS DE INMERSIÓN	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0.00	0.0	0.00	0.0
0.025	0.501	37.5	0.164	12.3
0.050	1.033	77.4	0.296	22.2
0.075	1.504	112.7	0.403	30.2
0.100	1.926	144.3	0.524	39.3
0.125	2.318	173.7	0.592	44.4
0.150	2.647	198.4	0.653	48.9
0.175	2.977	223.1	0.677	50.7
0.200	3.343	250.5	0.698	52.3
0.300	4.516	338.4	0.767	57.5
0.400	5.289	396.3	0.849	63.6
0.500	5.923	443.8	0.931	69.8
CBR Corregido 0.1"	14.4		3.9	
CBR Corregido 0.2"	16.7		3.5	
Humedad de penetración, %	11.26		18.11	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.26			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.03			

*Fuente:* Anexo 45. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 60. Ensayo de CBR INALTERADO, de la Muestra 3 en el Tramo de prueba 2.



Fuente: Anexo 45. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.

Una vez determinado la presión ejercida por el pistón para penetrar determinadas profundidades en la muestra, se procede a graficar los datos de Esfuerzo vs Penetración, y así hallar el esfuerzo a 0.1 in y 0.2 in. Resultados que se dividen por los esfuerzos de referencia 6.9 Mpa y 10.3 Mpa. Y así hallar la resistencia al corte de dicho material.

De la Figura 60 se busca el esfuerzo a 0.1 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 144 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 0.9936 Mpa

$$\text{CBR } 0.1 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = (0.9936 \text{ Mpa} / 6.9 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.1 = 14.4\%$$

De la Figura 60 se busca el esfuerzo a 0.2 pulgadas hallando un esfuerzo de penetración de 249.45 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 1.7201 Mpa.

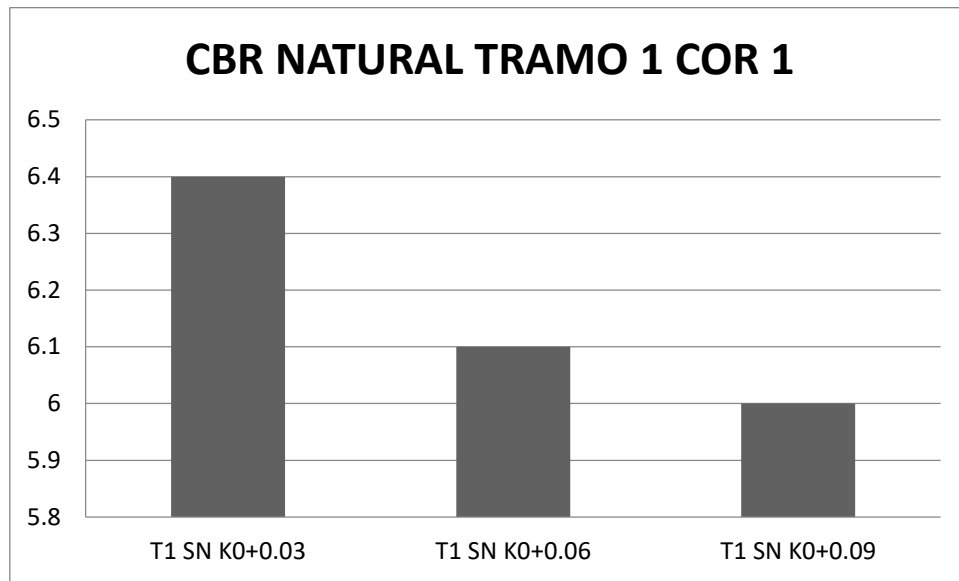
$$\text{CBR } 0.2 = (\text{Carga Unitaria del Ensayo} / \text{Carga Unitaria Patrón}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = (1.7201 \text{ Mpa} / 10.3 \text{ Mpa}) * 100$$

$$\text{CBR } 0.2 = 16.7\%$$

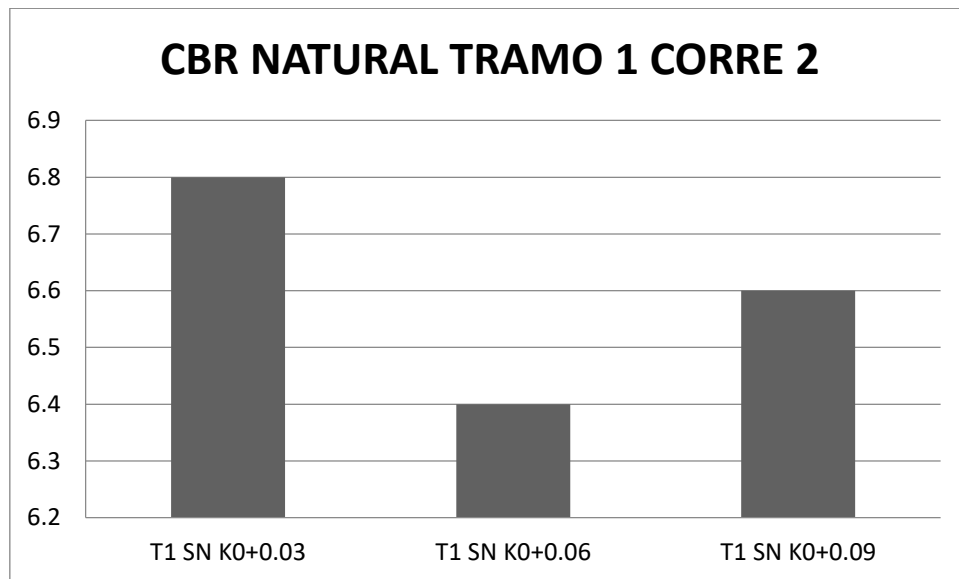
**10.3.4 Análisis de resultados del CBR en el Tramo de prueba 1**

Figura 61. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

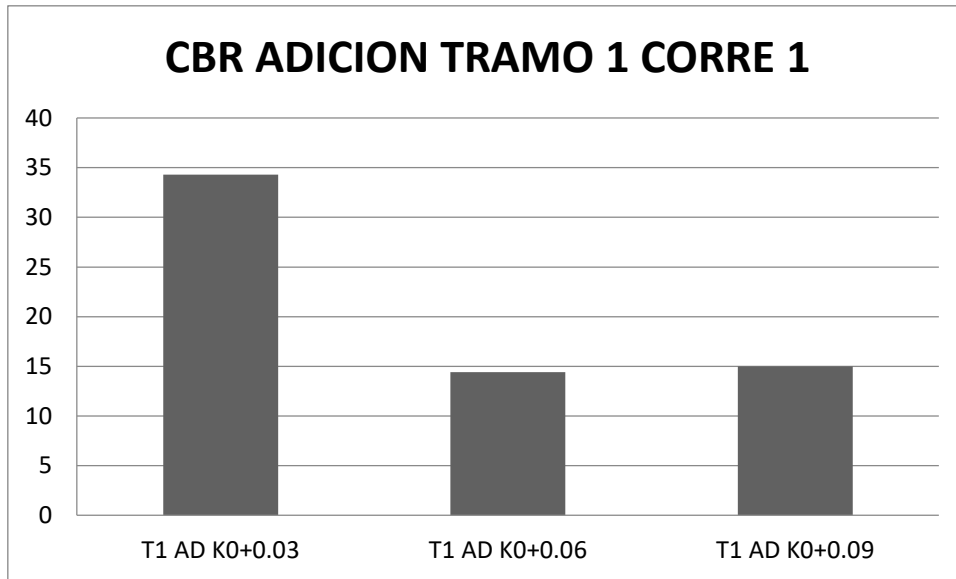
Figura 62. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

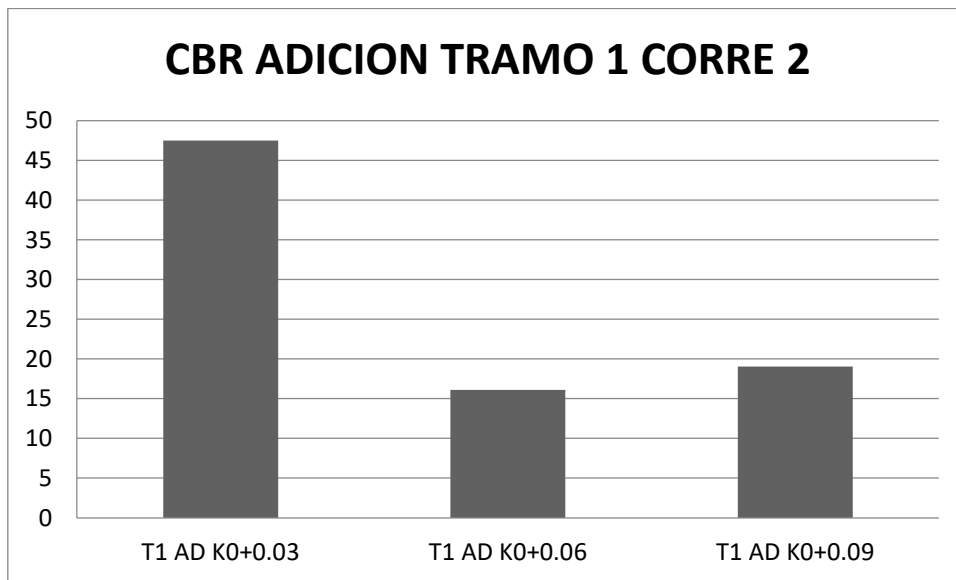
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 63. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno con adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

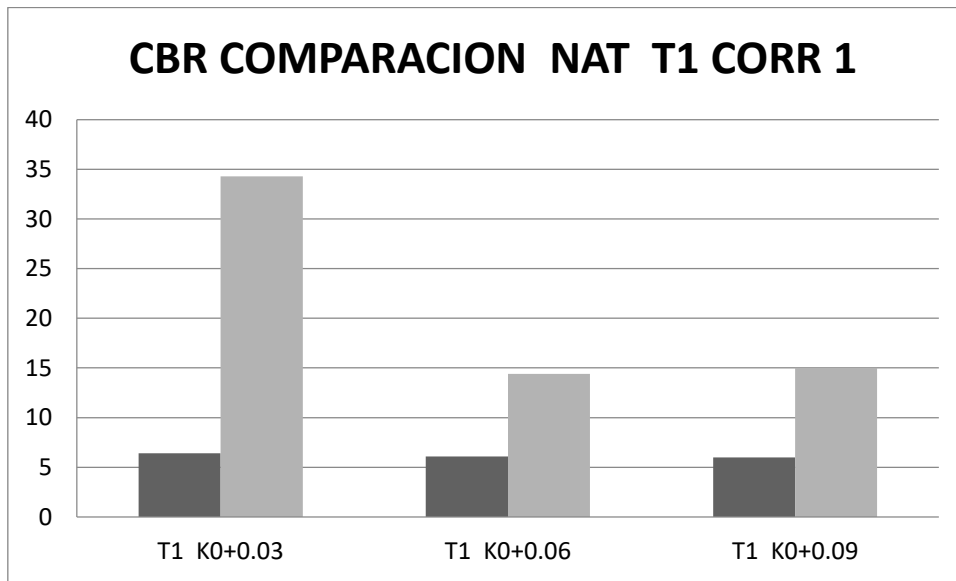
Figura 64. CBR del Tramo 1 de prueba en el terreno con adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

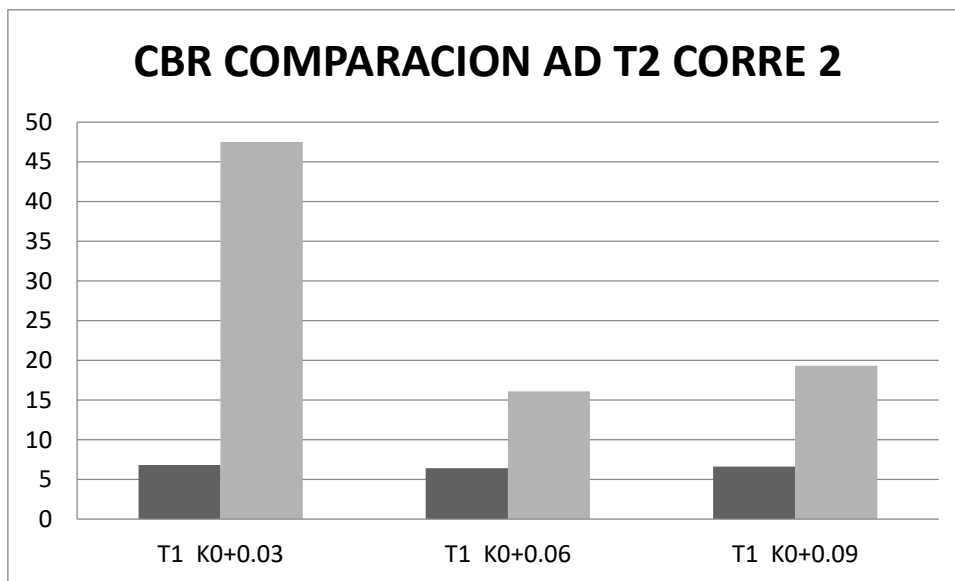
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 65. Comparación del CBR de Tramo 1 de prueba entre el terreno natural y adición de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. Se muestra CBR comparación de Tramo 1 de prueba entre natural y adición de escoria.

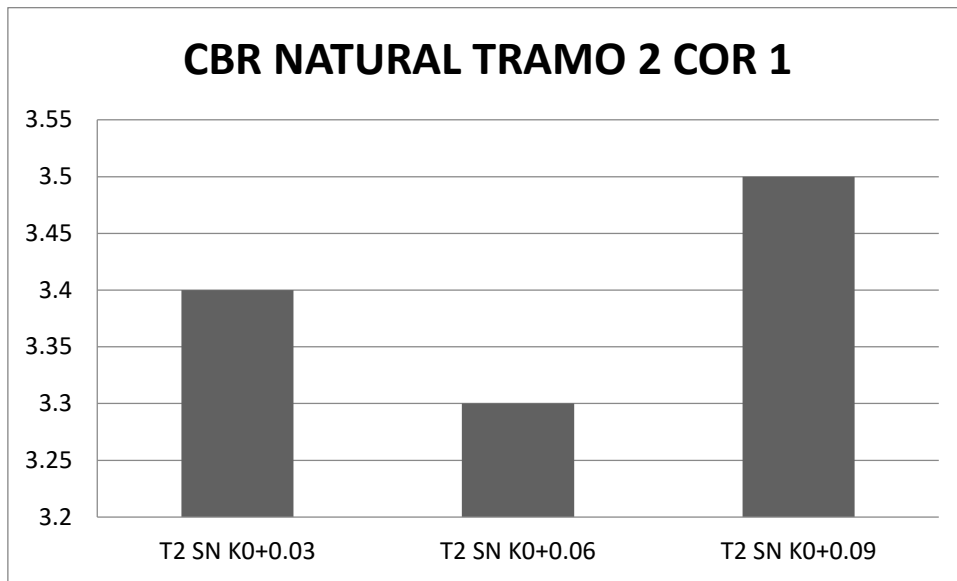


Fuente: Elaboración propia.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

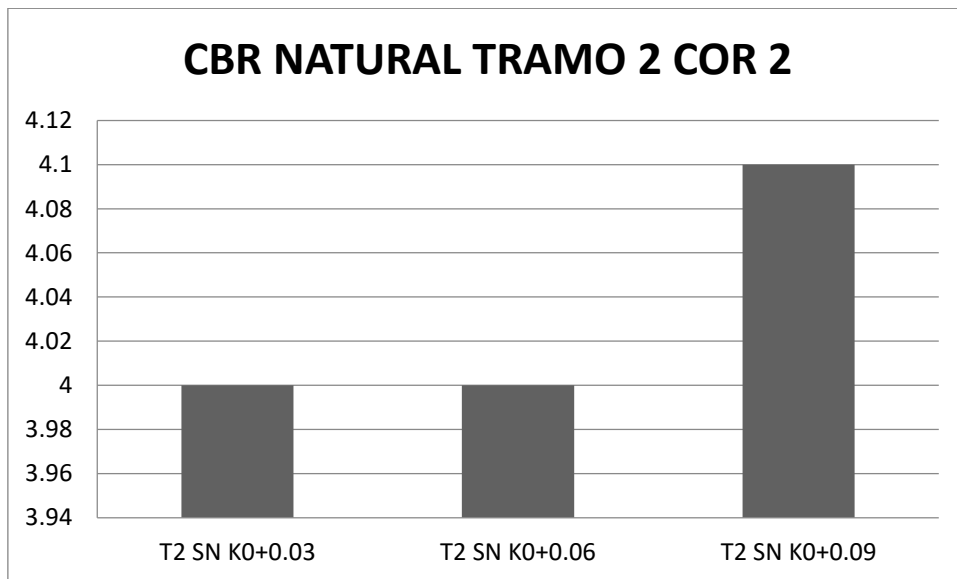
### 10.3.5 Análisis de resultados del CBR en el Tramo de prueba 2

Figura 67. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

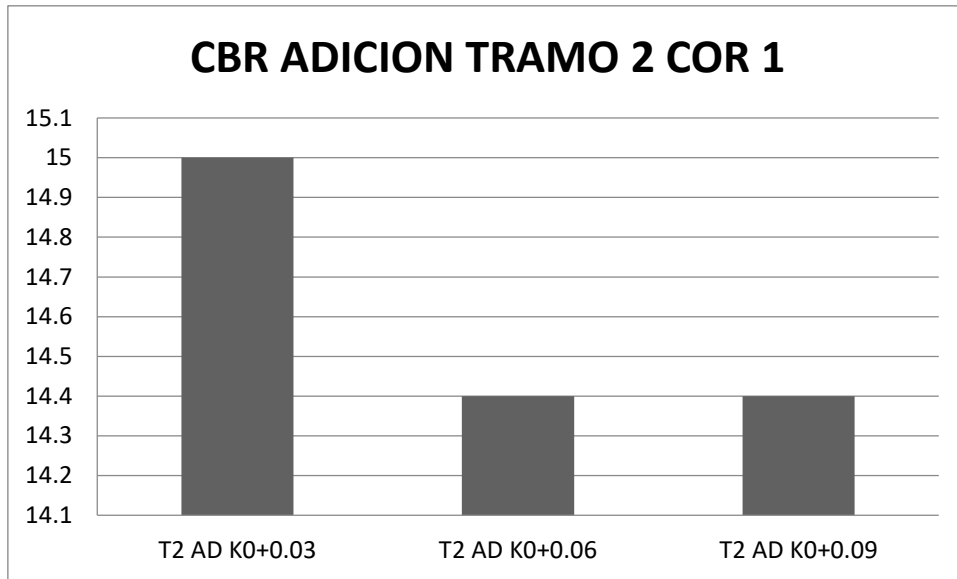
Figura 68. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno natural sin adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

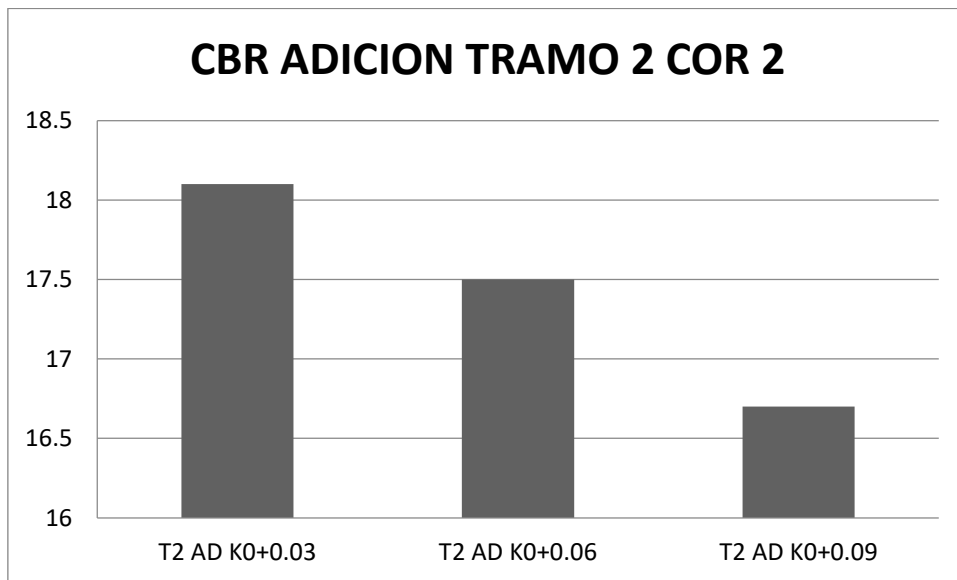
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 69. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno con adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

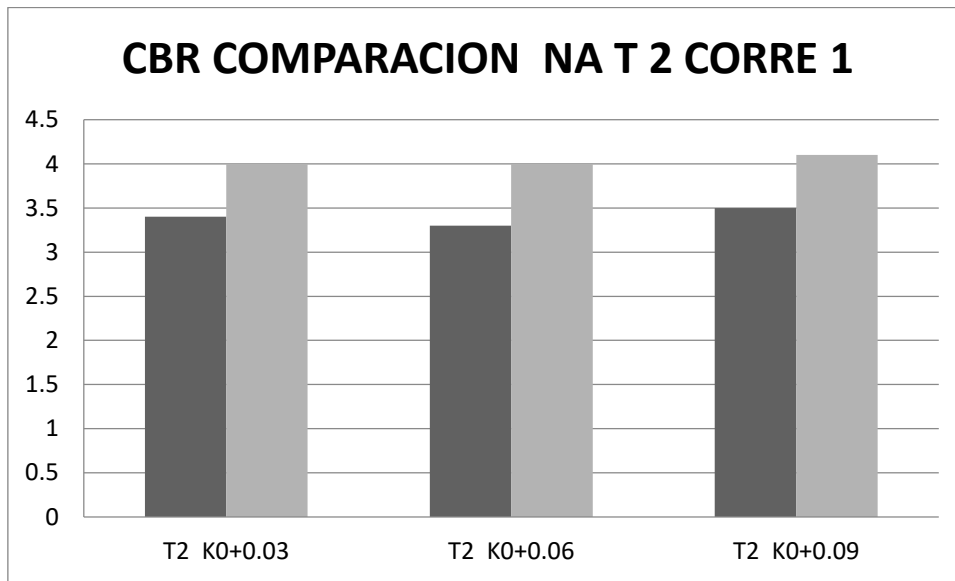
Figura 70. CBR del Tramo 2 de prueba en el terreno con adiciones de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

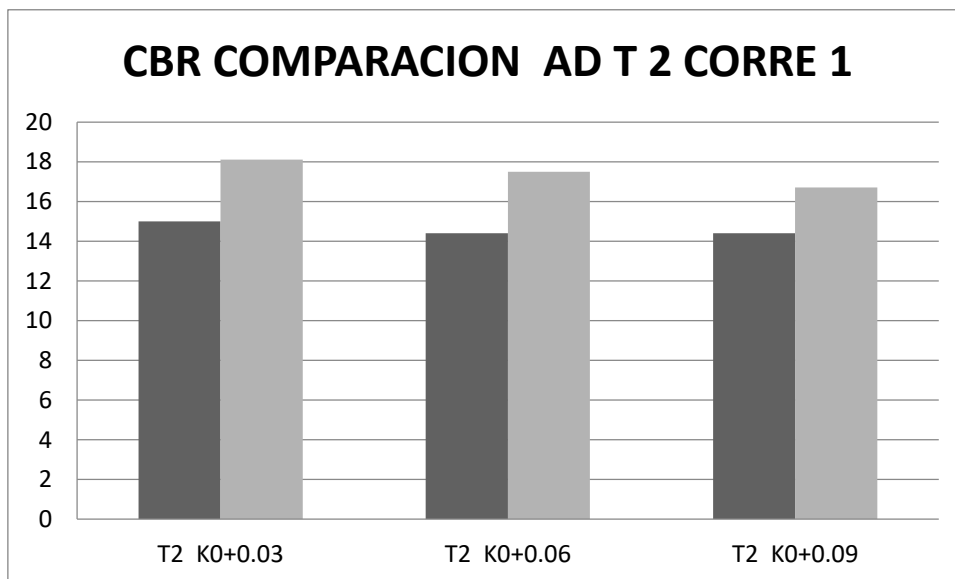
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 71. Comparación del CBR de Tramo 2 de prueba entre el terreno natural y adición de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 72. Comparación del CBR de Tramo 2 de prueba entre el terreno natural y adición de escoria.



Fuente: Elaboración propia.

De las anteriores gráficas se puede concluir que las adiciones de escoria se comportan muy bien dentro de la mezcla, aumentando la capacidad de soporte del suelo en los tramos indicados, la bondad de su aplicación en las vías terciarias primero se reducirían los costos debido a que, primero no se tendrían que realizar excavaciones muy profundas y la capa de mejoramiento es el estrato mejorado con la escoria.

**10.3.6 Registro fotográfico en el Tramo de prueba 1**

Fotografía 96. Tramo 1 de prueba.



*Fuente:* Elaboración propia.

En la Fotografía 96, se puede observar que la mezcla de la escoria con la subrasante se comporta de buena manera debido a que la escoria es un material granular cuyo comportamiento ayuda a mejorar su capacidad portante.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 97. Tramo 1 de prueba.



*Fuente:* Elaboración propia.

En la Fotografía 97, se puede observar que la mezcla de la escoria con la subrasante se comporta similar a un afirmado normal, y si no se hace un tratamiento adecuado se empiezan a presentar baqueos y material vegetal.

### 10.3.7 Registro fotográfico en el Tramo de prueba 2

Fotografía 98. Tramo 2 de prueba.



*Fuente:* Elaboración propia.

De acuerdo con la Fotografía 98 en el Tramo 2 de prueba, se observa que la mezcla se comporta mejor que la subrasante mejorada en el Tramo 1 debido a que este tramo se realizó de forma mecánica lo que garantizó que la mezcla quedara más compacta.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Fotografía 99. Tramo 2 de prueba.



Fuente: Elaboración propia.

En la Fotografía 99, se evidencia el cambio de color del afirmado, donde se ve un tono más oscuro debido al contenido de material de escoria que es de color gris y también se evidencia que el resto de tramo es presenta el color café característico de las vías terciarias de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, de acuerdo con el seguimiento que se le ha realizado a los tramo en estudio, se puede observar que con el paso de los vehículos y del tiempo, en la zona de los tramos de prueba la polución se reduce, debido a que la escoria es un material granular poroso en el cual recoge gran parte de humedad adhiere la adherencia del material fino de mejor manera que en un material granular normal.

### COMPARACIÓN DE COSTOS

- El mejoramiento para un afirmado de una subrasante en un material convencional tendría para un tramo similar al que se realizó un costo global de:

EXCAVACIONES Y RELLENOS				
EXCAVACIÓN	m <sup>3</sup>	12.00	\$ 35,000.00	\$ 420,000.00
RELLENO CON RECEBO COMPACTADO	m <sup>3</sup>	12.00	\$ 70,000.00	\$ 840,000.00

- El recebo tiene un precio de \$300.000 y adicionalmente para poder instalar este se debe excavar y retirar una capa aproximada de 0.3 m.
- Al realizar el mejoramiento de la subrasante con la escoria, se establece que:

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

ESCORIA	m <sup>3</sup>	12.00	\$ 45,000.00	\$ 540,000.00
---------	----------------	-------	--------------	---------------

La ventaja que se puede evidenciar desde el punto de vista económico es que al trabajar con la escoria se están ahorrando los ítems de excavación y disposición final de los residuos que si se aplica en tramos largos los costos serian representativos.

### 10.3.8 Ensayo de CBR tramo con adición de escoria de acería

Del Anexo 25, que corresponde a los resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con la escoria de acería en el tramo de prueba, se presentan los datos para una profundidad de 0.1 m – 0.30 m, en la Perforación AP-2, muestra M-1, en la Tabla 88 y Figura 73.

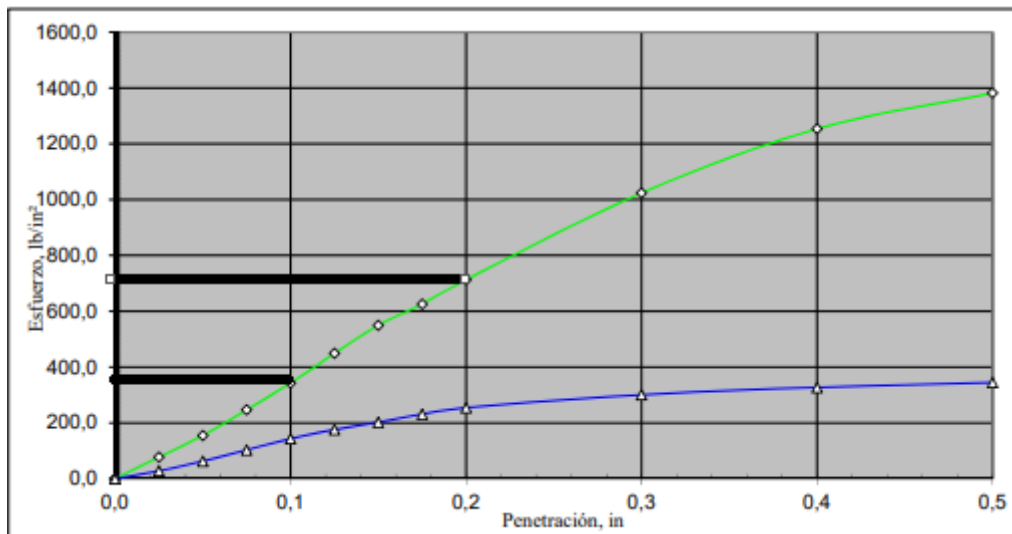
Tabla 88. Resultado del ensayo de CBR del suelo natural con la escoria de acería.

Molde No	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	4			
Expansión, in	0.004			
Penetración, in	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de penetración KN	Esfuerzo Lb/in <sup>2</sup>
0.000	0	0.0	0	0.0
0.025	1.034	77.5	0.375	28.1
0.050	2.065	154.7	0.840	62.9
0.075	3.296	247.0	1.377	103.2
0.100	4.575	342.8	1.915	143.5
0.125	5.995	449.2	2.350	176.1
0.150	7.336	549.7	2.700	202.3
0.175	8.350	625.7	3.091	231.6
0.200	9.515	713.0	3.398	254.6
0.300	13.660	1023.6	4.020	301.2
0.400	16.730	1253.7	4.365	327.1
0.500	18.440	1381.8	4.598	344.6
CBR Corregido 0.1"	34.3		14.4	
CBR Corregido 0.2"	47.5		17.0	
Humedad de penetración, %	6.02		13.26	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2.48			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2.34			

Fuente: Anexo 25. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Perforación AP-2, muestra M-1. Anexo 25

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 73. Resultado del ensayo de CBR del suelo natural con la escoria de acería.



Fuente: Anexo 25. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Perforación AP-2, muestra M-1.

En la Figura 73, se observa que proyectando la profundidad de penetración a 0.1" se obtiene un esfuerzo de penetración de 343.23 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 2.3667 Mpa.

Para obtener el CBR corregido, se desarrollan las siguientes ecuaciones tomando la información del Anexo 25.

$$CBR\ 0.1'' = \left[ \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \right] * 100$$

$$CBR\ 0.1'' = \left[ \frac{2.3667\ \text{Mpa}}{6.9\ \text{Mpa}} \right] * 100 = 34.3\%$$

De la Figura 73, se proyecta el valor del esfuerzo de penetración a 0.2" encontrando un esfuerzo de penetración de 709.5 lb/in<sup>2</sup>, que equivale a 4.89 Mpa.

$$CBR\ 0.2'' = \left[ \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \right] * 100$$

$$CBR\ 0.2'' = \left[ \frac{4.89\ \text{Mpa}}{10.3\ \text{Mpa}} \right] * 100 = 47.5\%$$

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

### 10.4 ENSAYO TRIAXIAL EN EL TRAMO DE PRUEBA

Los resultados del ensayo Triaxial se toman del Anexo 29

**Sondeo: 1 Muestra: 1 Profundidad: 0.8 m**

Presión de la cámara = 1.30 Kg/cm<sup>2</sup> 127.49 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo mayor en la falla = 4.93 Kg/cm<sup>2</sup> 483.21 KN/m<sup>2</sup>

Presión de poros inicial = 0.77 Kg/cm<sup>2</sup> 75.80 KN/m<sup>2</sup>

Presión de poros sobre la falla = 0.48 Kg/cm<sup>2</sup> 46.64 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo Efectivo Consolidación = 0.53 Kg/cm<sup>2</sup> 51.69 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo Efectivo Mayor en Falla = 4.45 Kg/cm<sup>2</sup> 436.57 KN/m<sup>2</sup>

Diámetro = 3.60 cm      Altura = 7.14 cm      Área (Ac) = 10.20 cm<sup>2</sup>      Volumen = 72.83 cm<sup>3</sup>

**PRIMER PUNTO**      Corrección por membrana y papel filtro si

Tabla 89. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.

1	Deformación	Presión poros	Deformación	Carga	Presión poros	Incremento a presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	s	t	s'
	mm	KN/m <sup>2</sup>	%	kgf	Kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
0	0.00	77.29	0.00	0.0	0.773	0.000	10.20	0.00	1.30	1.30	0.00	1.30	0.000	1.30
7.5	0.10	81.06	0.14	7.7	0.811	0.038	10.21	0.75	1.55	1.51	0.75	1.68	0.376	1.64
15	0.48	83.70	0.68	15.4	0.837	0.064	10.27	1.49	1.80	1.73	1.49	2.04	0.744	1.98
22.5	0.57	89.94	1.22	23.4	0.898	0.125	10.33	2.24	2.05	1.92	2.24	2.42	1.122	2.30

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

1	Defor	Presión poros	Defor	Carga	Presión poros	Incremento presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	s	t	s'
	mm	KN/m2	%	kgf	Kg/cm2	kg/cm2	Cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm
30	1.25	96.24	1.75	29.2	0.962	0.190	10.38	2.78	2.23	2.04	2.78	2.69	1.391	2.50
37.5	1.62	102.15	2.27	31.6	1.022	0.249	10.44	2.99	2.30	2.05	2.99	2.79	1.494	2.54
45	1.99	105.37	2.79	33.3	1.054	0.281	10.49	3.12	2.34	2.06	3.12	2.86	1.562	2.58
52.75	2.37	107.92	3.32	34.6	1.079	0.306	10.55	3.22	2.37	2.07	3.22	2.91	1.610	2.60
60	2.74	110.66	3.84	35.9	1.107	0.334	10.61	3.32	2.41	2.07	3.32	2.96	1.658	2.62
67.5	3.15	113.30	4.41	37.0	1.133	0.360	10.67	3.39	2.43	2.07	3.39	2.99	1.695	2.63
75	3.53	115.42	4.95	37.9	1.154	0.381	10.73	3.44	2.45	2.07	3.44	3.02	1.722	2.64
82.5	3.92	117.47	5.50	38.7	1.175	0.402	10.79	3.49	2.46	2.06	3.49	3.04	1.744	2.64
90	4.32	119.29	6.05	39.5	1.193	0.420	10.86	3.53	2.48	2.06	3.53	3.07	1.765	2.65
97.5	4.71	119.79	6.59	40.2	1.198	0.425	10.92	3.56	2.49	2.05	3.56	3.08	1.782	2.66
105	5.10	121.53	7.14	40.7	1.215	0.442	10.98	3.58	2.49	2.05	3.58	3.09	1.789	2.65
112.55	5.49	121.93	7.68	41.2	1.219	0.446	11.05	3.59	2.50	2.05	3.59	3.10	1.796	2.65
120	5.87	123.73	8.23	41.8	1.237	0.464	11.11	3.62	2.51	2.04	3.62	3.11	1.808	2.64
127.5	6.26	122.78	8.77	42.1	1.228	0.455	11.18	3.61	2.50	2.05	3.61	3.11	1.805	2.65
135	6.64	123.85	9.29	42.5	1.239	0.466	11.25	3.61	2.50	2.04	3.61	3.11	1.807	2.64
142.5	7.02	124.40	9.83	43.0	1.244	0.471	11.31	3.63	2.51	2.04	3.63	3.11	1.814	2.64
150	7.38	125.30	10.34	43.1	1.253	0.480	11.38	3.61	2.50	2.02	3.61	3.10	1.803	2.62
157.5	7.78	124.67	10.89	43.2	1.247	0.474	11.45	3.58	2.49	2.02	3.58	3.09	1.791	2.62
165	8.17	124.85	11.45	43.3	1.248	0.476	11.52	3.58	2.49	2.01	3.56	3.08	1.778	2.60
172.5	8.56	126.07	11.99	43.1	1.261	0.488	11.59	3.51	2.47	1.98	3.51	3.05	1.753	2.57
180	8.96	124.50	12.55	42.8	1.245	0.472	11.66	3.45	2.45	1.98	3.45	3.02	1.724	2.55
187.5	9.35	125.45	13.09	42.6	1.254	0.482	11.74	3.40	2.43	1.95	3.40	3.00	1.699	2.52
195	9.75	126.44	13.65	42.4	1.264	0.492	11.81	3.35	2.42	1.92	3.35	2.97	1.674	2.48
202.5	10.15	125.80	14.22	42.2	1.258	0.485	11.89	3.30	2.40	1.91	3.30	2.95	1.649	2.46
210	10.53	126.37	14.75	42.0	1.264	0.491	11.96	3.25	2.38	1.89	3.25	2.92	1.625	2.43
217.5	10.92	125.05	15.30	41.8	1.250	0.478	12.04	3.20	2.37	1.89	3.20	2.90	1.600	2.42
225	11.32	126.44	15.86	41.8	1.264	0.492	12.12	3.17	2.36	1.86	3.17	2.88	1.583	2.39

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

1	Deformación	Presión poros	Deformación	Carga	Presión poros	Incremento a presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	s	t	s'
	mm	KN/m <sup>2</sup>	%	kgf	Kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm
232.5	11.72	125.67	16.42	41.8	1.257	0.484	12.20	3.12	2.34	1.86	3.12	2.86	1.559	2.38

Fuente: Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3.

Los resultados del ensayo Triaxial se toman del Anexo 31.

### Sondeo: 1 Muestra: 1 Profundidad: 0.8 m

Presión de la cámara = 3.00 Kg/cm<sup>2</sup> 294.20 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo mayor en la falla = 7.89 Kg/cm<sup>2</sup> 773.82 KN/m<sup>2</sup>

Presión de poros inicial = 1.98 Kg/cm<sup>2</sup> 194.00 KN/m<sup>2</sup>

Presión de poros sobre la falla = 0.63 Kg/cm<sup>2</sup> 61.73 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo Efectivo Consolidación = 1.02 Kg/cm<sup>2</sup> 100.20 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo Efectivo Mayor en Falla = 7.26 Kg/cm<sup>2</sup> 712.09 KN/m<sup>2</sup>

Diámetro = 3.63 cm      Altura = 7.12 cm      Área (Ac) = 10.39 cm<sup>2</sup>      Volumen = 73.95 cm<sup>3</sup>

### SEGUNDO PUNTO

Corrección por membrana y papel filtro si

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 90. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería

Tiempo minutos	Defor	Presión poros	Defor	Carga	Presión Poros	Incremento presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	S	t	s'
	Mm	KN/m2	%	kgf	Kg/cm2	kg/cm2	Cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm
0	0.00	197.83	0.00	0.00	1.978	0.000	10.39	0.00	3.00	3.00	0.00	3.00	0.000	3.00
7	0.35	201.17	0.49	12.16	2.012	0.033	10.44	1.16	3.39	3.35	1.16	3.58	0.578	3.54
14	0.67	210.19	0.95	26.13	2.102	0.124	10.48	2.48	3.83	3.70	2.48	4.24	1.238	4.11
21	1.01	226.75	1.42	36.9	2.268	0.289	10.53	3.41	4.14	3.85	3.41	4.71	1.705	4.42
28	1.37	242.51	1.93	39.79	2.245	0.447	10.59	3.72	4.24	3.79	3.72	4.86	1.862	4.42
35	1.73	255.88	2.43	42.19	2.559	0.581	10.64	3.92	4.31	3.73	3.92	4.96	1.961	4.38
42	2.08	266.45	2.92	43.84	2.665	0.686	10.70	4.05	4.35	3.66	4.05	5.02	2.024	4.34
49	2.45	269.99	3.45	45.50	2.700	0.722	10.76	4.17	4.39	3.67	4.17	5.08	2.085	4.36
56	2.82	276.08	3.96	47.00	2.761	0.783	10.81	4.28	4.43	3.64	4.28	5.14	2.138	4.36
63	3.20	279.12	4.49	48.20	2.791	0.813	10.87	4.35	4.45	3.64	4.35	5.18	2.177	4.36
70	3.57	281.07	5.01	49.55	2.811	0.832	10.93	4.44	4.48	3.65	4.44	5.22	2.222	4.39
77	3.94	283.46	5.54	50.45	2.835	0.856	10.99	4.49	4.50	3.64	4.49	5.25	2.248	4.39
84	4.32	282.66	6.06	51.35	2.827	0.848	11.06	4.54	4.51	3.66	4.54	5.27	2.270	4.42
91	4.68	282.11	6.58	52.10	2.821	0.843	11.12	4.57	4.52	3.68	4.57	5.29	2.286	4.44
98	5.04	278.92	7.07	52.40	2.789	0.811	11.18	4.57	4.52	3.71	4.57	5.28	2.283	4.47
105	5.39	280.02	7.57	53.15	2.800	0.822	11.24	4.60	4.53	3.71	4.60	5.30	2.299	4.48
112	5.75	278.37	8.08	53.75	2.784	0.805	11.30	4.62	4.54	3.73	4.62	5.31	2.308	4.50
119	6.11	277.48	8.58	54.50	2.775	0.797	11.36	4.65	4.55	3.75	4.65	5.32	2.324	4.53
126	6.47	276.13	9.09	55.11	2.761	0.783	11.42	4.67	4.56	3.77	4.67	5.33	2.333	4.55
133	6.83	274.53	9.60	55.86	2.745	0.767	11.49	4.69	4.56	3.80	4.69	5.35	2.347	4.58
140	7.20	275.88	10.12	57.36	2.759	0.781	11.55	4.79	4.60	3.82	4.79	5.39	2.394	4.61
147	7.57	275.88	10.63	57.81	2.757	0.779	11.62	4.79	4.60	3.82	4.79	5.39	2.395	4.62
154	7.93	274.08	11.14	58.41	2.741	0.763	11.69	4.80	4.60	3.84	4.80	5.40	2.402	4.64
161	8.30	274.78	11.65	59.01	2.748	0.770	11.76	4.82	4.61	3.84	4.82	5.41	2.408	4.64
168	8.70	270.59	12.22	59.76	2.706	0.728	11.83	4.84	4.61	3.89	4.84	5.42	2.419	4.69
175	9.06	269.55	12.73	60.36	2.695	0.717	11.90	4.85	4.62	3.90	4.85	5.43	2.425	4.71

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tiempo minutos	Defor	Presión poros	Defor	Carga	Presión Poros	Incremento presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	S	t	s'
	Mm	KN/m2	%	kgf	Kg/cm2	kg/cm2	Cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm
182	9.45	269.45	13.27	61.11	2.694	0.716	11.97	4.87	4.62	3.91	4.87	5.44	2.436	4.72
189	9.82	266.95	13.79	61.56	2.670	0.691	12.05	4.87	4.62	3.93	4.87	5.43	2.435	4.74
196	10.20	264.91	14.33	62.31	2.649	0.671	12.12	4.89	4.63	3.96	4.89	5.45	2.445	4.77
203	10.55	262.91	14.82	62.46	2.629	0.651	12.19	4.87	4.62	3.97	4.87	5.43	2.433	4.78
210	10.94	261.91	15.36	63.06	2.619	0.641	12.27	4.87	4.62	3.98	4.87	5.44	2.436	4.80
217	11.29	260.77	15.86	63.51	2.608	0.629	12.34	4.87	4.62	3.99	4.87	5.43	2.435	4.81

Fuente: Anexo 31. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

Los resultados del ensayo Triaxial se toman del Anexo 32.

### Sondeo: 1 Muestra: 1 Profundidad: 0.8m

Presión de la cámara = 4.20 Kg/cm<sup>2</sup> 411.88KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo mayor en la falla = 10.13 Kg/cm<sup>2</sup> 993.24 KN/m<sup>2</sup>

Presión de poros inicial = 2.20 Kg/cm<sup>2</sup> 275.74 KN/m<sup>2</sup>

Presión de poros sobre la falla = 1.02 Kg/cm<sup>2</sup> 99.68KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo Efectivo Consolidación = 2.20 Kg/cm<sup>2</sup> 196.14 KN/m<sup>2</sup>

Esfuerzo Efectivo Mayor en Falla = 9.11 Kg/cm<sup>2</sup> 893.56 KN/m<sup>2</sup>

Diámetro = 3.62 cm      Altura = 7.13 cm      Área (Ac) = 10.36cm<sup>2</sup>      Volumen: 73.86 cm<sup>3</sup>

### TERCER PUNTO

Corrección por membrana y papel filtro si

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tabla 91. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.

Tiempo minutos	Deform	Presión Poros	Deform	Carga	Presión Poros	Incremento presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	S	t	s'
	Mm	KN/m2	%	Kgf	Kg/cm2	kg/cm2	Cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm
0	0.00	219.99	0.00	0.00	2.200	0.000	10.36	0.00	4.20	4.20	0.00	4.20	0.000	4.20
7.5	0.68	237.91	0.95	21.45	2.379	0.179	10.46	2.03	4.88	4.70	2.03	5.22	1.017	5.04
15	1.03	250.27	1.45	27.28	2.503	0.303	10.51	2.57	5.06	4.75	2.57	5.48	1.285	5.18
22.5	1.41	279.34	1.98	30.69	2.793	0.594	10.57	2.87	5.16	4.56	2.87	5.63	1.435	5.04
30	1.80	287.32	2.53	33.33	2.873	0.673	10.63	3.09	5.23	4.56	3.09	5.75	1.546	5.07
37.5	2.17	294.90	3.05	35.75	2.949	0.749	10.68	3.29	5.30	4.55	3.29	5.85	1.646	5.10
45	2.55	304.28	3.57	38.06	3.043	0.843	10.74	3.48	5.36	4.52	3.48	5.94	1.740	5.10
52.5	2.94	305.28	4.12	40.37	3.053	0.853	10.80	3.66	5.42	4.57	3.66	6.03	1.832	5.18
60	3.32	315.65	4.66	42.57	3.157	0.957	10.87	3.84	5.48	4.52	3.84	6.12	1.918	5.16
67.5	3.71	318.64	5.21	44.77	3.186	0.987	10.93	4.01	5.54	4.55	4.01	6.20	2.003	5.22
75	4.11	325.23	5.77	46.86	3.252	1.052	10.99	4.16	5.59	4.54	4.16	6.28	2.081	5.23
82.5	4.49	327.72	6.30	48.95	3.277	1.077	11.06	4.32	5.64	4.56	4.32	6.36	2.159	5.28
90	4.87	338.09	6.83	51.04	3.381	1.181	11.12	4.47	5.69	4.51	4.47	6.44	2.236	5.25
97.5	5.25	338.19	7.37	53.13	3.382	1.182	11.18	4.62	5.74	4.56	4.62	6.51	2.311	5.33
105	5.61	343.88	7.87	54.89	3.439	1.239	11.24	4.74	5.78	4.54	4.74	6.57	2.372	5.33
112.5	5.98	341.59	8.38	56.76	3.416	1.236	11.31	4.87	5.82	4.61	4.87	6.64	2.437	5.42
120	6.38	347.77	8.94	58.41	3.478	1.278	11.38	4.98	5.86	4.58	4.98	6.69	2.489	5.41
127.5	6.76	350.46	9.48	60.17	3.505	1.305	11.44	5.09	5.90	4.59	5.09	6.75	2.546	5.44
135	7.14	351.26	10.01	61.60	3.513	1.313	11.51	5.18	5.93	4.61	5.18	6.79	2.588	5.48
142.5	7.52	354.35	10.54	62.92	3.544	1.344	11.58	5.25	5.95	4.61	5.25	6.82	2.625	5.48
150	7.88	355.95	11.06	64.57	3.559	1.360	11.65	5.35	5.98	4.62	5.35	6.88	2.676	5.52
157.5	8.29	356.05	11.62	66.00	3.560	1.361	11.72	5.43	6.01	4.65	5.43	6.91	2.714	5.55
165	8.69	357.05	12.19	67.43	3.571	1.372	11.80	5.50	6.03	4.66	5.50	6.95	2.751	5.58
172.5	9.09	358.14	12.75	68.75	3.581	1.382	11.87	5.57	6.06	4.67	5.57	6.98	2.784	5.60
180	9.47	355.75	13.28	69.96	3.558	1.358	11.95	5.63	6.08	4.72	5.63	7.01	2.813	5.65
187.5	9.86	351.74	13.82	71.28	3.517	1.358	12.02	5.69	6.10	4.78	5.69	7.04	2.844	5.73
195	10.23	348.94	14.35	72.49	3.489	1.289	12.10	5.74	6.11	4.82	5.74	7.07	2.871	5.78
202.5	10.62	345.94	14.89	73.81	3.459	1.259	12.17	5.80	6.13	4.88	5.80	7.10	2.902	5.84

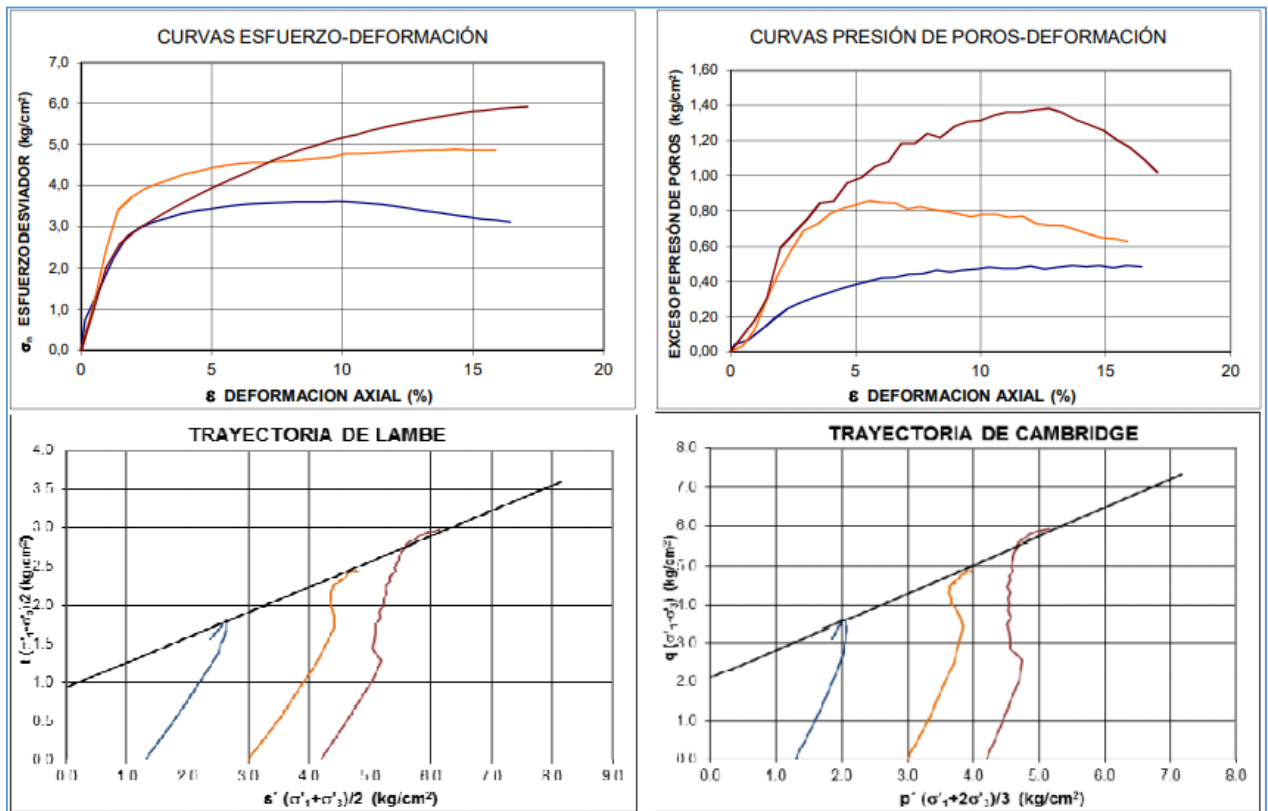
## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Tiempo minutos	Defor	Presión Poros	Defor	Carga	Presión Poros	Incremento presión poros	Área corregida	Esfuerzo desviación	P	P''	q	S	t	s'
	Mm	KN/m2	%	Kgf	Kg/cm2	kg/cm2	Cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm
210	11.01	340.24	15.45	74.80	3.402	1.202	12.25	5.84	6.15	4.94	5.84	7.12	2.918	5.92
217.5	11.39	335.74	15.97	75.90	3.357	1.157	12.33	5.88	6.16	5.00	5.88	7.14	2.939	5.98
225	11.78	329.14	16.53	76.78	3.291	1.091	12.41	5.90	6.17	5.07	5.90	7.15	2.949	6.06
232.5	12.17	321.64	17.07	77.77	3.216	1.016	12.49	5.93	6.18	5.16	5.93	7.16	2.964	6.15

*Fuente:* Anexo 32. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 74. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.



Fuente: Anexo 33. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

Figura 75. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.

Angulo de fricción $\phi'$ (grados)		19,0	M		0,730			
PRIMER PUNTO			SEGUNDO PUNTO			TERCER PUNTO		
Masa unitaria Total	g/cm <sup>3</sup>	2,111	Masa unitaria Total	g/cm <sup>3</sup>	2,100	Masa unitaria Total	g/cm <sup>3</sup>	2,107
Esfuerz. Efectivo inicial	kg/cm <sup>2</sup>	0,53	Esfuerz. Efectivo inicial	kg/cm <sup>2</sup>	1,02	Esfuerz. Efectivo inicial	kg/cm <sup>2</sup>	2,00
Humedad inicial	%	7,0	Humedad inicial	%	7,9	Humedad inicial	%	7,5
Humedad final	%	13,0	Humedad final	%	13,5	Humedad final	%	13,0
Gravedad Especifica	Gs	2,698	Gravedad Especifica	Gs	2,698	Gravedad Especifica	Gs	2,698
Saturación inicial	%	51,6	Saturación inicial	%	55,2	Saturación inicial	%	53,5
Saturación final	%	99,7	Saturación final	%	99,9	Saturación final	%	99,6
$\sigma'_{1f}$	kg/cm <sup>2</sup>	4,65	$\sigma'_{1f}$	kg/cm <sup>2</sup>	7,44	$\sigma'_{1f}$	kg/cm <sup>2</sup>	8,89
$\sigma'_{3f}$	kg/cm <sup>2</sup>	1,02	$\sigma'_{3f}$	kg/cm <sup>2</sup>	2,55	$\sigma'_{3f}$	kg/cm <sup>2</sup>	2,96

Fuente: Anexo 33. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

## 11. DIAGNÓSTICO

### 11.1 DIAGNÓSTICO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES OBJETOS DE ESTUDIO

La caracterización de los materiales que intervinieron en la presente investigación para el tramo de prueba en la finca flores el futuro (escoria de Acería), arrojaron una serie de resultados, los cuales serán analizados, para verificar su cumplimiento tomando como base las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS.

### 11.2 CARACTERIZACIÓN DE TRAMO DE PRUEBA

#### 11.2.1 Caracterización de material Límites de Atterberg

Con respecto a los límites de Atterberg a continuación se presenta el análisis del promedio de las muestras del terreno natural vs el tramo de prueba con adiciones de escoria de acería.

#### Límite líquido

Tabla 92. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba.

ENSAYO No.	1	2	3
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>24</b>	<b>13</b>
P1,gr	52.68	55.24	45.97
P2,gr	45.18	48.55	39.02
P3,gr	17.17	24.62	15.71
<b>Humedad, %</b>	<b>26.8</b>	<b>28.0</b>	<b>29.8</b>

Fuente: Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

$$\text{Peso Agua} = 52.68 \text{ gr} - 45.18 \text{ gr} = 7.5 \text{ gr}$$

$$\text{Peso Suelo Seco} = 45.18 \text{ gr} - 17.18 \text{ gr} = 28.01 \text{ gr}$$

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{7.5 \text{ gr}}{28.01 \text{ gr}} \right] * 100 = 26.8\%$$

El anterior procedimiento aplica para las tres muestras para luego calcular el promedio.

$$\text{Límite líquido} = \frac{26.8\% + 28.0\% + 29.8\%}{3} = 28.2\%$$

#### Límite plástico y humedad natural

Tabla 93. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

ENSAYO No.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	19.15	18.25	90.92
P2,gr	17.18	16.43	82.48
P3,gr	7.98	7.86	25.37
<b>Humedad, %</b>	<b>21.4</b>	<b>21.2</b>	<b>14.8</b>

*Fuente:* Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

Peso Agua = 19.15 gr – 17.18gr = 1.97 gr

Peso Suelo Seco = 17.18 gr – 7.98 gr = 9.2 gr

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{1.97 \text{ gr}}{9.2 \text{ gr}} \right] * 100 = 21.4\%$$

El anterior procedimiento aplica para las tres muestras y para luego calcular el promedio.

$$\text{Límite plástico} = \frac{21.4\% + 21.2\%}{2} = 21.3\%$$

### Gradación

Tabla 94. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba.

P1, gr = 637.1			
Tamiz	Peso retenido	% Retenido	% Pasa
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			100.0
1/2"	22.4	3.52	96.48
3/8"	22.3	3.50	92.98
4	32.6	5.12	87.87
10	47.5	7.46	80.41
20	27.6	4.33	76.08
40	18.0	2.83	73.25
60	20.6	3.23	70.02
100	60.2	9.45	60.57
200	60.1	9.43	51.14
Fondo	325.8	51.14	
<b>Σ</b>	<b>637.1</b>	<b>100</b>	

*Fuente:* Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

### Resumen de los resultados anteriores

Límite líquido = 28.2%

Límite plástico = 21.3%

Índice de plasticidad = 6.9%

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Se tiene en cuenta el Anexo 26, para mostrar los resultados del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería en el Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

### Límite líquido

Tabla 95. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería, del Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

ENSAYO No.	1	2	3
<b>N</b>	<b>34</b>	<b>24</b>	<b>13</b>
P1,gr	58.92	52.61	44.84
P2,gr	53.12	46.87	40.01
P3,gr	18.94	15.74	15.84
<b>Humedad, %</b>	<b>17.0</b>	<b>18.4</b>	<b>20.0</b>

Fuente: Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.

Peso Agua = 58.92 gr – 53.12 gr = 5.8 gr

Peso Suelo Seco = 53.12 gr – 18.94 gr = 34.18 gr

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{5.8 \text{ gr}}{34.18 \text{ gr}} \right] * 100 = 17.0\%$$

El anterior procedimiento aplica para las tres muestras para luego calcular el promedio.

$$\text{Límite líquido} = \frac{17.0\% + 18.4\% + 20.0\%}{3} = 18.46\%$$

### Límite plástico y humedad natural

Tabla 96. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.

ENSAYO NO.	1	2	$\omega_n$
P1,gr	16.59	16.35	296.90
P2,gr	15.45	15.25	282.00
P3,gr	7.94	7.97	34.50
<b>Humedad, %</b>	<b>15.2</b>	<b>15.1</b>	<b>6</b>

Fuente: Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.

Peso Agua = 16.59 gr – 15.45 gr = 1.14 gr

Peso Suelo Seco = 15.45 gr – 7.94 gr = 7.51 gr

$$\text{Humedad} = \left[ \frac{1.14 \text{ gr}}{7.51 \text{ gr}} \right] * 100 = 15.2\%$$

El anterior procedimiento aplica para las tres muestras para luego calcular el promedio.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

$$\text{Límite plástico} = \frac{15.2\% + 15.1\%}{2} = 15.15\%$$

### Gradación

Tabla 97. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.

P1, gr = 3485.0			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2"			100.00
1 ½"	79.5	2.28	97.72
1"	474.7	13.62	84.10
¾"	348.5	10.00	74.10
½"	524.1	15.04	59.06
⅜"	254.8	7.31	51.75
4	521.4	14.96	36.79
10	233.5	6.70	30.09
20	101.1	2.90	27.19
40	70.4	2.02	25.16
60	71.1	2.04	23.12
100	249.5	7.16	15.97
200	154.0	4.42	11.55
Fondo	402.4	11.55	
<b>Σ</b>	<b>3485.0</b>	<b>100</b>	

Fuente: Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.

### RESULTADOS

Límite líquido = 18.1%

Límite plástico = 15.1%

Índice de plasticidad = 2.9%

Tabla 98. Resumen y comparación de los resultados de clasificación (límites), entre el terreno natural y el tramo de prueba (con escoria de acería).

DESCRIPCIÓN	TERRENO NATURAL	TRAMO DE PRUEBA	MEJORA
Límite líquido%	28.2	18.1	Si
Límite plástico%	21.3	15.1	Si
Índice de plasticidad%	6.9	2.9	Si

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los Límites de Atterberg se puede observar la Tabla 98, según la cual se mejoran las condiciones del terreno considerablemente, teniendo en cuenta un parámetro importante como lo es el índice de plasticidad, donde inicialmente se obtuvo un valor de 6.9% disminuyendo a 2.9%, muy favorable ya que en las subrasantes, la plasticidad alta es uno de los mayores problemas que

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

se presentan y este es uno de los factores por los que presentan los fallos en la estructura de las vías.

### 11.2.2 Comparación CBR natural y tramo de prueba

Al comparar los resultados de la caracterización de la muestra patrón, con los requisitos exigidos por el Instituto Nacional de Vías, se puede determinar que la subrasante que contiene la adición de escoria de acería, mejora tanto sus características físicas como químicas.

De la Tabla 4.4 (Categoría de subrasante) del Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, se presenta la comparación mencionada en el párrafo anterior, en la Tabla 99 y Tabla 100.

Tabla 99. CBR tramo de prueba 1, suelo natural sin alterar.

CLASIFICACIÓN	CBR DISEÑO	OBTENIDO EN TRAMO
So: Subrasante muy pobre	<3%	
S1: Subrasante pobre	3%-5%	
S2: Subrasante regular	6-10%	
S3: Subrasante buena	11-19%	16.2
S4: Subrasante muy buena	> 20%	

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito [INVÍAS] 2007.

Tabla 100. CBR tramo de prueba 1, mezcla.

CLASIFICACIÓN	CBR DISEÑO	OBTENIDO EN TRAMO
So: Subrasante muy pobre	<3%	
S1: Subrasante pobre	3%-5%	
S2: Subrasante regular	6-10%	
S3: Subrasante buena	11-19%	
S4: Subrasante muy buena	> 20%	34.3

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito [INVÍAS] 2007.

De la Tabla 99 y Tabla 100, se puede concluir que se pasa de tener una subrasante buena a una muy buena, para el diseño de una estructura de pavimento en una vía terciaria se puedan reducir los costos con respecto a una estructura convencional, cuando se realice el presupuesto.

### 11.2.3 Ensayo Triaxial Cu

Este ensayo se planteó para poder observar el ángulo de fricción del tramo de prueba y la cohesión; por otro lado, vale la pena mencionar que este ensayo es uno de los más completos ya que nos permite tener condiciones totales y efectivas para determinar el ángulo de falla del terreno.

El diseño de pavimento se ve influenciado de forma indirecta por la resistencia al cortante de los suelos, ya sea en el análisis de la estabilidad de un talud o en el diseño de los muros de contención y de forma directa, a través del diseño de las fundaciones que soportan el pavimento específicamente, en la subrasante.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Como consecuencia, tanto las estructuras como los taludes deben ser estables y seguros frente a un colapso total, cuando éstos sean sometidos a una máxima aplicación de cargas

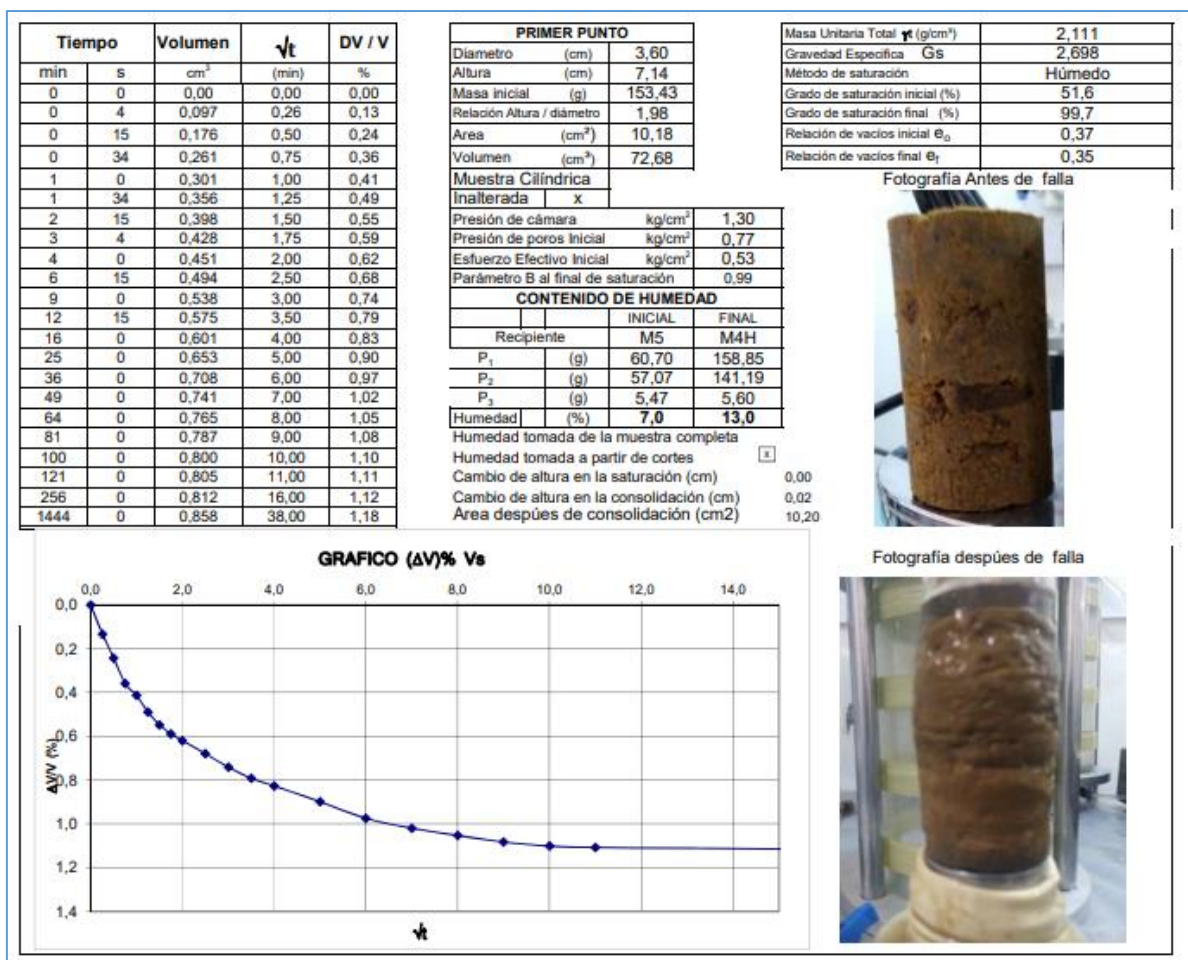
La prueba de ensayo Triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de la resistencia al corte.

Donde se obtuvo como resultado:

Angulo de fricción (grados): 19.0

Cohesión  $c'$  (Kg/cm<sup>2</sup>): 1.09

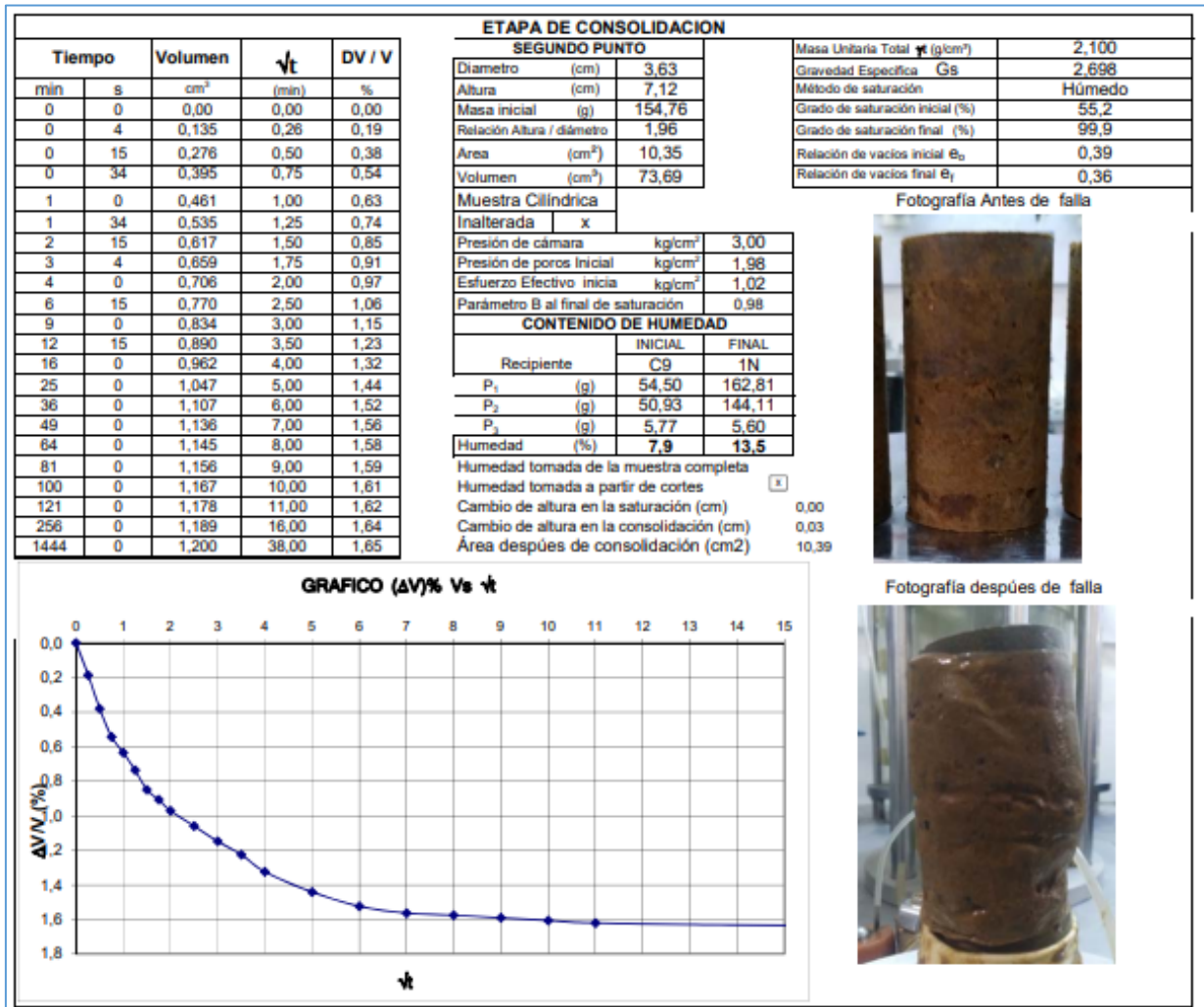
Figura 76. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.



Fuente: Anexo 35. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

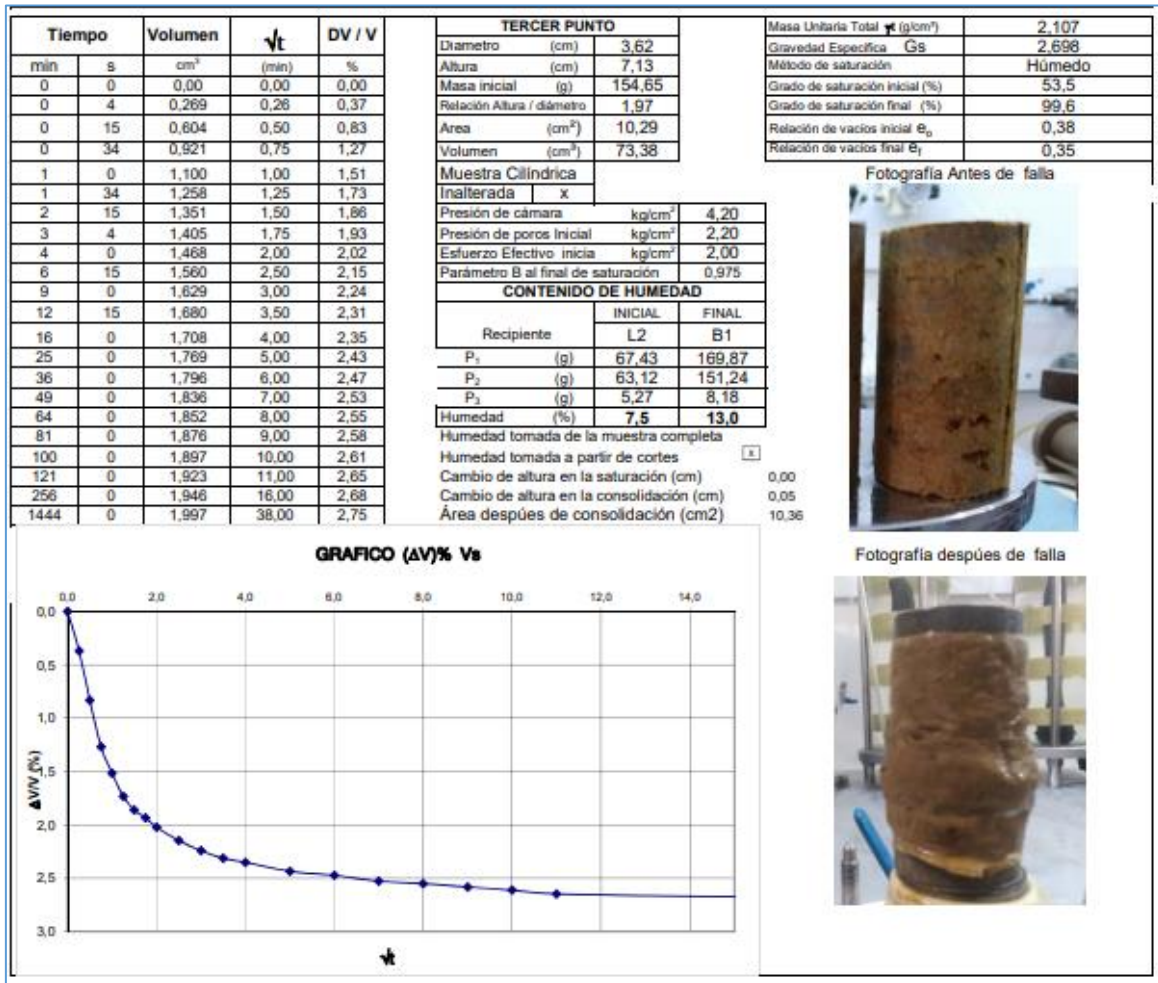
Figura 77. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.



Fuente: Anexo 36. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

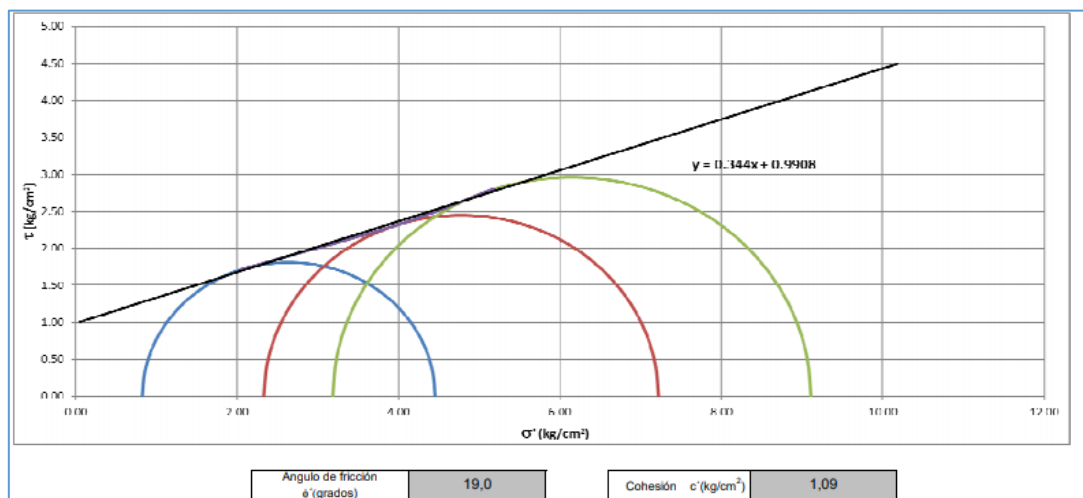
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Figura 78. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.



Fuente: Anexo 37. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

Figura 79. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba con escoria de acería.



Fuente: Anexo 34. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

## **12. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN**

Ya que esta investigación es un complemento de proyectos anteriores realizados por los Elaboración propia, utilizan la escoria de acería como material de mezcla; la investigación tiene como aporte una solución a la problemática de los residuos de escoria que se producen en las siderúrgicas del país, las cuales pueden generar un impacto negativo en el medio ambiente, además de minimizar la explotación de canteras ya que la gran mayoría de estas se encuentran en los nacimientos de agua potable del país se solucionaría un impacto ambiental bastante grande.

Por lo anterior como propuesta de intervención de la presente Investigación se procederá a hacer la entrega de una copia del documento a Gerdau Diaco y a la floristería el futuro quien presto sus instalaciones para la realización del tramo y a la biblioteca de la Universidad Santo Tomas, donde se dan a conocer los alcances, procedimientos y resultados obtenidos, y así contribuir a ser un punto de partida para futuras investigaciones que deseen profundizar en el tema.

### 13. CONCLUSIONES

Al realizar la caracterización de los tramos de prueba 1 y 2, se pudo observar un comportamiento adecuado, que consistió en las mejoras de las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante, como son el índice de plasticidad y el CBR lo que es bastante alentador ya que este resultado sirve para garantizar el mantenimiento de vías terciarias, como se había mencionado en el planteamiento del problema y justificación.

También se debe tener en cuenta que, en la planta de la acería de Gerdau Diaco en el Municipio de Tuta (Boyacá), operan máquinas con imanes para minimizar el contenido de metales pesados en la escoria, lo que contribuye de manera positiva a la utilización de dicha escoria dentro del mejoramiento de la estructura de las carreteras, ya que al entrar en contacto con el agua no se presentarían problemas con las aguas subterráneas que pueden llegar a estar presentes en el sitio. Uno de los principales problemas que se presentan en las vías, es la afectación que sufre la estructura por un drenaje inadecuado.

Por otra parte, es bueno tener en cuenta que una de las bondades de la escoria dentro de la mezcla en las subrasantes es el tema de la polución ya que la escoria mitiga en gran parte este inconveniente comparado con los tramos que son mejorados con recibos tradicionales.

No menos relevante y que vale la pena mencionar la mejora del CBR en los tramos de prueba 1 y 2, que influye en la disminución de los espesores de las capas de la estructura de pavimento evitando así la realización de excavaciones mayores para la instalación de materiales como rajón y recebo grueso, ahora solo dependería del material encontrado en la subrasante como se evidenció en los tramos de prueba, donde sería suficiente la mejora a través de la adición de escoria, lo que reduciría los costos en una medida bastante representativa

### 14. BIBLIOGRAFÍA

A.C. Ingenieros Consultores S.A.C. (2006). *Pavimentación de las vías de acceso al nuevo depósito N° 5 – Estudio con fines de cimentación*. Diseño realizado para la Corp. Aceros Arequipa S. A. Pisco.

Aiban, S. A. & Wahhab, H. A. (1997). *Utilization of steel slag aggregate in road construction*. Final Report Submitted to Heckett Multiserv, Saudi Arabia Limited.

Alberto, P. L. (2014). *Evaluación de la escoria de acero de la planta de siderúrgica de Guatemala (SIDEQUA), para su uso como agregado en carreteras*. Universidad de San Carlos.

Aldeeky, H., & Hattamleh, O. A. (2017). *Experimental Study on the Utilization of Fine Steel Slag on Stabilizing High Plastic Subgrade Soil*. College of Engineering, Hashemite University.

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO] (2004). *Gravedad específica y absorción de agregado grueso*. AASHTO.

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO] (2013). *Ensayo CBR*. AASHTO.

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2007). *Método de prueba estándar para análisis de tamaño de partícula de suelos*. (ASTM D22). ASTM.

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2005). *Métodos de prueba estándar para tomar muestras y analizar cenizas volantes o puzolanas naturales para su uso en concreto de cemento Portland*. (ASTM C311 / C311M). ASTM.

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2010). *Métodos de prueba estándar para límite de líquido, límite de plástico e índice de plasticidad de los suelos*. (ASTM D4318-10). ASTM.

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2014). *Métodos de prueba estándar para la gravedad específica de los sólidos del suelo por picnómetro de agua*. (ASTM D854-14). ASTM.

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2015). *Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos*. (ASTM C127-15). ASTM.

American Society for Testing and Materials [ASTM] (2019). *Método de prueba estándar para partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en agregado grueso*. (ASTM D4791-19). ASTM.

Ana, M. P. (2011). *Proyecto sobre residuos: Utilización de escorias como sustitutos de áridos*. Escuela de Organización Industrial.

Anastasiou, E. K., Papayianni, I., & Papachristoforou, M. (2014). Behavior of self-compacting concrete containing ladle furnace slag and steel fiber reinforcement. *Materials and Design*, 454-460.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Arce Cardona, O. A. (2007). *La escoria de acería como material de agregado en capas granulares y superiores de pavimentos flexibles*. XVI Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos.

Árido (minería). (24 de marzo de 2020). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%81rido\\_\(miner%C3%ADa\)&oldid=124525326](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%81rido_(miner%C3%ADa)&oldid=124525326)

Arrabio. (20 de Febrero de 2019). En *Wikipedia*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arrabio&oldid=114095502>

Arribas García, I. (2011). *Estudio y diseño de hormigones estructurales basados en la incorporación de subproductos siderúrgicos: viabilidad tecnológica*. Universidad del País Vasco.

Asli, Y. D. (2016). *Geotechnical and environmental impacts of Steel Slag in highway Embankments*. University of Maryland, College Park.

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI] (2020). *Comité Colombiano de Productores de Acero*. ANDI <http://www.andi.com.co/Home/Camara/6-comite-colombiano-de-productores-de-acero>.

Barbudo, M. A. (2012). *Aplicaciones de los áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición en la construcción de infraestructuras viarias*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Córdoba.

Borole, S. T., Shinde, R. V., Mhaske, R. B., Pagare, S. S., Tribhuvan, K. S., Pawar, N. M., . . . Sanehi, A. K. (2016). Replacement of Fine Aggregate by Steel Slag. *International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*, 628-635, de [www.ijirse.com](http://www.ijirse.com)

Bowles, J. (1992). *Engineering Properties of Soil and Their Measurements*. McGraw-Hill.

California Bearing Ratio. (10 de septiembre de 2019). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=California\\_Bearing\\_Ratio&oldid=119155230](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=California_Bearing_Ratio&oldid=119155230)

Calleja, J. (1982). *Escorias y cementos siderúrgicos*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Cañas G., J. (2012). *Estudio del comportamiento de hormigones con áridos siderúrgicos de horno eléctrico*. [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya.

*Caracterizar*. Gran Diccionario de la Lengua Española. (2016). Free dictionary <https://es.thefreedictionary.com/caracterizar>.

Carrillo Gil, A., & García García, E. (2009). *Uso de las Escorias de Acería de Horno Eléctrico en Obras Viales*. Congreso Nacional de Ingeniería Civil - XVII CONIC 2009.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

CEDEX. (1991). *Determinación del grado de envejecimiento en escorias de acería*. NLT-361/91. CEDEX.  
[http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/negras/1991/361\\_91.pdf](http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/negras/1991/361_91.pdf)

CEDEX. (2011). *Escorias de Horno Alto. Ficha técnica, Catálogo de residuos utilizables en construcción*. CEDEX.  
[http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es\\_ESCORIASDEHORNOALTO DIC2011.pdf](http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_ESCORIASDEHORNOALTO DIC2011.pdf)

Cheng, T., Hu, R., Zu, W., & Zang, Y. (2017). Mechanical Characterizations of Oxidizing Steel Slag Soil and Application. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 61 (4), pp. 815–823.

Clasificación granulométrica. (7 de Septiembre de 2018). En *Wikipedia*.  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Clasificaci%C3%B3n\\_granulom%C3%A9trica&oldid=110489194](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Clasificaci%C3%B3n_granulom%C3%A9trica&oldid=110489194)

Clínker. (27 de Febrero de 2019). En *Wikipedia*.  
<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cl%C3%ADnker&oldid=114249085>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca & Pontificia Universidad Javeriana de Cali. (2015). *Aprovechamiento y valorización de residuos industriales*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca & Pontificia Universidad Javeriana (Cali).  
<http://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Comunicaciones/SeminarioRespel/Soluciones%202015/Presentacion%20Gerdau%20Diaco%20YUMBO.pdf>

De la Fuente Alonso, J. A. (2015). *Comportamiento del hormigón con áridos siderúrgicos (EAF) reforzado con fibras*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Burgos.

Decreto 1713 de 2002. [Ministerio de Desarrollo Económico, Ministerio del Medio Ambiente]. *Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. (6 de agosto de 2002) Diario Oficial No. 44.893.  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ministerio\\_de\\_Ambiente\\_y\\_Developmento\\_Sostenible&oldid=124089158](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ministerio_de_Ambiente_y_Developmento_Sostenible&oldid=124089158)

*Desescoriar*. Gran Diccionario de la Lengua Española. (2016). Free dictionary  
<https://es.thefreedictionary.com/desescoriar>.

Drissen, P., & Arlt, K. (2000). Entstehung feinkörniger Pfannenschälchen. 12 - 16. *Report des Forschungsinstituts, FEHS*.

Elofowoju, F. E. (2019). *Investigation of the impact of selected additives on index properties of subgrade soils*. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH).

Ensayo de compresión. (12 de Julio de 2018). En *Wikipedia*.  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo\\_de\\_compresi%C3%B3n&id=109247181](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo_de_compresi%C3%B3n&id=109247181)

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Ensayo de tracción. (27 de Diciembre de 2018). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo\\_de\\_tracci%C3%B3n&id=112911631](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Ensayo_de_tracci%C3%B3n&id=112911631)

Escoria (metalurgia). (26 de Febrero de 2018). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Escoria\\_%28metalurgia%29&id=105829652](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Escoria_%28metalurgia%29&id=105829652)

Euroslag. (2017). *Properties*. Euroslag. [www.euroslag.com](http://www.euroslag.com)

Figuroa Chávez, I., & Mamani Quinto, C. (2019). *Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Frías, M., San-José, J. T., & Vegas, I. (2010). Árido siderúrgico en hormigones: proceso de envejecimiento y su efecto en compuestos potencialmente expansivos. *Materiales de Construcción Vol. 60*, 297, 33-46.

Geomaster S.A.C. (2006). *Estudio y evaluación de las escorias de la Planta de Hierro para su aprovechamiento como material útil en obras civiles*. Estudio realizado para la Corp. Aceros Arequipa S. A. Pisco - Perú.

Gerdau Diaco. (2019). *Datos Gerdau*. Gerdau Diaco. <https://www.gerdau.com.co/MEDIACENTER/DatosdeGerdau.aspx>

Gobernación de Boyacá. (2017). Actualización plan vial departamental 2018 – 2027. [https://services3.arcgis.com/PpJ89hvCx3B7cBIO/arcgis/rest/services/PlanVialDepartal\\_Actualziacion/FeatureServer/0/7/attachments/79](https://services3.arcgis.com/PpJ89hvCx3B7cBIO/arcgis/rest/services/PlanVialDepartal_Actualziacion/FeatureServer/0/7/attachments/79), 33.

Gobernación de Cundinamarca. (Diciembre de 2017). Plan vial departamental Cundinamarca diciembre 2017 [https://services3.arcgis.com/PpJ89hvCx3B7cBIO/arcgis/rest/services/PlanVialDepartal\\_Actualziacion/FeatureServer/0/14/attachments/91](https://services3.arcgis.com/PpJ89hvCx3B7cBIO/arcgis/rest/services/PlanVialDepartal_Actualziacion/FeatureServer/0/14/attachments/91), 89.

Gobierno de España & Generalitat de Catalunya. (2009). Decreto 32/2009. *Sobre la valorización de escorias siderúrgicas*. Gobierno de España & Generalitat de Catalunya.

González Ortega, M. A. (2015). *Comportamiento y diseño de hormigones estructurales con áridos siderúrgicos EAF*. [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya.

Guo, J., Bao, Y., & Wang, M. (2018). Steel slag in China: Treatment, recycling, and management. *Waste Management*, 78, 318-330.

Hernández, J. (2007). *Estudio de la estabilidad volumétrica, propiedades físicas y químicas de la escoria negra de acero de horno de arco eléctrico*. Universidad Politècnica de Catalunya.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Herrero Vázquez, T. (2015). *Estudio del efecto de la hidratación de la escoria blanca de acería de HEA: aplicación en pastas y morteros de cemento*. [Tesis Doctoral]. Universidad del País Vasco.

Herrero, T., Vegas, I. J., Santamaría, A., San-José, J. T., & Skaf, M. (2016). Effect of high-alumina ladle furnace slag as cement substitution in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 404-413.

Hidalgo, A., & Alonso, C. (2005). *Evaluación del impacto medioambiental debido a la lixiviación de productos de base cemento*. 1as Jornadas de Investigación en Construcción.

Iacobescu, R. I., Angelopoulos, G. N., Jones, P. T., Blanpain, B., & Pontikes, Y. (2016). Ladle metallurgy stainless steel slag as a raw material in Ordinary Portland Cement production: a possibility for industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 872-881.

Ihobe, S.A. (1999). *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones*. Escorias de acería. Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Capítulo 2, Controles para el Diseño Geométrico*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2013). *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2013). *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2013). *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. Ensayo de compresión triaxial sobre suelos cohesivos*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2013). *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm por medio de la máquina de los ángeles*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2015). *Guía de diseño de pavimentos con placa - huella*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2015). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS] (2015). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. INVÍAS.

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 11 de Abril de 2020). Estado de la Red Vial.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

<https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 10 de Febrero de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial#2020>

Instituto Nacional de Vías [INVÍAS]. (Consultado el 6 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

Khillare, P. S., Damgir, R. M., & Hake, S. L. (2016). CBR Determination on Subgrade Soil by Replacement of Additives. *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology*, 6, 49-54.

Krishna Rao, S., Sravana, P., & Chandrasekhar Rao, T. (2016). Abrasion resistance and mechanical properties of Roller Compacted Concrete with GGBS. *Construction and Building Materials*, 925-933.

Lam, M. N., Jaritngam, S., & Le, D. H. (2017). Roller-compacted concrete pavement made of Electric Arc Furnace slag aggregate: Mix design and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 482-495.

Landa, P. (2017). *Fabricación del hierro y del acero. Parte 1: Horno alto. Obtención y Fabricación de Materiales*. Universidad del País Vasco.

Landaberea Lorenzo, A. (2018). *Estado del conocimiento sobre la viabilidad del uso de escorias de acería eléctrica en hormigones compactados a rodillo*. Universidad del País Vasco, Escuela de Ingeniería Bilbao.

Lauber, M. (2009). *Influencia de la calidad de los residuos metalúrgicos granulares utilizados como áridos en las propiedades del hormigón*. [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya.

Leiva Vidal, D., Montenegro Cooper, J., & Ponce Abarca, R. (2017). *Caracterización de un Suelo Arcilloso y su Mezcla con Escoria Blanca Proveniente de la Siderurgia Integral*. [Tesis de pregrado] Universidad Católica de la Santísima Concepción. <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/1418>

Lewis, D. W. (1982). *Properties and Uses of Iron and Steel Slags*. National Slag Association.

Límites de Atterberg. (2 de marzo de 2020). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%ADmites\\_de\\_Atterberg&oldid=123965137](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=L%C3%ADmites_de_Atterberg&oldid=123965137)

Losañez Gonzalez, M. (2005). *Aprovechamiento integral de escorias blancas y negras de acería eléctrica en construcción y obra civil*. Universidad de País Vasco.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Manso, J. M., González, J. J., & Polanco, J. A. (2004). Electric Arc Furnace Slag in Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16.

Marquina Sierra, M. A. (2008). *Uso de las Escorias Obtenidas como Subproducto de la Elaboración de Acero de la Planta No.2 de Aceros Arequipa - Pisco para Fines de Cimentación y Pavimentación*. [Tesis de pregrado] Universidad Ricardo Palma. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/121>

Méndez Piña, A. (2011). *Proyecto sobre Residuos: Utilización de Escorias como Sustitutos de Áridos*. Escuela de Organización Industrial.

Metalinspec. (2019). *El análisis metalográfico*. Metalinspec. <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/que-es-para-que-sirve-el-analisis-metalografico>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (7 de marzo de 2020). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ministerio\\_de\\_Ambiente\\_y\\_Developmento\\_Sostenible&oldid=124089158](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ministerio_de_Ambiente_y_Developmento_Sostenible&oldid=124089158)

Mombelli, D., Mapelli, C., Barella, S., Di Cecca, C., Le Saout, G., & Garcia-Diaz, E. (2016). The effect of chemical composition on the leaching behaviour of electric arc furnace (EAF) carbon steel slag during a standard leaching test. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 4, 1050-1060.

Monosi, S., Ruello, M. L., & Sani, D. (2016). Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production. *Cement and Concrete Composites*, 66-72.

Mortero (construcción). (2 de Mayo de 2019). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Mortero\\_\(construcci%C3%B3n\)&oldid=115662051](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Mortero_(construcci%C3%B3n)&oldid=115662051)

Motz, H. G. (2001). Products of steel slags and opportunity to save natural resources. *Waste Management*, 285-293.

Muhmood, L., Vitta, S., & Venkateswaran, D. (2009). Cementitious and pozzolanic behavior of electric arc furnace steel slags. *Cement and Concrete Research*, 102-109.

National Slag Association [NSA] (2013). *Blast Furnace Slag*. National Slag Association. <http://nationalslag.org>

Nemocón. (17 de abril de 2020). En *Wikipedia*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Nemoc%C3%B3n&oldid=125269968>

Oliver, S. (2012). Las escorias siderúrgicas: áridos diseñados para el presente y el futuro. *Zuncho No. 31*, 13-23.

Ortega López, V. (2011). *Aprovechamiento de Escorias Blancas (LFS) y Negras (EAFS) de Acería Eléctrica en la Estabilización de Suelos y en Capas de Firmes de Caminos Rurales*. Universidad de Burgos Escuela Politécnica Superior.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Ortega-López, V., De la Fuente, J. A., Skaf, M., Santamaría, A., Aragón, A., & Manso, J. M. (2017). *Performance of steel-making slag concrete reinforced with fibers*. MATEC Web of Conferences 120.

Otegi Aldai, K. (2012). *Estudio del Impacto Ambiental por Lixiviación de la Escoria de Acería en Capas Granulares no Ligadas*. Universidad Politécnica de Cataluña.

Peletización. (3 de octubre de 2019). En *Wikipedia*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Peletizaci%C3%B3n&oldid=119912935>

Pisco (ciudad). (11 de abril de 2020). En *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pisco\\_\(ciudad\)&oldid=125105622](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pisco_(ciudad)&oldid=125105622)

Quiroga Tavera, L. (2019). *Infraestructura vial en Colombia frente a los países miembros de la Alianza del Pacífico para el desarrollo del comercio internacional*. [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16245/1/2019\\_infraestructura\\_vial\\_colombia.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16245/1/2019_infraestructura_vial_colombia.pdf), 18 – 19.

Rojas López, M., & Ramírez Muriel, A. F. (2018). *Inversión en infraestructura vial y su impacto en el crecimiento económico: aproximación de análisis al caso infraestructura en Colombia (1993-2014)*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(32), 109-128. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v17n32/1692-3324-rium-17-32-00109.pdf>

Rubio, A. R., Carretero, J. G. (1991). *La aplicacion de las corias de aceria en Caarreteras*. *Ingeniería Civil*, 5-9.

Sáez-de-Guinoa Vilaplana, A., Ferreira, V. J., López-Sabirón, A. M., Aranda-Usón, A., Lausín-González, C., Berganza-Conde, C., & Ferreira, G. (2015). *Utilization of Ladle Furnace slag from a steelwork for laboratory scale production of Portland cement*. *Construction and Building Materials*, 837-843.

Sánchez A., H. M. (2016). *Estado del Arte sobre las Escorias Negras de Horno de Arco Eléctrico y su Aplicaciones en Pavimentos*. *L'esprit Ingéniux*, 64-72. <http://siecsa.com/siec-se-convierte-valorizador-escorias-aceria-horno-arco-electrico/>

Sandoval, H. (2018). *Boyacá y su larga historia con la producción del acero en Colombia*. *Revista Semana*. <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/boyaca-todo-nace-aqui/articulo/boyaca-y-su-larga-historia-con-la-produccion-del-acero-en-colombia/578321>

Segura Almanza, A. (2016). *Estudio del Comportamiento Físico y Mecánico de Mezclas Asfálticas; con Materiales Reutilizables en la Construcción como Escoria de Acero*. Universidad Católica de Colombia.

Serna Pérez, A. M. (2012). *Selección de tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de la escoria en el sector siderúrgico*. Universidad Tecnológica de Pereira.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Setién, J., Hernández, D., & González, J. J. (2009). Characterization of ladle furnace basic slag for use as a construction material. *Construction and Building Materials*, 1788-1794.

SGS Colombia S.A.S. (2020). *Difracción de rayos X (XRD)*. SGS Colombia S.A.S. <https://www.sgs.co/es-es/mining/metallurgy-and-process-design/high-definition-mineralogy/x-ray-diffraction-xrd>

Sheen, Y., Wang, H., & Sun, T. (2013). A study of engineering properties of cement mortar with stainless steel oxidizing slag and reducing slag resource materials. *Construction and Building Materials*, 239-245.

Shen, H., & Forssberg, E. (2003). *An overview of recovery of metals from slags*. *Waste Management* 23(10), 933-949. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00164-2](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00164-2)

Soto Izquierdo, O., Soto Izquierdo, I., & Díaz Brito, N. (2008). *Caracterización de la Escoria de Acería de la Empresa Metalúrgica Antillana de Acero "José Martí" de la Habana para su empleo como árido y adición de morteros, hormigones y productos de la construcción*. Tenth International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies [NOCMAT], 53-60.

Taló, P. (2017, 24 de abril). *Gerdau Diaco ejemplo de seguridad industrial*. Periódico El Sol. <https://elsolweb.tv/gerdau-diac0-ejemplo-de-seguridad-industrial/>

Tamizado. (28 de Mayo de 2019). En *Wikipedia*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tamizado&oldid=116276728>

Thomas, G. H. (1983). *Investigations on LD slag with particular reference to its use for road construction. Final report British Steel Corporation*. Comisión of the European Communities.

Tossavainen, M. (2007). Characteristics of steel slag under different cooling conditions. *Waste Management*, 27(10), 1335-1344. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X06002315>

Tsakiridis, P. E., Papadimitriou, G. D., Tsvilis, S., & Koroneos., C. (2008). Utilization of steel slag for Portland cement clinker production. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), 805-811. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407010783>

Urrego, J. A. (2020). *Industria del acero reafirma su crecimiento para el 2020*. Revista Portafolio. <https://www.portafolio.co/economia/industria-del-acero-reafirma-su-crecimiento-para-el-2020-538951>

Van der Sloot, H. A. (2007). *The Leaching Process*. Leaching.net. <http://www.leachxs.com/leaching/the-leaching-process/index.html>

Vazquez Ramonich E, M. B. (s.f.). *Reactividad y expansión de las escorias de acería de horno*.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Param Visions. (17 de julio de 2018). *Difference between moorum and soil*. Param Visions. <https://www.paramvisions.com/2018/07/difference-between-moorum-and-soil.html>

Washington State DOT [WSDOT] (2015). *Use of Steel Slag Aggregate in Pavements*. Construction Division Pavements Office.

World Steel Association. (2016). *Publication announcement: World Steel in Figures 2016 is available online*. World Steel Association. <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2016/world-Steel-in-figures-2016-is-available-online.html>

World Steel Association. (2017). *World crude steel output increases by 5.3% in 2017*. World Steel Association. <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2018/World-crude-steel-output-increases-by-5.3--in-2017.html>

World Steel Association. (2020). *Global crude steel output increases by 3.4% in 2019*. World Steel Association. <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-3.4--in-2019.html>

Yildirim, I. Z., & Prezzi, M. (2011). *Chemical, Mineralogical, and Morphological Properties of Steel Slag*. Advances in Civil Engineering.

Yonar, F., Ubay, E. U., Dikbas, H. A., Demir, B., & Ergun, M. (2015). Environmental Effects and Possible Highway Applications of Electric Arc Furnace Slag in Turkey. *Proceedings of the World Congress on New Technologies (NewTech 2015)*, (228). [http://www.avestia.com/NewTech2015\\_Proceedings/files/papers/ICEPR228.pdf](http://www.avestia.com/NewTech2015_Proceedings/files/papers/ICEPR228.pdf)

Ziegert, C. (2011). *Análisis de muestras de arcilla y mortero de arcillas*.

**15. DOCUMENTOS ANEXOS**

Anexo 1. Carta Gerdau Diaco, donde se atiende la solicitud del material de escoria.



Bogotá, febrero 18 de 2020

Señores

CAMILO HERNANDEZ MENDEZ

WILSON YAMEL PÉREZ QUEMBA

Respetados señores:

Dando respuesta a su solicitud de pedido de escoria para el proyecto de grado del programa de Maestría en Infraestructura Vial de la Universidad Santo Tomás, se adelanta el trabajo de grado titulado "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO EN EL MUNICIPIO DE NEMOCÓN – CUNDINAMARCA" propuesto por los ingenieros Civiles Especialistas en Vías y Aeropistas, Camilo Hernández Méndez y Wilson Yamel Pérez Quemba.

Queremos manifestarles que se les brindara el material cuyo fin es única y exclusivamente para fines académicos y en busca del conocimientos e implementación de nuevas técnicas, todo esto de manera que ustedes se comprometan con nosotros para brindamos todos los resultados obtenidos en dichas investigaciones.





Cordialmente,

---

Consultora Ambiental Gerdau Diaco

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

## Anexo 2. Registro Único Tributario de Flores el Futuro S.A.

		<b>Formulario del Registro Único Tributario</b> Hoja Principal				<b>001</b>																															
2. Concepto <b>0 2</b> Actualización Espacio reservado para la DIAN 				4. Número de formulario <b>14675946716</b>  (415)7707212489984(8020) 0000014675946716																																	
5. Número de Identificación Tributaria (NIT): <b>8 0 0 1 2 9 6 8 0</b>		6. DV: <b>6</b>		12. Dirección seccional: Impuestos de Bogotá		14. Buzón electrónico: <b>3 2</b>																															
<b>IDENTIFICACION</b>																																					
24. Tipo de contribuyente: Persona jurídica		25. Tipo de documento: <b>1</b>		26. Número de identificación:		27. Fecha expedición:																															
Lugar de expedición		28. País:		29. Departamento:		30. Ciudad/Municipio:																															
31. Primer apellido		32. Segundo apellido		33. Primer nombre		34. Otros nombres																															
35. Razón social: FLORES EL FUTURO SA																																					
36. Nombre comercial:																																					
37. Sigla:																																					
<b>UBICACION</b>																																					
38. País: COLOMBIA		39. Departamento: Cundinamarca		40. Ciudad/Municipio: Chia		41. Dirección principal: CC CENTRO CHIA CENTRO EMPRESARIAL OF 422																															
42. Correo electrónico: contabilidad@floreselfuturo.com		43. Código postal:		44. Teléfono 1:		45. Teléfono 2: 3 1 2 5 8 5 6 7 8 1																															
<b>CLASIFICACION</b>																																					
<b>Actividad económica</b>						<b>Ocupación</b>																															
46. Código: 0 1 2 5		47. Fecha inicio actividad: 1 9 8 9 1 0 0 2		48. Código: 0 1 2 1		49. Fecha inicio actividad: 1 9 8 9 1 0 0 2																															
50. Código: 1 2		51. Código:		52. Número establecimientos:																																	
<b>Responsabilidades, Calidades y Atributos</b>																																					
53. Código: <b>3 5 7 8 9 1 0 1 4 1 4 4 2 4 8</b> 03- Impuesto al patrimonio      19- Productor de bienes y/o servicios exen 05- Imppto. renta y compl. régimen ordinari      41- Declaración anual de activos en el exte 07- Retención en la fuente a título de rent      42- Obligado a llevar contabilidad 08- Retención timbre nacional      48- Impuesto sobre las ventas - IVA 09- Retención en la fuente en el Impuesto 10- Obligado aduanero 14- Informante de exogena																																					
<b>Obligados aduaneros</b>				<b>Exportadores</b>																																	
54. Código: <table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> </table>				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	2	2	3								11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	55. Forma: <b>3</b> 56. Tipo: <b>1</b> 57. Modo: 58. CPC:			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																												
2	2	3																																			
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																												
<b>IMPORTANTE: Sin perjuicio de las actualizaciones a que haya lugar, la inscripción en el Registro Único Tributario -RUT-, tendrá vigencia indefinida y en consecuencia no se exigirá su renovación</b> <b>Para uso exclusivo de la DIAN</b> 59. Anexos: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> 60. No. de Folios: <b>0</b> 61. Fecha: <b>2 0 1 9 1 2 2 0</b>																																					
La información suministrada a través del formulario oficial de inscripción, actualización, suspensión y cancelación del Registro Único Tributario (RUT), deberá ser exacta y veraz; en caso de constatar inexactitud en alguno de los datos suministrados se adelantarán los procedimientos administrativos sancionatorios o de suspensión, según el caso. Parágrafo del artículo 1.6.1.2.20 del Decreto 1625 de 2016 Firma del solicitante:				Sin perjuicio de las verificaciones que la DIAN realice. Firma autorizada: 984. Nombre: <b>LLOREDA LONDOÑO LUIS FERNANDO</b> 985. Cargo: <b>Representante legal Certificado</b>																																	

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 3. Cámara de Comercio de Flores el Futuro S.A.



CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA

SEDE VIRTUAL

CÓDIGO VERIFICACIÓN: A2031954129976

14 DE ABRIL DE 2020 HORA 12:39:16

AA20319541

PÁGINA: 1 DE 1

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
LA MATRÍCULA MERCANTIL PROPORCIONA SEGURIDAD Y CONFIANZA EN LOS NEGOCIOS. SE HA EXTENDIDO LA FECHA LIMITE PARA RENOVAR LA MATRÍCULA MERCANTIL HASTA EL 03 DE JULIO DE 2020.

\*\*\*\*\*  
ESTE CERTIFICADO FUE GENERADO ELECTRÓNICAMENTE Y CUENTA CON UN CÓDIGO DE VERIFICACIÓN QUE LE PERMITE SER VALIDADO ILIMITADAMENTE DURANTE 60 DÍAS, INGRESANDO A WWW.CCB.ORG.CO

\*\*\*\*\*  
RECUERDE QUE ESTE CERTIFICADO LO PUEDE ADQUIRIR DESDE SU CASA U OFICINA DE FORMA FÁCIL, RÁPIDA Y SEGURA EN WWW.CCB.ORG.CO

\*\*\*\*\*  
PARA SU SEGURIDAD DEBE VERIFICAR LA VALIDEZ Y AUTENTICIDAD DE ESTE CERTIFICADO SIN COSTO ALGUNO DE FORMA FÁCIL, RÁPIDA Y SEGURA EN WWW.CCB.ORG.CO/CERTIFICADOSELECTRONICOS

\*\*\*\*\*

CERTIFICADO DE MATRICULA DE SOCIEDAD ANONIMA  
LA CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA, CON FUNDAMENTO EN LAS MATRICULAS E INSCRIPCIONES DEL REGISTRO MERCANTIL

CERTIFICA:

NOMBRE : FLORES EL FUTURO SA  
N.I.T. : 800.129.680-6

CERTIFICA:

MATRICULA NO : 00388302 DEL 17 DE OCTUBRE DE 1989

CERTIFICA:

DIRECCION DE NOTIFICACION JUDICIAL : CC CENTRO CHIA CENTRO EMPRESARIAL OF 422

MUNICIPIO : CHÍA (CUNDINAMARCA)

EMAIL NOTIFICACION JUDICIAL : CONTABILIDAD@FLORESTIBA.COM

DIRECCION COMERCIAL : CC CENTRO CHIA CENTRO EMPRESARIAL OF 422

MUNICIPIO : CHÍA (CUNDINAMARCA)

EMAIL COMERCIAL: CONTABILIDAD@FLORESTIBA.COM

\*\*\*\*\*

CERTIFICA:

RENOVACION DE LA MATRICULA :12 DE MARZO DE 2020

ULTIMO AÑO RENOVADO: 2020

ACTIVO TOTAL REPORTADO:\$21,590,499,000

CERTIFICA:

ACTIVIDAD ECONOMICA : 0125 CULTIVO DE FLOR DE CORTE. 0121 CULTIVO DE FRUTAS TROPICALES Y SUBTROPICALES.

CERTIFICA:

LA INFORMACION ANTERIOR HA SIDO TOMADA DIRECTAMENTE DEL FORMULARIO DE MATRICULA DILIGENCIADO POR EL COMERCIANTE.

Constanza  
del Plazo  
Prestado  
Trujillo

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 4. Carta de aceptación de Flores El Futuro S.A., para la implementación del tramo de prueba en la vía de acceso a sus cultivos.



**FLORES EL FUTURO S.A.**  
NIT. 800.129.680-6

Chia, febrero 18 de 2020

Señores

CAMILO HERNANDEZ MENDEZ

WILSON YAMEL PÉREZ QUEMBA

Respetados señores:

Dando respuesta a su solicitud de pedido de aprobación para realizar el proyecto en campo, de su tesis, "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERÍA COMO CAPA DE MEJORAMIENTO DE LA SUB-RASANTE EN EL SUELO EN EL MUNICIPIO DE NEMOCÓN – CUNDINAMARCA" para el programa de Maestría en Infraestructura Vial de la Universidad Santo tomas, en donde nos solicitan permitir adelantar el trabajo de grado mencionado y propuesto por los ingenieros Civiles Especialistas en Vías y aeropistas, Camilo Hernández Méndez y Wilson Yamel Pérez Quemba.

Queremos manifestarles que la finca EL FUTURO ubicada en el municipio de Nemocón Cundinamarca les da la aprobación para que dicha actividad se pueda realizar en las vías de nuestro cultivo todo con el fin de incentivar la formación y desarrollo académico.

Cordialmente,

DORA NANCY PARRA MELO

Representante Legal (S)



**Oficina Principal**  
C.C. Centro Chia Centro Empresarial Of. 422  
Tel: (57-1) 8840049 / 8840719 Fax: (57-1) 8840840  
contabilidad@forestiba.com

**Oficina**  
C.C. Centro Chia Of. 2015  
Tel: (57-1) 8621305 / 8621882 Fax: 57-1-8621968  
Chia, Cundinamarca - Colombia  
Calle 96 No. 13 - 31 Of. 503  
Bogotá, D.C. Colombia

**Cultivo**  
Cels: 310 765 0745 - 320 234 8692  
E-mail: despachos@forestiba.com  
Vereda Chacua - Nemocón, Cundinamarca  
Colombia


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 5. Cotización para la elaboración de sección delgada de roca, digitalización de secciones delgadas y análisis de pH por cinta marcadora en la escoria de acería.

CO FO 001	<b>COTIZACIÓN</b>				 Soluciones Geocientíficas	
Versión: 004						
<b>EMPRESA</b>	EPTG SAS		<b>COTIZACIÓN</b>			
<b>CONTACTO</b>	Wilson Yamel Perez					
<b>C.C. / NIT</b>	830146784-4		No.			
<b>DIRECCIÓN</b>	Crr 18 A Bis 38 75 Sur		2631			
<b>CIUDAD</b>	Bogotá		<b>FECHA</b>			
<b>TELEFONOS</b>	3123793898		<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>	
<b>CELULAR</b>			2020	7	28	
<b>E- MAIL</b>	<a href="mailto:wilsonperez@usanibotomas.edu.co">wilsonperez@usanibotomas.edu.co</a>					
<b>Código</b>	<b>REFERENCIA / DETALLE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR. UNITARIO</b>	<b>VR. TOTAL</b>	
PT1	Elaboración de sección delgada de roca.	Muestra	1	\$ 157.300	\$ 157.300	
PT10	Digitalización de secciones delgadas	Muestra	1	\$ 136.300	\$ 136.300	
-	Análisis de pH por cinta marcadora	Muestra	1	\$ 30.000	\$ 30.000	
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 324.000	
				<b>IVA</b>	\$ 61.560	
				<b>TOTAL</b>	\$ 385.560	
Para pagos realizar la consignación en el Banco de Davivienda, Cuenta Corriente No. 477369999974. Nombre de la cuenta: GMAS SAS y enviar copia a <a href="mailto:gmas@gmaslab.com">gmas@gmaslab.com</a> y <a href="mailto:mchavez@gmaslab.com">mchavez@gmaslab.com</a>						
<b>Tiempo de entrega de resultados:</b>	Según disponibilidad del laboratorio					
<b>Forma de pago:</b>	60% del valor de la propuesta al recibir las muestras en el laboratorio y 40% restante para la entrega de los resultados.					
<b>Validez de la Oferta:</b> 30 Días a partir de la fecha						
<b>FIRMA, SELLO Y C.C. DE APROBACIÓN DEL CLIENTE</b>						
Iván Luna GMAS S.A.S Cel. (57) 310 7834431 E - mail: <a href="mailto:gmas@gmaslab.com">gmas@gmaslab.com</a> Carrera 13 # 71-26 Bogotá, Colombia						



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 6. Cotización para la determinación elemental y mineralógica mediante las técnicas de Fluorescencia de Rayos (WDXRF y EDXRF) en la escoria de acería.

COTIZACION No. 3647/2020							
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 70%;"> <p>Fecha: JULIO14 DE 2020</p> <p>Cliete: WILSON PEREZ</p> <p>Contacto: WILSON PEREZ</p> <p>E mail: <a href="mailto:wilsonperez@centotomas.edu.co">wilsonperez@centotomas.edu.co</a></p> </div> <div style="width: 25%; text-align: right;"> <p>Tel. 312 3766888</p> </div> </div>							
							
Cordial saludo.							
Atentamente presentamos cotización para la determinación elemental y mineralógica mediante las técnicas de Fluorescencia de Rayos (WDXRF y EDXRF).							
Las condiciones comerciales las encuentra en la hoja anexa de este archivo. Tenga en cuenta los adicionales.							
Precios unitarios. Ver detalles en las condiciones comerciales							
Item	Descripción	Análitos y unidades	Código del servicio	Identificación del Método de Análisis	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total sin IVA
1	Análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva. Realiza un barrido exploratorio y cuantifica cada elemento detectado. <u>Tarifa hasta 1000 gramos de muestra</u>	Uso general. Desde Sodio hasta Uranio expresados como óxidos, más pérdidas por ignición, en unidades de % en peso y radiación Beta Gamma en µSv/h	1.1	PRT-GT-01 WDXRF- OMNIAN PASTILLA	1	\$ 130.000	\$ 130.000
2	Análisis cuantitativo Rietveld por difracción de rayos X de materiales para obtener las fases mineralógicas correspondientes. <u>Tarifa hasta 1000 gramos de muestra</u>	Difractograma y fases mineralógicas cuantificadas en unidades de % en peso. En cementos y clinker incluye sílice libre y cal libre	3.1	PRT-GT-11 XRD RIETVELD	1	\$ 325.000	\$ 325.000
SUBTOTAL							\$ 455.000
DESCUENTO						0%	\$ 0
TOTAL SIN I.V.A.							\$ 455.000
I.V.A						19%	\$ 86.450
TOTAL							\$ 541.450
Nota: Si se incrementa el número de muestras para ser analizadas mensualmente se seguirá la siguiente tabla de descuentos							
Cantidad de muestras		Descuento					
De 10 a 20 muestras		10% sobre valor sin IVA					
De 21 a 100 muestras		15% sobre valor sin IVA					
Mas de 100 muestras		20% sobre valor sin IVA					
Precios unitarios. Ver detalles en las condiciones comerciales							
Item	Descripción	Análitos y unidades	Código del servicio	Identificación del Método de Análisis	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total sin IVA
1	<b>COMBO 1.</b> Análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva. + Análisis cuantitativo Rietveld por difracción de rayos X de materiales para obtener las fases mineralógicas correspondientes. Nota: El 15 % de descuento que se otorga en estos análisis corresponde a realizar las técnicas de FRX y DRX sobre la misma muestra.	1). Uso general. Desde Sodio hasta Uranio expresados como óxidos, más pérdidas por ignición, en unidades de % en peso y radiación Beta Gamma en µSv/h 2). Difractograma y fases mineralógicas cuantificadas en unidades de % en peso. En cementos y clinker incluye sílice libre y cal libre	1.1 3.1	PRT-GT-01 WDXRF- OMNIAN PASTILLA Y PRT-GT-11 XRD RIETVELD	1	\$ 386.750	\$ 386.750
SUBTOTAL							\$ 386.750
DESCUENTO						0%	\$ 0
TOTAL SIN I.V.A.							\$ 386.750
I.V.A						19%	\$ 73.483
TOTAL							\$ 460.233
Nota: Si se incrementa el número de muestras para ser analizadas mensualmente se seguirá la siguiente tabla de descuentos							
Cantidad de muestras		Descuento					
De 20 a 100 muestras		5% sobre valor sin IVA					
Mas de 100 muestras		10% sobre valor sin IVA					
Esperamos poder servirles como laboratorio de consulta en cualquier tipo de soporte técnico que usted pueda necesitar.							
Cordialmente,							


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 7. Cotización para el ensayo de Abrasión de la escoria de acería.

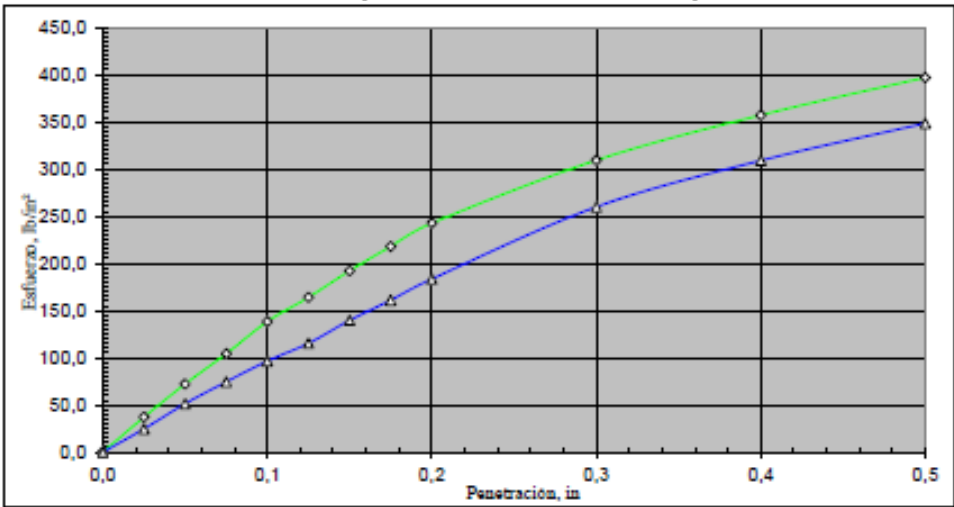
 <p><b>GEOTECNIA &amp; CEMENTACIONES</b> Corporación de Diseño y Construcción</p>	 <p><b>ANEXO 1</b> <b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b></p> <p>Pes 95588 A</p> <p>LAB-OFERTA TECNICA Y ECONOMICA PARA ENSAYO DE ABRACION PROYECTO EN NIMCOON.</p> <p>YAMEL PEREZ Agosto 25 del 2020</p>																																										
<p>PROPUESTA No : PROYECTO : CLIENTE : FECHA :</p>	<p>ITEM</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>UNIDAD</th> <th>CANTIDAD</th> <th>PRECIO UNITARIO</th> <th>PRECIO TOTAL</th> <th>SUMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. LABORATORIO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Granulometría con tamizado</td> <td>Unidad</td> <td>3</td> <td>\$ 32.000</td> <td>\$ 96.000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abrasion en la maquina de los angelés 100 Y 500</td> <td>Unidad</td> <td>1</td> <td>\$ 69.000</td> <td>\$ 69.000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abrasion en la maquina de los angelés 500 revoluciones</td> <td>Unidad</td> <td>1</td> <td>\$ 69.000</td> <td>\$ 69.000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Abrasion en la maquina de los angelés 1000 revoluciones con trituración</td> <td>Unidad</td> <td>1</td> <td>\$ 65.000</td> <td>\$ 65.000</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: right;"><b>TOTAL ANTES DE IVA</b></td> <td><b>\$</b></td> <td><b>319.000</b></td> </tr> </tbody> </table>	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	SUMA	1. LABORATORIO						Granulometría con tamizado	Unidad	3	\$ 32.000	\$ 96.000		Abrasion en la maquina de los angelés 100 Y 500	Unidad	1	\$ 69.000	\$ 69.000		Abrasion en la maquina de los angelés 500 revoluciones	Unidad	1	\$ 69.000	\$ 69.000		Abrasion en la maquina de los angelés 1000 revoluciones con trituración	Unidad	1	\$ 65.000	\$ 65.000		<b>TOTAL ANTES DE IVA</b>				<b>\$</b>	<b>319.000</b>
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	SUMA																																						
1. LABORATORIO																																											
Granulometría con tamizado	Unidad	3	\$ 32.000	\$ 96.000																																							
Abrasion en la maquina de los angelés 100 Y 500	Unidad	1	\$ 69.000	\$ 69.000																																							
Abrasion en la maquina de los angelés 500 revoluciones	Unidad	1	\$ 69.000	\$ 69.000																																							
Abrasion en la maquina de los angelés 1000 revoluciones con trituración	Unidad	1	\$ 65.000	\$ 65.000																																							
<b>TOTAL ANTES DE IVA</b>				<b>\$</b>	<b>319.000</b>																																						
<p>1. FORMA DE PAGO : 2. INICIO DE LOS TRABAJOS : 3. DURACIÓN : 4. IVA :</p>	<p><b>CONDICIONES GENERALES</b> Entrega de resultados</p> <p>100%</p> <p>La programación de los trabajos se hará de acuerdo a la disponibilidad del equipo y personal de perforación, al momento de aceptación de la oferta y de la entrega de la orden de trabajo y/o contrato por parte del Cliente.</p> <p>Una (1) Semana posterior a la entrega de muestras.</p> <p>El valor de los trabajos No incluye el IVA, el cual se liquidará de acuerdo a las normas fiscales vigentes</p>																																										
<p>Aprobación: Nombre: Cargo: Fecha de Aprobación:</p>	<p>Para firma del Cliente en Caso de APROBACION de la Oferta</p> <p>Vo.Bo. Por parte de Gerencia Técnica y/o Firma del Departamento Comercial para inicio de Trabajos</p> <p>Firma por parte de GEOTECNIA Y CEMENTACIONES S.A.S. Nombre:</p>																																										

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 8. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>PROYECTO</b> <u>FLORES EL FUTURO</u> <u>Nemocón, Cundinamarca.</u>				
Perforación, No	<u>AP - 1</u>	Muestra, No	<u>M - 4</u>	
Profundidad, m	<u>1,20 - 1,35</u>	Fecha:	<u>29/07/2019</u>	
Máquina	<u>PS-25</u>	Realizado por:	<u>Luis Carlos Mendoza P.</u>	
Certificado No.	<u>F- 0590</u>			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,004	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,496	37,2	0,329	24,7
0,050	0,963	72,2	0,684	51,3
0,075	1,391	104,2	0,994	74,5
0,100	1,846	138,3	1,288	96,5
0,125	2,188	164,0	1,538	115,3
0,150	2,563	192,1	1,863	139,6
0,175	2,908	217,9	2,148	161,0
0,200	3,236	242,5	2,447	183,4
0,300	4,126	309,2	3,466	259,7
0,400	4,763	356,9	4,121	308,8
0,500	5,295	396,8	4,648	348,3
CBR Corregido 0.1"	13,8		9,7	
CBR Corregido 0.2"	16,2		12,2	
Humedad de Penetración, %	12,76		17,48	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2,11			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1,87			




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

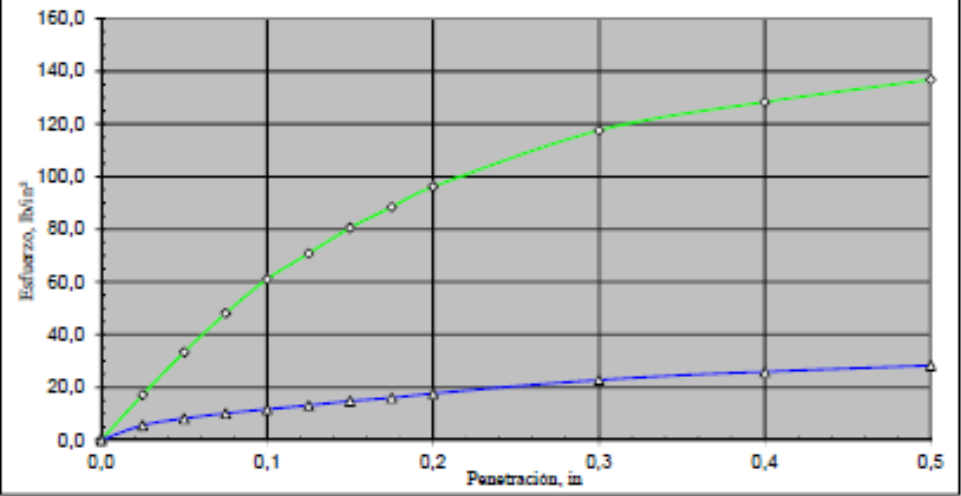
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 9. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-2, de 0.10 m a 0.30 m.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>	PAGINA 1 DE 1
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>		
<b>PROYECTO</b>	FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 1 - SUELO NATURAL.	
	Nemocón, Cundinamarca.	
Perforación, No	---	Muestra, No <u>M - 2</u>
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha: <u>19/10/2020</u>
Máquina	PS-25	Realizado por: <u>Luis Carlos Mendoza P.</u>
Certificado No.	F- 0590	
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>		
Molde No.	1	
Condición de la muestra	NATURAL	SATURADA
Días de inmersión	-----	
Expansión, in	-----	
	0,009	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0
0,025	0,230	17,2
0,050	0,445	33,3
0,075	0,642	48,1
0,100	0,815	61,1
0,125	0,945	70,8
0,150	1,075	80,6
0,175	1,180	88,4
0,200	1,283	96,1
0,300	1,569	117,6
0,400	1,713	128,4
0,500	1,826	136,8
CBR Corregido 0.1"	6,1	1,2
CBR Corregido 0.2"	6,4	1,2
Humedad de Penetración, %	13,47	26,05
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	1,81	
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	1,60	




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

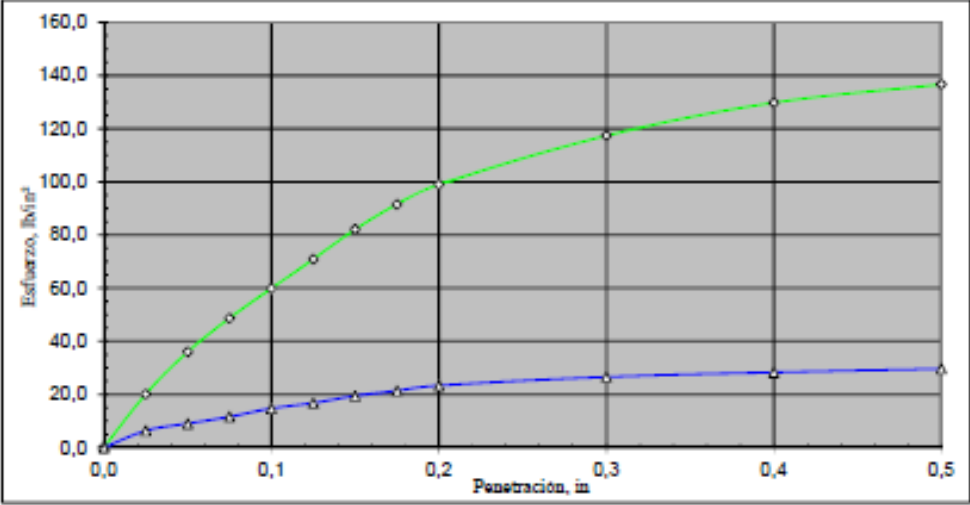
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 10. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 1. Muestra M-3, de 0.10 m a 0.30 m.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 1 - SUELO NATURAL.				
Nemocón, Cundinamarca.				
Perforación, No	---	Muestra, No	M - 3	
Profundidad, m		Fecha:	19/10/2020	
Máquina	PS-25	Realizado por:	Luis Carlos Mendoza P.	
Certificado No.	F- 0590			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,009	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,269	20,2	0,085	6,4
0,050	0,481	36,0	0,121	9,1
0,075	0,650	48,7	0,155	11,6
0,100	0,800	59,9	0,197	14,8
0,125	0,946	70,9	0,224	16,8
0,150	1,096	82,1	0,260	19,5
0,175	1,222	91,6	0,286	21,4
0,200	1,321	99,0	0,312	23,4
0,300	1,567	117,4	0,355	26,6
0,400	1,732	129,8	0,378	28,3
0,500	1,824	136,7	0,396	29,7
CBR Corregido 0.1"	6,0		1,5	
CBR Corregido 0.2"	6,6		1,6	
Humedad de Penetración, %	10,91		25,03	
Densidad húmeda, gr / cm <sup>3</sup>	1,87			
Densidad seca, gr / cm <sup>3</sup>	1,69			




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL


Anexo 11. Resultados de laboratorio del contenido de materia orgánica del suelo en el tramo de prueba 1.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA</b>	Página 1 de 1				
<b>PROYECTO</b> <u>FLORES EL FUTURO</u>						
<u>Nemocón, Cundinamarca.</u>						
<b>FECHA</b> <u>jul-29-19</u>		<b>REALIZÓ</b> <u>Luis Carlos Mendoza P.</u>				
SONDEO No.	MUESTRA	PROF. m	P2, gr	P3, gr	Pc, gr	MO, %
AP - 1	M - 1	0,00 - 0,20	255,40	33,60	227,40	14,4
Revisó: _____						



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 13. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba  
1. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1
<b>PROYECTO</b>	<u>FLORES EL FUTURO</u>	
	<u>Nemocón, Cundinamarca.</u>	
<b>SONDEO No.</b>	<u>AP - 1</u>	
<b>MUESTRA No.</b>	<u>M - 1</u>	
<b>PROFUNDIDAD, m</b>	<u>0,00 - 0,20</u>	
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>	<u>Limo, orgánico, café oscuro, incrustaciones de gravas finas, con raíces.</u>	
	<b>FECHA</b>	<u>29-jul-19</u>
	<b>REALIZADO</b>	<u>Luis Carlos Mendoza.</u>

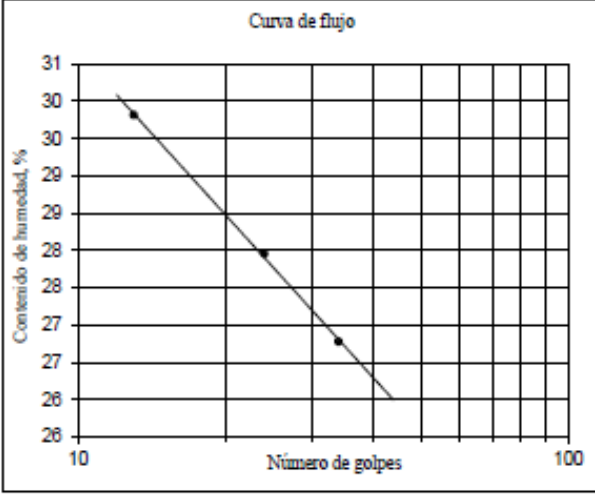
  

LIMITE LIQUIDO			
ENSAYO No.	1	2	3
N	34	24	13
P <sub>1</sub> , gr	52,68	55,24	45,97
P <sub>2</sub> , gr	45,18	48,55	39,02
P <sub>3</sub> , gr	17,17	24,62	15,71
Humedad, %	26,8	28,0	29,8

LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL			
ENSAYO No.	1	2	w <sub>n</sub>
P <sub>1</sub> , gr	19,15	18,25	90,92
P <sub>2</sub> , gr	17,18	16,43	82,48
P <sub>3</sub> , gr	7,98	7,86	25,37
Humedad, %	21,4	21,2	14,8



Curva de flujo

GRADACION			
P <sub>1</sub> , gr =	637,1		
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			100,00
1/2"	22,4	3,52	96,48
3/8"	22,3	3,50	92,98
4	32,6	5,12	87,87
10	47,5	7,46	80,41
20	27,6	4,33	76,08
40	18,0	2,83	73,25
60	20,6	3,23	70,02
100	60,2	9,45	60,57
200	60,1	9,43	51,14
Fondo	325,8	51,14	
Σ	637,1	100	

RESULTADOS	
Limite liquido, %	<u>27,8</u>
Limite plástico, %	<u>21,3</u>
Indice de plasticidad, %	<u>6,5</u>

CLASIFICACION	
USC	<u>CL-ML</u>
AASHTO	<u>A-4 (1)</u>

**OBSERVACIONES**  
%G = 12.13    %S = 36.73    %F = 51.14

---




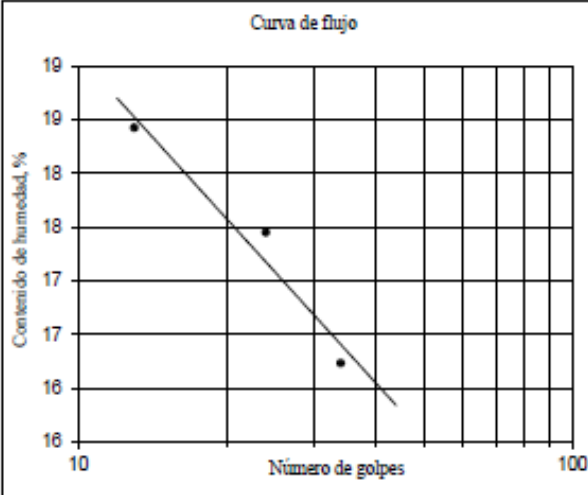
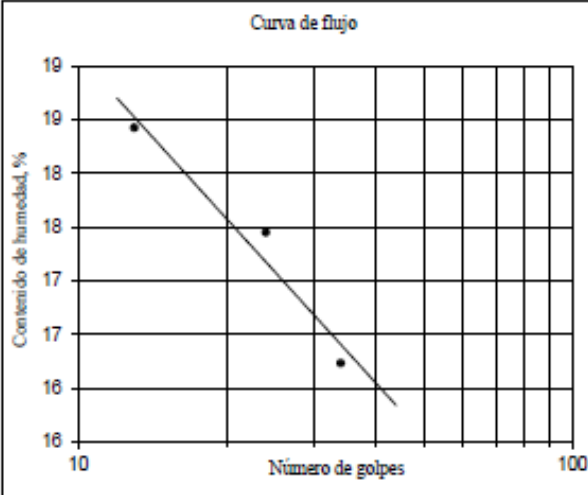
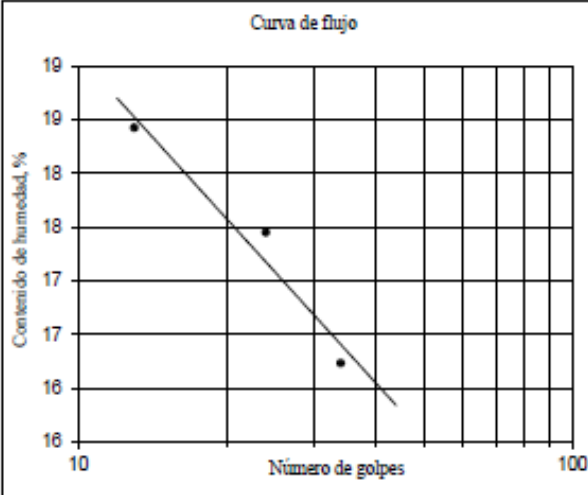
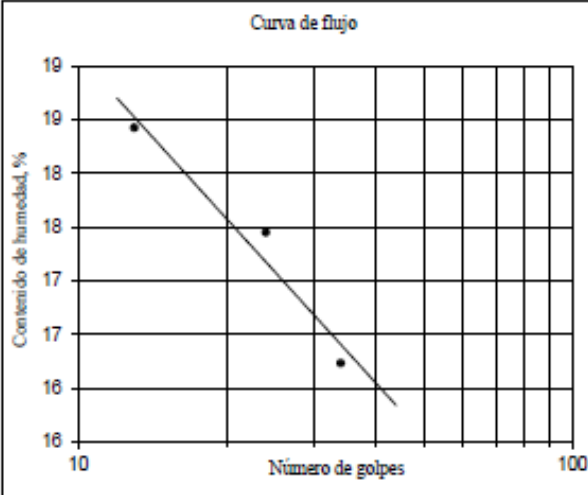
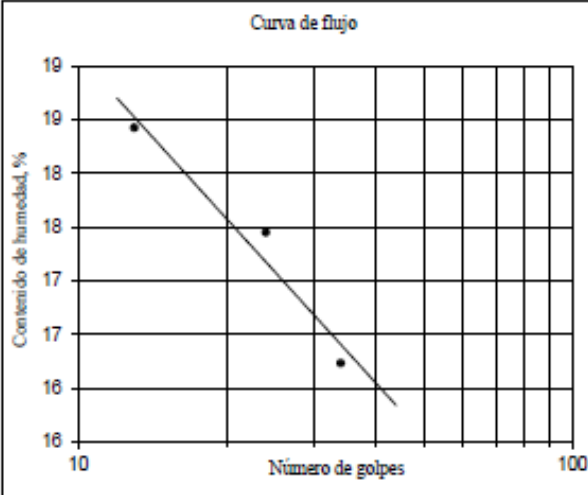
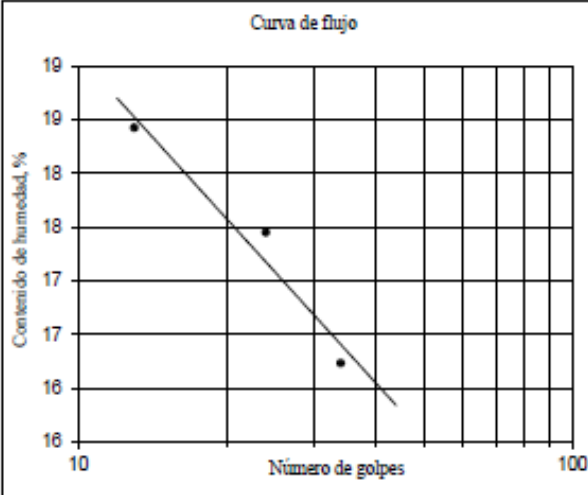
---

REVISO: .....

STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7  
 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 14. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba  
1. Sondeo No. AP-1, muestra M-2.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1																																																																																																																																																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><b>PROYECTO</b></td> <td colspan="2"><u>FLORES EL FUTURO</u></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"><u>Nemocón, Cundinamarca.</u></td> </tr> <tr> <td><b>SONDEO No.</b></td> <td><u>AP - 1</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>MUESTRA No.</b></td> <td><u>M - 2</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>PROFUNDIDAD, m</b></td> <td><u>0,20 - 0,60</u></td> <td><b>FECHA</b> <u>29-jul-19</u></td> </tr> <tr> <td><b>DESCRIPCION VISUAL:</b></td> <td><u>Limo con arena fina, amarillo.</u></td> <td><b>REALIZADO</b> <u>Luis Carlos Mendoza.</u></td> </tr> </table>			<b>PROYECTO</b>	<u>FLORES EL FUTURO</u>			<u>Nemocón, Cundinamarca.</u>		<b>SONDEO No.</b>	<u>AP - 1</u>		<b>MUESTRA No.</b>	<u>M - 2</u>		<b>PROFUNDIDAD, m</b>	<u>0,20 - 0,60</u>	<b>FECHA</b> <u>29-jul-19</u>	<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>	<u>Limo con arena fina, amarillo.</u>	<b>REALIZADO</b> <u>Luis Carlos Mendoza.</u>																																																																																																																																				
<b>PROYECTO</b>	<u>FLORES EL FUTURO</u>																																																																																																																																																							
	<u>Nemocón, Cundinamarca.</u>																																																																																																																																																							
<b>SONDEO No.</b>	<u>AP - 1</u>																																																																																																																																																							
<b>MUESTRA No.</b>	<u>M - 2</u>																																																																																																																																																							
<b>PROFUNDIDAD, m</b>	<u>0,20 - 0,60</u>	<b>FECHA</b> <u>29-jul-19</u>																																																																																																																																																						
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>	<u>Limo con arena fina, amarillo.</u>	<b>REALIZADO</b> <u>Luis Carlos Mendoza.</u>																																																																																																																																																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>LIMITE LIQUIDO</b></td> <td style="width: 50%;"><b>GRADACION</b></td> </tr> <tr> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr> <tr><td>N</td><td>34</td><td>24</td><td>13</td></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>46,75</td><td>50,08</td><td>45,16</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>42,50</td><td>45,49</td><td>39,73</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>16,32</td><td>19,19</td><td>10,26</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>16,2</td><td>17,5</td><td>18,4</td></tr> </table> </td> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr =</td><td>334,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><th>Tamiz</th><th>Peso retenido</th><th>%Retenido</th><th>%Pasa</th></tr> <tr><td>2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td></td><td></td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4</td><td>2,1</td><td>0,63</td><td>99,37</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,6</td><td>1,67</td><td>97,70</td></tr> <tr><td>20</td><td>2,9</td><td>0,87</td><td>96,83</td></tr> <tr><td>40</td><td>3,2</td><td>0,96</td><td>95,88</td></tr> <tr><td>60</td><td>16,5</td><td>4,93</td><td>90,95</td></tr> <tr><td>100</td><td>62,1</td><td>18,54</td><td>72,41</td></tr> <tr><td>200</td><td>74,8</td><td>22,34</td><td>50,07</td></tr> <tr><td>Fondo</td><td>167,7</td><td>50,07</td><td></td></tr> <tr><td>Σ</td><td>334,9</td><td>100</td><td></td></tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>w<sub>p</sub></th></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>18,80</td><td>18,92</td><td>80,60</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>17,65</td><td>17,72</td><td>73,62</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>8,23</td><td>7,84</td><td>13,19</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>12,2</td><td>12,1</td><td>11,6</td></tr> </table> </td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Curva de flujo</p>  </div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>RESULTADOS</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, %</td> <td style="text-align: right;"><u>17,1</u></td> </tr> <tr> <td>Límite plástico, %</td> <td style="text-align: right;"><u>12,2</u></td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, %</td> <td style="text-align: right;"><u>4,9</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"><b>CLASIFICACION</b></td> </tr> <tr> <td>USC</td> <td style="text-align: right;"><u>CL-ML</u></td> </tr> <tr> <td>AASHTO</td> <td style="text-align: right;"><u>A-4 (0)</u></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <b>OBSERVACIONES</b>                  %G = .63    %S = 49.3    %F = 50.07  <hr/> <hr/> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                     REVISO: .....                 </div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 10px;">                 STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7                  Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.             </td> </tr> </table></td></tr></table>			<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>GRADACION</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr> <tr><td>N</td><td>34</td><td>24</td><td>13</td></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>46,75</td><td>50,08</td><td>45,16</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>42,50</td><td>45,49</td><td>39,73</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>16,32</td><td>19,19</td><td>10,26</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>16,2</td><td>17,5</td><td>18,4</td></tr> </table>	ENSAYO No.	1	2	3	N	34	24	13	P <sub>1</sub> , gr	46,75	50,08	45,16	P <sub>2</sub> , gr	42,50	45,49	39,73	P <sub>3</sub> , gr	16,32	19,19	10,26	Humedad, %	16,2	17,5	18,4	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr =</td><td>334,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><th>Tamiz</th><th>Peso retenido</th><th>%Retenido</th><th>%Pasa</th></tr> <tr><td>2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td></td><td></td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4</td><td>2,1</td><td>0,63</td><td>99,37</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,6</td><td>1,67</td><td>97,70</td></tr> <tr><td>20</td><td>2,9</td><td>0,87</td><td>96,83</td></tr> <tr><td>40</td><td>3,2</td><td>0,96</td><td>95,88</td></tr> <tr><td>60</td><td>16,5</td><td>4,93</td><td>90,95</td></tr> <tr><td>100</td><td>62,1</td><td>18,54</td><td>72,41</td></tr> <tr><td>200</td><td>74,8</td><td>22,34</td><td>50,07</td></tr> <tr><td>Fondo</td><td>167,7</td><td>50,07</td><td></td></tr> <tr><td>Σ</td><td>334,9</td><td>100</td><td></td></tr> </table>	P <sub>1</sub> , gr =	334,9			Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa	2"				1 1/2"				1"				3/4"				1/2"				3/8"			100,00	4	2,1	0,63	99,37	10	5,6	1,67	97,70	20	2,9	0,87	96,83	40	3,2	0,96	95,88	60	16,5	4,93	90,95	100	62,1	18,54	72,41	200	74,8	22,34	50,07	Fondo	167,7	50,07		Σ	334,9	100		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>w<sub>p</sub></th></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>18,80</td><td>18,92</td><td>80,60</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>17,65</td><td>17,72</td><td>73,62</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>8,23</td><td>7,84</td><td>13,19</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>12,2</td><td>12,1</td><td>11,6</td></tr> </table> </td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Curva de flujo</p>  </div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>RESULTADOS</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, %</td> <td style="text-align: right;"><u>17,1</u></td> </tr> <tr> <td>Límite plástico, %</td> <td style="text-align: right;"><u>12,2</u></td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, %</td> <td style="text-align: right;"><u>4,9</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"><b>CLASIFICACION</b></td> </tr> <tr> <td>USC</td> <td style="text-align: right;"><u>CL-ML</u></td> </tr> <tr> <td>AASHTO</td> <td style="text-align: right;"><u>A-4 (0)</u></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <b>OBSERVACIONES</b>                  %G = .63    %S = 49.3    %F = 50.07  <hr/> <hr/> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                     REVISO: .....                 </div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 10px;">                 STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7                  Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.             </td> </tr> </table>			<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>w<sub>p</sub></th></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>18,80</td><td>18,92</td><td>80,60</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>17,65</td><td>17,72</td><td>73,62</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>8,23</td><td>7,84</td><td>13,19</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>12,2</td><td>12,1</td><td>11,6</td></tr> </table>	ENSAYO No.	1	2	w <sub>p</sub>	P <sub>1</sub> , gr	18,80	18,92	80,60	P <sub>2</sub> , gr	17,65	17,72	73,62	P <sub>3</sub> , gr	8,23	7,84	13,19	Humedad, %	12,2	12,1	11,6		<div style="text-align: center;"> <p>Curva de flujo</p>  </div>			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>RESULTADOS</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, %</td> <td style="text-align: right;"><u>17,1</u></td> </tr> <tr> <td>Límite plástico, %</td> <td style="text-align: right;"><u>12,2</u></td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, %</td> <td style="text-align: right;"><u>4,9</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"><b>CLASIFICACION</b></td> </tr> <tr> <td>USC</td> <td style="text-align: right;"><u>CL-ML</u></td> </tr> <tr> <td>AASHTO</td> <td style="text-align: right;"><u>A-4 (0)</u></td> </tr> </table>			<b>RESULTADOS</b>		Límite líquido, %	<u>17,1</u>	Límite plástico, %	<u>12,2</u>	Índice de plasticidad, %	<u>4,9</u>	<b>CLASIFICACION</b>			USC	<u>CL-ML</u>	AASHTO	<u>A-4 (0)</u>	<b>OBSERVACIONES</b> %G = .63    %S = 49.3    %F = 50.07 <hr/> <hr/> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                     REVISO: .....                 </div>			STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>GRADACION</b>																																																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr> <tr><td>N</td><td>34</td><td>24</td><td>13</td></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>46,75</td><td>50,08</td><td>45,16</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>42,50</td><td>45,49</td><td>39,73</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>16,32</td><td>19,19</td><td>10,26</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>16,2</td><td>17,5</td><td>18,4</td></tr> </table>	ENSAYO No.	1	2	3	N	34	24	13	P <sub>1</sub> , gr	46,75	50,08	45,16	P <sub>2</sub> , gr	42,50	45,49	39,73	P <sub>3</sub> , gr	16,32	19,19	10,26	Humedad, %	16,2	17,5	18,4	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr =</td><td>334,9</td><td></td><td></td></tr> <tr><th>Tamiz</th><th>Peso retenido</th><th>%Retenido</th><th>%Pasa</th></tr> <tr><td>2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td></td><td></td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4</td><td>2,1</td><td>0,63</td><td>99,37</td></tr> <tr><td>10</td><td>5,6</td><td>1,67</td><td>97,70</td></tr> <tr><td>20</td><td>2,9</td><td>0,87</td><td>96,83</td></tr> <tr><td>40</td><td>3,2</td><td>0,96</td><td>95,88</td></tr> <tr><td>60</td><td>16,5</td><td>4,93</td><td>90,95</td></tr> <tr><td>100</td><td>62,1</td><td>18,54</td><td>72,41</td></tr> <tr><td>200</td><td>74,8</td><td>22,34</td><td>50,07</td></tr> <tr><td>Fondo</td><td>167,7</td><td>50,07</td><td></td></tr> <tr><td>Σ</td><td>334,9</td><td>100</td><td></td></tr> </table>	P <sub>1</sub> , gr =	334,9			Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa	2"				1 1/2"				1"				3/4"				1/2"				3/8"			100,00	4	2,1	0,63	99,37	10	5,6	1,67	97,70	20	2,9	0,87	96,83	40	3,2	0,96	95,88	60	16,5	4,93	90,95	100	62,1	18,54	72,41	200	74,8	22,34	50,07	Fondo	167,7	50,07		Σ	334,9	100																																																												
ENSAYO No.	1	2	3																																																																																																																																																					
N	34	24	13																																																																																																																																																					
P <sub>1</sub> , gr	46,75	50,08	45,16																																																																																																																																																					
P <sub>2</sub> , gr	42,50	45,49	39,73																																																																																																																																																					
P <sub>3</sub> , gr	16,32	19,19	10,26																																																																																																																																																					
Humedad, %	16,2	17,5	18,4																																																																																																																																																					
P <sub>1</sub> , gr =	334,9																																																																																																																																																							
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa																																																																																																																																																					
2"																																																																																																																																																								
1 1/2"																																																																																																																																																								
1"																																																																																																																																																								
3/4"																																																																																																																																																								
1/2"																																																																																																																																																								
3/8"			100,00																																																																																																																																																					
4	2,1	0,63	99,37																																																																																																																																																					
10	5,6	1,67	97,70																																																																																																																																																					
20	2,9	0,87	96,83																																																																																																																																																					
40	3,2	0,96	95,88																																																																																																																																																					
60	16,5	4,93	90,95																																																																																																																																																					
100	62,1	18,54	72,41																																																																																																																																																					
200	74,8	22,34	50,07																																																																																																																																																					
Fondo	167,7	50,07																																																																																																																																																						
Σ	334,9	100																																																																																																																																																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>w<sub>p</sub></th></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>18,80</td><td>18,92</td><td>80,60</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>17,65</td><td>17,72</td><td>73,62</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>8,23</td><td>7,84</td><td>13,19</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>12,2</td><td>12,1</td><td>11,6</td></tr> </table> </td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Curva de flujo</p>  </div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>RESULTADOS</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, %</td> <td style="text-align: right;"><u>17,1</u></td> </tr> <tr> <td>Límite plástico, %</td> <td style="text-align: right;"><u>12,2</u></td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, %</td> <td style="text-align: right;"><u>4,9</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"><b>CLASIFICACION</b></td> </tr> <tr> <td>USC</td> <td style="text-align: right;"><u>CL-ML</u></td> </tr> <tr> <td>AASHTO</td> <td style="text-align: right;"><u>A-4 (0)</u></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"> <b>OBSERVACIONES</b>                  %G = .63    %S = 49.3    %F = 50.07  <hr/> <hr/> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                     REVISO: .....                 </div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 10px;">                 STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7                  Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.             </td> </tr> </table>			<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>w<sub>p</sub></th></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>18,80</td><td>18,92</td><td>80,60</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>17,65</td><td>17,72</td><td>73,62</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>8,23</td><td>7,84</td><td>13,19</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>12,2</td><td>12,1</td><td>11,6</td></tr> </table>	ENSAYO No.	1	2	w <sub>p</sub>	P <sub>1</sub> , gr	18,80	18,92	80,60	P <sub>2</sub> , gr	17,65	17,72	73,62	P <sub>3</sub> , gr	8,23	7,84	13,19	Humedad, %	12,2	12,1	11,6		<div style="text-align: center;"> <p>Curva de flujo</p>  </div>			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>RESULTADOS</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, %</td> <td style="text-align: right;"><u>17,1</u></td> </tr> <tr> <td>Límite plástico, %</td> <td style="text-align: right;"><u>12,2</u></td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, %</td> <td style="text-align: right;"><u>4,9</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"><b>CLASIFICACION</b></td> </tr> <tr> <td>USC</td> <td style="text-align: right;"><u>CL-ML</u></td> </tr> <tr> <td>AASHTO</td> <td style="text-align: right;"><u>A-4 (0)</u></td> </tr> </table>			<b>RESULTADOS</b>		Límite líquido, %	<u>17,1</u>	Límite plástico, %	<u>12,2</u>	Índice de plasticidad, %	<u>4,9</u>	<b>CLASIFICACION</b>			USC	<u>CL-ML</u>	AASHTO	<u>A-4 (0)</u>	<b>OBSERVACIONES</b> %G = .63    %S = 49.3    %F = 50.07 <hr/> <hr/> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                     REVISO: .....                 </div>			STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.																																																																																																					
<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><th>ENSAYO No.</th><th>1</th><th>2</th><th>w<sub>p</sub></th></tr> <tr><td>P<sub>1</sub>, gr</td><td>18,80</td><td>18,92</td><td>80,60</td></tr> <tr><td>P<sub>2</sub>, gr</td><td>17,65</td><td>17,72</td><td>73,62</td></tr> <tr><td>P<sub>3</sub>, gr</td><td>8,23</td><td>7,84</td><td>13,19</td></tr> <tr><td>Humedad, %</td><td>12,2</td><td>12,1</td><td>11,6</td></tr> </table>	ENSAYO No.	1	2	w <sub>p</sub>	P <sub>1</sub> , gr	18,80	18,92	80,60	P <sub>2</sub> , gr	17,65	17,72	73,62	P <sub>3</sub> , gr	8,23	7,84	13,19	Humedad, %	12,2	12,1	11,6																																																																																																																																				
ENSAYO No.	1	2	w <sub>p</sub>																																																																																																																																																					
P <sub>1</sub> , gr	18,80	18,92	80,60																																																																																																																																																					
P <sub>2</sub> , gr	17,65	17,72	73,62																																																																																																																																																					
P <sub>3</sub> , gr	8,23	7,84	13,19																																																																																																																																																					
Humedad, %	12,2	12,1	11,6																																																																																																																																																					
<div style="text-align: center;"> <p>Curva de flujo</p>  </div>																																																																																																																																																								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>RESULTADOS</b></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, %</td> <td style="text-align: right;"><u>17,1</u></td> </tr> <tr> <td>Límite plástico, %</td> <td style="text-align: right;"><u>12,2</u></td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, %</td> <td style="text-align: right;"><u>4,9</u></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding: 10px;"><b>CLASIFICACION</b></td> </tr> <tr> <td>USC</td> <td style="text-align: right;"><u>CL-ML</u></td> </tr> <tr> <td>AASHTO</td> <td style="text-align: right;"><u>A-4 (0)</u></td> </tr> </table>			<b>RESULTADOS</b>		Límite líquido, %	<u>17,1</u>	Límite plástico, %	<u>12,2</u>	Índice de plasticidad, %	<u>4,9</u>	<b>CLASIFICACION</b>			USC	<u>CL-ML</u>	AASHTO	<u>A-4 (0)</u>																																																																																																																																							
<b>RESULTADOS</b>																																																																																																																																																								
Límite líquido, %	<u>17,1</u>																																																																																																																																																							
Límite plástico, %	<u>12,2</u>																																																																																																																																																							
Índice de plasticidad, %	<u>4,9</u>																																																																																																																																																							
<b>CLASIFICACION</b>																																																																																																																																																								
USC	<u>CL-ML</u>																																																																																																																																																							
AASHTO	<u>A-4 (0)</u>																																																																																																																																																							
<b>OBSERVACIONES</b> %G = .63    %S = 49.3    %F = 50.07 <hr/> <hr/> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">                     REVISO: .....                 </div>																																																																																																																																																								
STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.																																																																																																																																																								

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 15. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba  
1. Sondeo No. AP-1, muestra M-3.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1
<b>PROYECTO</b>	<u>FLORES EL FUTURO</u>	
	<u>Nemocón, Cundinamarca.</u>	
<b>SONDEO No.</b>	<u>AP - 1</u>	
<b>MUESTRA No.</b>	<u>M - 3</u>	
<b>PROFUNDIDAD, m</b>	<u>0,60 - 1,20</u>	
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>	<u>Limo, algo de arena fina, amarillo.</u>	
	<b>FECHA</b>	<u>29-jul-19</u>
	<b>REALIZADO</b>	<u>Luis Carlos Mendoza.</u>

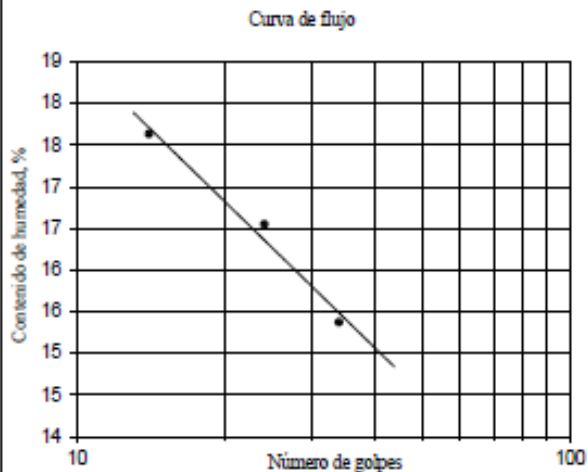
  

LIMITE LIQUIDO			
ENSAYO No.	1	2	3
N	34	24	14
P <sub>1</sub> , gr	61,89	49,36	51,41
P <sub>2</sub> , gr	56,95	45,14	46,60
P <sub>3</sub> , gr	24,81	19,64	19,32
Humedad, %	15,4	16,5	17,6

LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL			
ENSAYO No.	1	2	w <sub>n</sub>
P <sub>1</sub> , gr	17,61	20,06	93,30
P <sub>2</sub> , gr	16,45	18,62	86,09
P <sub>3</sub> , gr	6,77	7,97	21,33
Humedad, %	12,0	13,5	11,1



Curva de flujo

P <sub>1</sub> , gr = 447,0			
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
4			100,00
10	0,7	0,16	99,84
20	1,2	0,27	99,57
40	2,5	0,56	99,02
60	26,3	5,88	93,13
100	82,6	18,48	74,65
200	91,5	20,47	54,18
Fondo	242,2	54,18	
Σ	447,0	100	

<b>RESULTADOS</b>	
Límite líquido, %	<u>16,3</u>
Límite plástico, %	<u>12,8</u>
Índice de plasticidad, %	<u>3,5</u>

<b>CLASIFICACION</b>	
USC	<u>ML</u>
AASHTO	<u>A-4 (0)</u>

**OBSERVACIONES**

%G = 0    %S = 45,82    %F = 54,18

---




---

REVISO: .....

STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7  
 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 16. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba  
1. Sondeo No. AP-1, muestra M-4.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1
<b>PROYECTO</b> <u>FLORES EL FUTURO</u> <u>Nemocón, Cundinamarca.</u>		
<b>SONDEO No.</b> <u>AP - 1</u>		
<b>MUESTRA No.</b> <u>M - 4</u>		
<b>PROFUNDIDAD, m</b> <u>1,20 - 1,35</u>		
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b> <u>Limo con arena fina, café amarillo, vetas grises.</u>		
<b>FECHA REALIZADO</b>		<u>29-jul-19</u> <u>Luis Carlos Mendoza</u>

**LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO No.	1	2	3
N			
P <sub>1</sub> , gr			
P <sub>2</sub> , gr			
P <sub>3</sub> , gr			
Humedad, %	NL	NL	NL

**LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL**

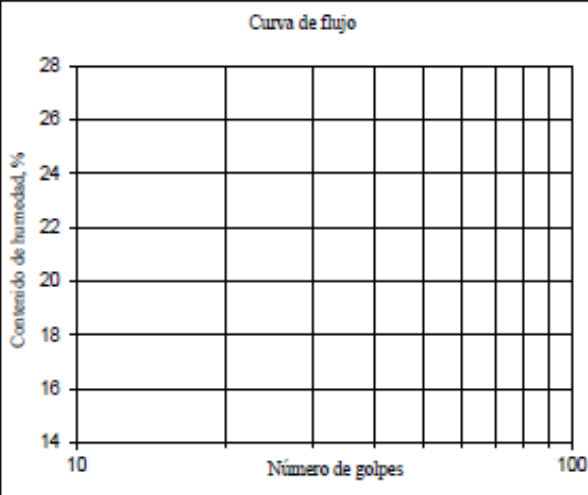
ENSAYO No.	1	2	w <sub>p</sub>
P <sub>1</sub> , gr			93,30
P <sub>2</sub> , gr			86,09
P <sub>3</sub> , gr			21,33
Humedad, %	NP	NP	11,1

**GRADACION**

Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
P <sub>1</sub> , gr = 415,5			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			100,00
4	2,1	0,51	99,49
10	4,0	0,96	98,53
20	3,2	0,77	97,76
40	5,2	1,25	96,51
60	18,3	4,40	92,11
100	85,1	20,48	71,62
200	89,4	21,52	50,11
Fondo	208,2	50,11	
Σ	415,5	100	

Curva de flujo



**RESULTADOS**

Límite líquido, % NL  
 Límite plástico, % NP  
 Índice de plasticidad, % NL - NP

**CLASIFICACION**

USC ML  
 AASHTO A-4 (0)

**OBSERVACIONES**  
 %G = .51    %S = 49.39    %F = 50.11


---

REVISO: .....

STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7  
 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 17. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 1, muestra M-2/3.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 1 - SUELO NATURAL.		
<b>SONDEO No.</b> Nemocón, Cundinamarca.		
<b>MUESTRA No.</b>	---	
<b>PROFUNDIDAD, m</b>	M - 2 / 3	<b>FECHA REALIZADO</b> 19-oct-20
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>		Luis Carlos Mendoza.

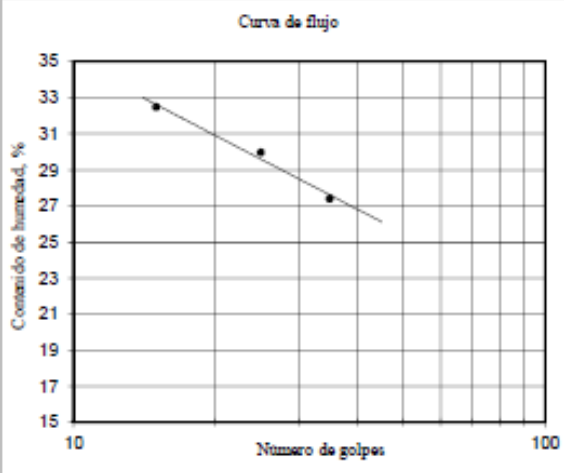
  

LIMITE LIQUIDO			
ENSAYO No.	1	2	3
N	35	25	15
P <sub>1</sub> , gr	42,67	48,19	52,96
P <sub>2</sub> , gr	35,83	41,04	44,11
P <sub>3</sub> , gr	10,86	17,16	16,85
Humedad, %	27,4	29,9	32,5

LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL			
ENSAYO No.	1	2	w <sub>n</sub>
P <sub>1</sub> , gr	14,75	14,42	66,04
P <sub>2</sub> , gr	13,65	13,44	59,53
P <sub>3</sub> , gr	7,43	7,92	11,19
Humedad, %	17,7	17,8	13,5



Curva de flujo

GRADACION			
P <sub>1</sub> , gr =	232,0		
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			100,00
1/2"	1,3	0,56	99,44
3/8"	7,7	3,32	96,12
4	5,4	2,33	93,79
10	12,1	5,22	88,58
20	7,9	3,41	85,17
40	13,3	5,73	79,44
60	3,2	1,38	78,06
100	1,8	0,78	77,28
200	1,5	0,65	76,64
Fondo	177,8	76,64	
Σ	232,0	100	

<b>RESULTADOS</b>	
Límite líquido, %	29,6
Límite plástico, %	17,7
Índice de plasticidad, %	11,9

<b>CLASIFICACION</b>	
USC	CL
AASHTO	A-6 (7)

**OBSERVACIONES**  
 %G = 6.21    %S = 17.16    %F = 76.64

REVISO: .....

STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7  
 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 18. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería.



**ALPHA 1 S.A.S**  
Avenida Carrera 60 N. 67A-80  
Bogotá D.C. Colombia  
Teléfonos: (571) 231 3518  
Móvil: (57) 313 454 9361

<b>Identificación:</b>	MUESTRA 1	<b>Consecutivo muestra:</b>	EPT 24632
<b>Tipo de muestra:</b>	DESCONOCIDO	<b>Responsable del muestreo:</b>	CLIENTE
<b>Procedencia:</b>	DESCONOCIDO	<b>Plan / Procedimiento de muestreo:</b>	NO REPORTADO
<b>Ciente:</b>	EMPRESA DE PROYECTOS TECNICOS GENERALES EPTG SAS	<b>Fecha Ingreso:</b>	22/07/2020
<b>Contacto:</b>	WILSON PEREZ	<b>Fecha Análisis:</b>	30/07/2020
<b>Dirección:</b>	CARRERA 18 A BIS #58-75 SUR	<b>Fecha Reporte:</b>	30/07/2020
<b>Ciudad:</b>	BOGOTA	<b>Solicitud Análisis:</b>	SA7275
<b>Teléfono:</b>	312 379 5898	<b>Consecutivo Reporte:</b>	REDRX24632
<b>Análisis requerido:</b>	Análisis de fases cristalinas	<b>Páginas reporte:</b>	6

### INTRODUCCIÓN

El siguiente resultado fue obtenido en un difractómetro de rayos X marca PANalytical, modelo EMPYREAN. La muestra fue medida en una configuración óptica Bragg-Brentano con un detector de estado sólido de alta velocidad para la adquisición de datos, denominado PIXCEL 3D 1x1. Las condiciones instrumentales exactas utilizadas se encuentran en CONDICIONES DE MEDIDA. Para la preparación de muestra se utilizó portamuestras circulares con sistema de presión en la parte posterior de la muestra. La presión ejercida para prensar la muestra fue la presión normal obtenida manualmente.

### PREPARACION DE MUESTRA:

La muestra fue cuarteada para tomar 100g como muestra de trabajo, se prepara una superficie plana de análisis en un portamuestras circular con presión manual hasta lograr la compactación adecuada.

El siguiente informe contiene las condiciones instrumentales utilizadas para hacer el análisis de fases cristalinas y los resultados de esta medición, detallando: Difractogramas de la medida, Fases aceptadas, Lista de picos con su respectiva identificación de compuesto, Lista de fases aceptadas y Cuantificación por el método de Rietveld.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

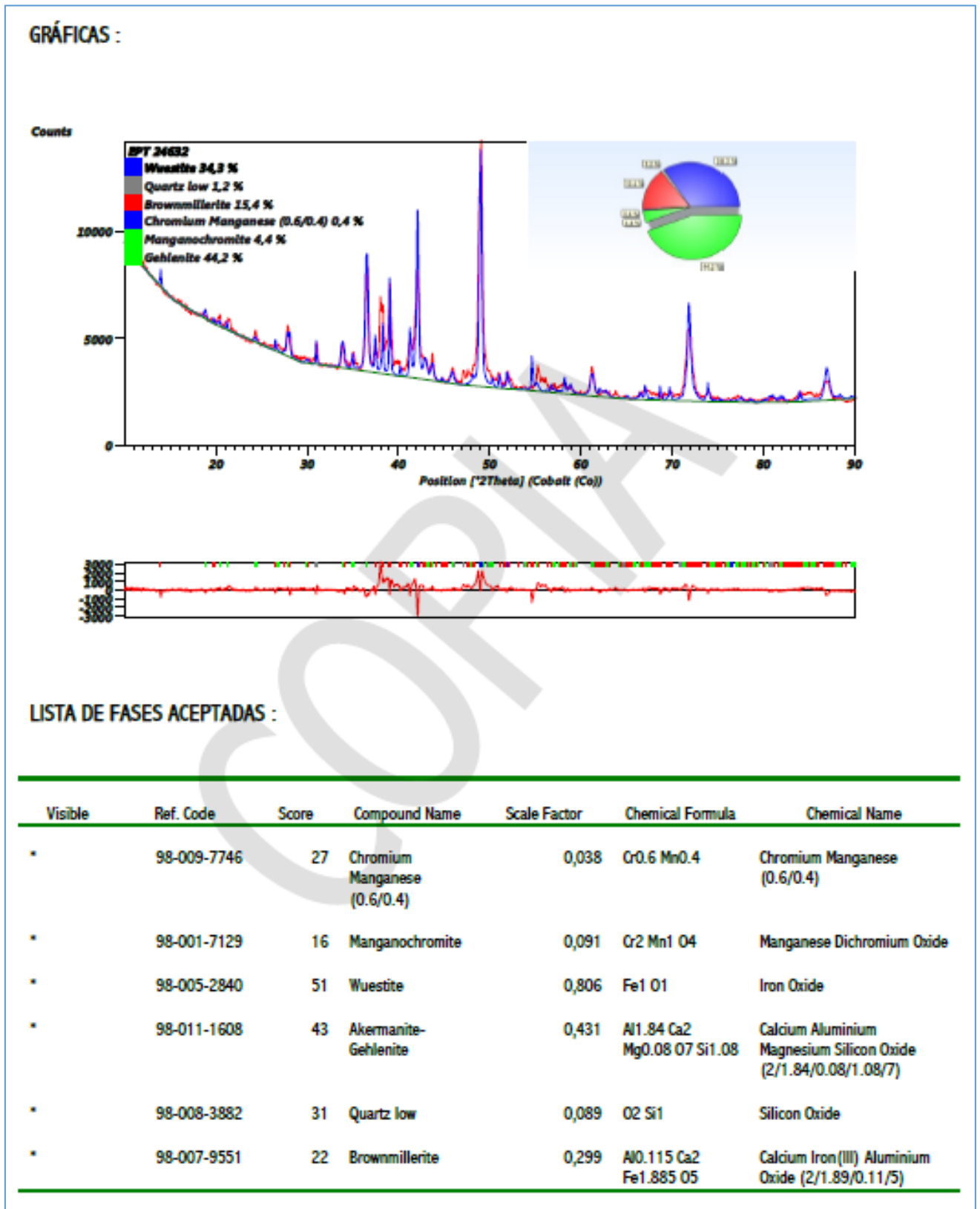
Anexo 19. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería.

### CONDICIONES DE MEDIDA:

Dataset Name	EPT 24632
File name	C:\Users\Jairo Torres\Documents\Alpha1\2020\EPT\EPT
24632.xrdml	
Comment	Configuration=PIXCEL, Owner=User-1, Creation
date=09/03/2016 04:01:52 p.m.	
Minimum step size Omega:0.0001	Goniometer=Theta/Theta; Minimum step size 2Theta:0.0001;
size Phi:0.1	Sample stage=Reflection-transmission spinner; Minimum step
	Diffraction system=EMPYREAN
	Measurement program=C:\PANalytical\Data
Collector\Programs\EXPLORATORIO 2019.xrdmp, Identifier={AE6462F3-537A-4DD0-9D8D-75B6B065A42D}	
Measurement Date / Time	29/07/2020 3:38:12 p. m.
Operator	DRX_2
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	10,0029
End Position [°2Th.]	90,1919
Step Size [°2Th.]	0,0530
Scan Step Time [s]	105,2410
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2,51
Offset [°2Th.]	0,0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1,0000
Specimen Length [mm]	10,00
Measurement Temperature [°C]	25,00
Anode Material	Co
K-Alpha1 [Å]	1,78901
K-Alpha2 [Å]	1,79290
K-Beta [Å]	1,62083
K-A2 / K-A1 Ratio	0,50000
Generator Settings	40 mA, 40 kV
Diffraction Type	0000000011138245
Diffraction Number	0
Goniometer Radius [mm]	240,00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	100,00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

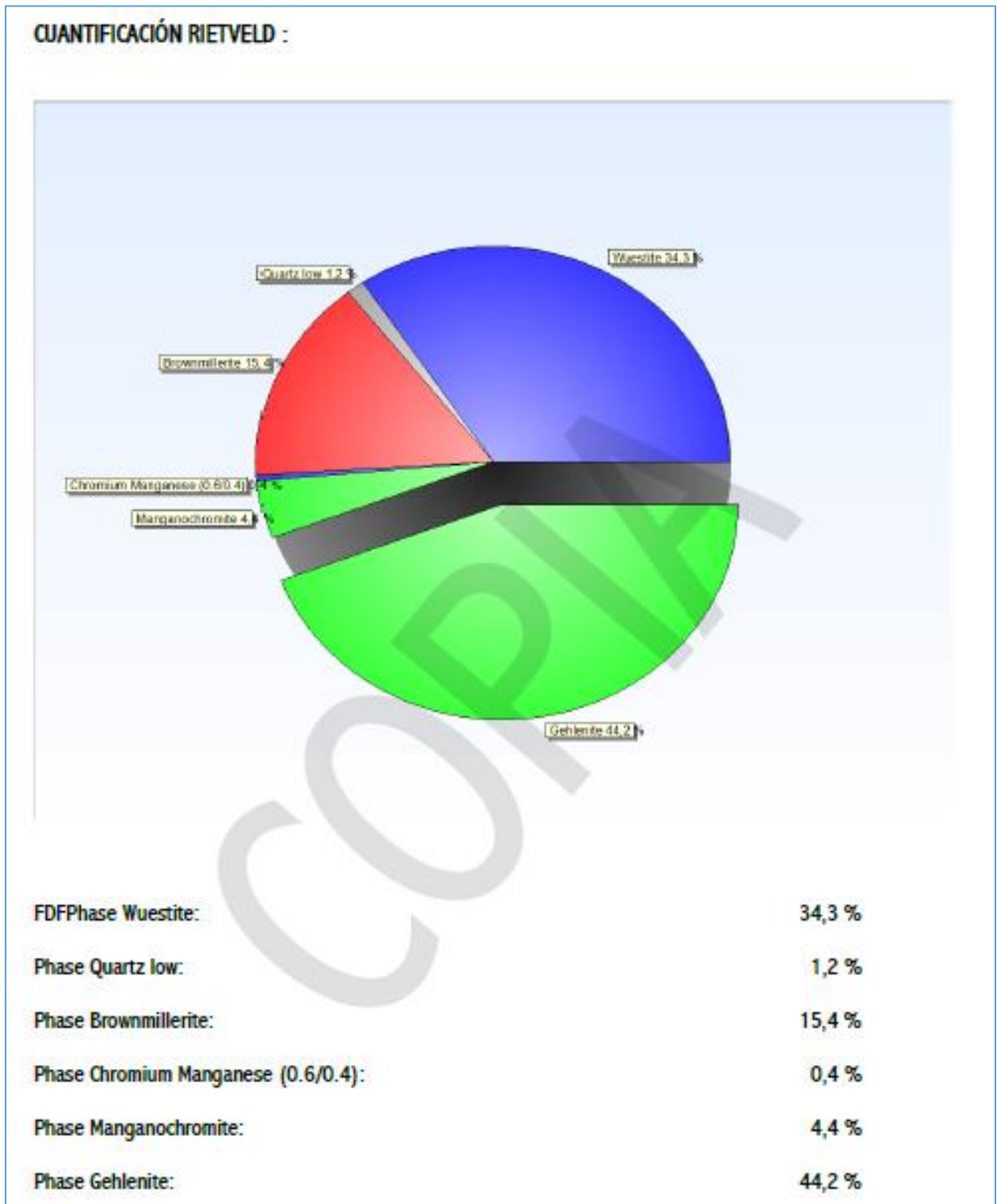
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 20. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería.



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 21. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería.



## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 22. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería.

### LISTA DE PICOS:

Pos. [°2 $\theta$ .]	Height [cts]	FWHM Left [°2 $\theta$ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13,9271	564(294)	0,1414	7,37808	6,93
13,9577	281(145)	0,1414	7,37802	3,45
18,8033	297(302)	0,2551	5,47585	3,65
18,8447	148(143)	0,2554	5,47582	1,81
19,7416	180(139)	0,1414	5,21799	2,22
19,7851	90(73)	0,1414	5,21796	1,10
20,3425	170(194)	0,2628	5,06541	2,09
20,3873	85(102)	0,2630	5,06538	1,04
21,1762	257(218)	0,1581	4,86814	3,16
21,2229	128(146)	0,1581	4,86811	1,57
24,2165	74(41)	0,1000	4,26443	0,91
24,2165	74(41)	0,1000	4,26443	0,91
24,2701	37(16)	0,1000	4,26441	0,45
24,2701	37(16)	0,1000	4,26441	0,45
24,3758	110(293)	0,2828	4,23698	1,36
24,4298	55(154)	0,2831	4,23696	0,67
26,5000	387(170)	0,1414	3,90272	4,75
26,5588	192(75)	0,1414	3,90270	2,37
26,7370	56(146)	0,2946	3,86875	0,68
26,7963	28(72)	0,2949	3,86873	0,34
27,4339	96(65)	0,1414	3,77228	1,17
27,4949	48(27)	0,1414	3,77227	0,58
27,8622	749(207)	0,3002	3,71542	9,20
27,9241	372(100)	0,3005	3,71540	4,58
28,1021	421(53)	0,1414	3,68433	5,17
28,1205	270(36)	0,1414	3,68196	3,32
28,1646	209(37)	0,1414	3,68432	2,57
28,1831	135(28)	0,1414	3,68195	1,65
29,9693	118(226)	0,3108	3,45956	1,45
30,0362	58(112)	0,3111	3,45954	0,72
30,0756	13(9)	0,1414	3,44762	0,16
30,1426	6(7)	0,1414	3,44760	0,08
30,9819	370(67)	0,1000	3,34913	4,55
30,9819	568(103)	0,1000	3,34913	6,98
31,0510	184(55)	0,1000	3,34912	2,26
31,0510	282(84)	0,1000	3,34912	3,47
33,8511	847(264)	0,3304	3,07254	10,41
33,9270	421(116)	0,3308	3,07253	5,17
34,0659	311(39)	0,1414	3,05374	3,82
34,1423	154(33)	0,1414	3,05373	1,90
34,9584	568(131)	0,1581	2,97811	6,99
35,0370	283(78)	0,1581	2,97810	3,48
36,5162	3840(288)	0,3440	2,85512	47,20

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 23. Resultado del análisis cualitativo semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos X por longitud de onda o energía dispersiva, en la escoria de acería.

36,5986	1908(142)	0,3445	2,85511	23,46
37,4550	1366(114)	0,1414	2,78603	16,79
37,5396	679(74)	0,1414	2,78602	8,35
38,1962	203(72)	0,3527	2,73393	2,50
38,2439	1704(129)	0,1414	2,73065	20,95
38,2826	101(30)	0,3531	2,73392	1,24
38,3304	848(83)	0,1414	2,73064	10,42

Revisó y Aprobó Ing. Jairo Torres .  
Gerente de laboratorio Alpha1

**Notas:**

1. ALPHA 1 S.A. se reserva el derecho de confirmar la autenticidad de este Reporte de Análisis bajo la Política de confidencialidad y derechos de propiedad de sus clientes
2. Los resultados analíticos presentes corresponden EXCLUSIVAMENTE a la muestra recibida y no a otro material de la misma procedencia.
3. Este reporte es único para esta muestra. Cada copia de los resultados en papel tendrá un costo del 15% de los análisis.
4. Se prohíbe la reproducción parcial del presente Reporte, sin la aprobación escrita del laboratorio.
5. Cualquier reclamación sobre los resultados se puede realizar durante los próximos 3 meses posteriores a la entrega de este informe.
6. La disposición de contramuestras y sobrantes se realiza de acuerdo con lo aprobado por el cliente en la solicitud.

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 24. Resultado del ensayo de Fluorescencia de Rayos X en la escoria de acería.

<b>Identificación :</b> MUESTRA CALI <b>Tipo de muestra:</b> DESCONOCIDO <b>Procedencia :</b> DESCONOCIDO  <b>Ciente:</b> EMPRESE DE PROYECTOS TECNICOS GENERALES EPTG S/ A <b>Contacto:</b> - <b>Dirección:</b> CARRERA 18 A BIS #58-75 SUR <b>Ciudad:</b> WILSON PEREZ <b>Teléfonos:</b> BOGOTA <b>Método de análisis:</b> PRT-GT-01 WDXRF-OMNIAN PASTILLA	<b>Consecutivo muestra:</b> <b>IPN 24679</b> <b>Responsable del muestreo:</b> CLIENTE <b>Plan/Procedimiento muestreo:</b> NO PRESENTA <b>Fecha Ingreso:</b> 27/07/2020 <b>Fecha Análisis:</b> 31/07/2020 <b>Fecha Informe:</b> 31/07/2020  <b>Solicitud Análisis:</b> <b>SA7284</b> <b>Consecutivo Informe:</b> <b>24679-RE XRF</b> <b>Aplicación:</b> 1,11 AQ 2020
---	--


FT-GT-35 Versión 3 Página 1 de 1

VER OBSERVACIONES		
Nombre	Elemento	Composición (%)
Sodio	Na <sub>2</sub> O	0,6
Magnesio	MgO	0,5
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,7
Silicio	SiO <sub>2</sub>	59,3
Fosforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2
Azufre	SO <sub>3</sub>	0,2
Potasio	K <sub>2</sub> O	2,0
Calcio	CaO	0,2
Titanio	TiO <sub>2</sub>	0,7
Manganeso	MnO	0,1
Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,3
Loss of Ignition	LOI	6,2

<p><b>Observaciones.</b></p> <p>N.D. : NO detectable LOI : (LOSS OF IGNITION) Pérdida por ignición a 1000°C durante una hora</p> <p>El análisis corresponde a un programa semicuantitativo. El resultado se reporta en base seca a 105° C.</p> <p>Esta técnica de análisis no descarta presencia de elementos NO reportados en concentraciones menores a 100 ppm.</p> <p>Para la validez o la aplicación de resultados con fines comerciales, el laboratorio libera su responsabilidad por la representatividad trazabilidad de la muestra y las remite al Plan y los procedimientos de muestreo referenciados.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr><td>Humedad de la muestra</td><td style="text-align: center;">0,37</td><td style="text-align: center;">%</td></tr> <tr><td>Dosis Radiación Beta/Gamma</td><td style="text-align: center;">NO APLICA</td><td style="text-align: center;">µSv/h</td></tr> <tr><td>Cantidad de muestra recibida</td><td style="text-align: center;">715gr</td><td style="text-align: center;">gramos</td></tr> <tr><td>Carácter magnético</td><td colspan="2" style="text-align: center;">NO PRESENTA</td></tr> </table> <p style="font-size: x-small; margin-top: 5px;">Notas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ALPHA 1 S.A. se reserva el derecho de confirmar la autenticidad de este Reporte de Análisis bajo la Política de confidencialidad y derechos de propiedad de sus clientes</li> <li>2. Los resultados analíticos presentes corresponden EXCLUSIVAMENTE a la muestra recibida y no a otro material de la misma procedencia.</li> <li>3. Este reporte es único para esta muestra. Cada copia de los resultados en papel tendrá un costo del 15% de los análisis.</li> <li>4. Se prohíbe la reproducción parcial del presente Reporte, sin la aprobación escrita del laboratorio.</li> <li>5. Cualquier reclamación sobre los resultados se puede realizar durante los próximos 3 meses posteriores a la entrega de este informe.</li> <li>6. La disposición de contramuestras y sobrantes se realiza de acuerdo con lo aprobado por el cliente en la solicitud.</li> </ol>	Humedad de la muestra	0,37	%	Dosis Radiación Beta/Gamma	NO APLICA	µSv/h	Cantidad de muestra recibida	715gr	gramos	Carácter magnético	NO PRESENTA		<p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Revisó y aprobó Ing. Miguel Torres Ingeniero de materiales</p> <hr style="border: 1px solid black;"/> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">Elaboró Juan Sebastian Betancourt Analista</p>
Humedad de la muestra	0,37	%											
Dosis Radiación Beta/Gamma	NO APLICA	µSv/h											
Cantidad de muestra recibida	715gr	gramos											
Carácter magnético	NO PRESENTA												

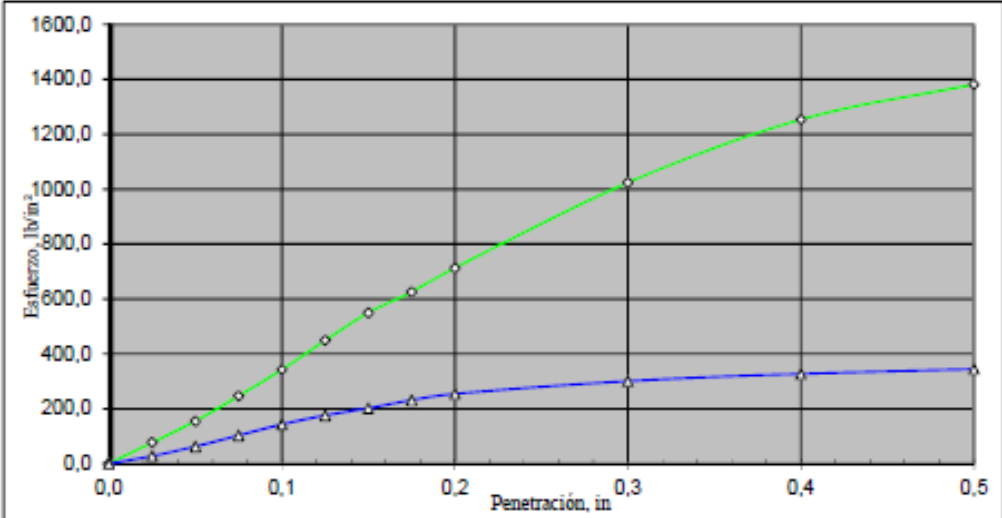
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 25. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Perforación AP-2, muestra M-1.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>	PAGINA 1 DE 1
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>		
<b>PROYECTO</b>	<b>FLORES EL FUTURO</b>	
	Nemocón, Cundinamarca.	
Perforación, No	AP - 2	Muestra, No
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:
Máquina	PS-25	Realizado por:
Certificado No.	F- 0590	Luis Carlos Mendoza P.

**RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR**

Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,004	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	1,034	77,5	0,375	28,1
0,050	2,065	154,7	0,840	62,9
0,075	3,296	247,0	1,377	103,2
0,100	4,575	342,8	1,915	143,5
0,125	5,995	449,2	2,350	176,1
0,150	7,336	549,7	2,700	202,3
0,175	8,350	625,7	3,091	231,6
0,200	9,515	713,0	3,398	254,6
0,300	13,660	1023,6	4,020	301,2
0,400	16,730	1253,7	4,365	327,1
0,500	18,440	1381,8	4,598	344,6
CBR Corregido 0.1*	34,3		14,4	
CBR Corregido 0.2*	47,5		17,0	
Humedad de Penetración, %	6,02		13,26	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2,48			
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2,34			




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

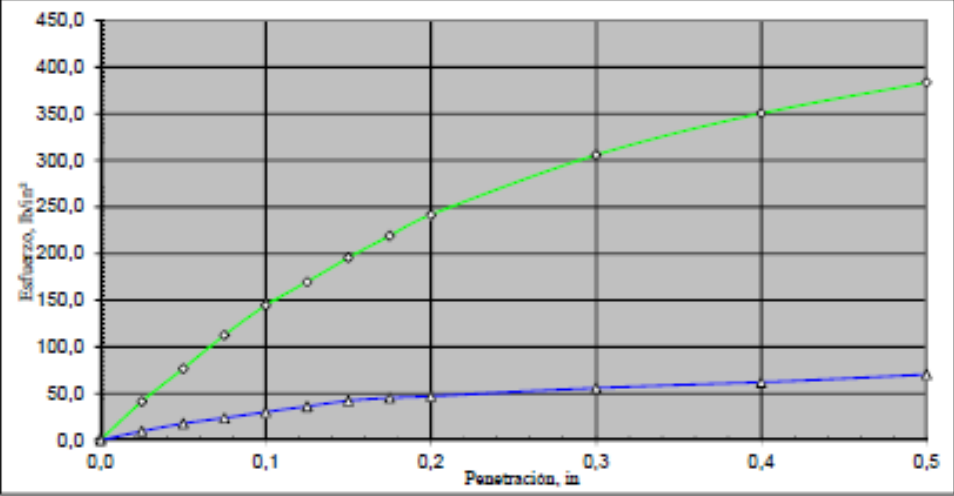
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 26. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-2.

	LABORATORIO DE MATERIALES	PAGINA 1 DE 1
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>		
<b>PROYECTO</b>	FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 1 - CON ADICIÓN DE ESCORIA Nemocón, Cundinamarca.	
Perforación, No	---	Muestra, No
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:
Máquina	PS-25	Realizado por:
Certificado No.	F- 0590	Luis Carlos Mendoza P.
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>		
Molde No.	1	
Condición de la muestra	NATURAL	SATURADA
Días de inmersión	-----	
Expansión, in	-----	
	0,005	
Penetración, in	Fuera de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
	Fuera de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0
0,025	0,551	41,3
0,050	1,020	76,4
0,075	1,501	112,5
0,100	1,927	144,4
0,125	2,264	169,7
0,150	2,610	195,6
0,175	2,922	219,0
0,200	3,225	241,7
0,300	4,081	305,8
0,400	4,675	350,3
0,500	5,118	383,5
CBR Corregido 0.1"	14,4	
CBR Corregido 0.2"	16,1	
Humedad de Penetración, %	11,19	
	14,03	
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2,36	
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2,12	




Penetration (in)	Natural Effort (lb/in <sup>2</sup> )	Saturated Effort (lb/in <sup>2</sup> )
0,000	0,0	0,0
0,025	41,3	~10
0,050	76,4	~20
0,075	112,5	~30
0,100	144,4	~40
0,125	169,7	~50
0,150	195,6	~60
0,175	219,0	~70
0,200	241,7	~80
0,300	305,8	~100
0,400	350,3	~120
0,500	383,5	~140

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

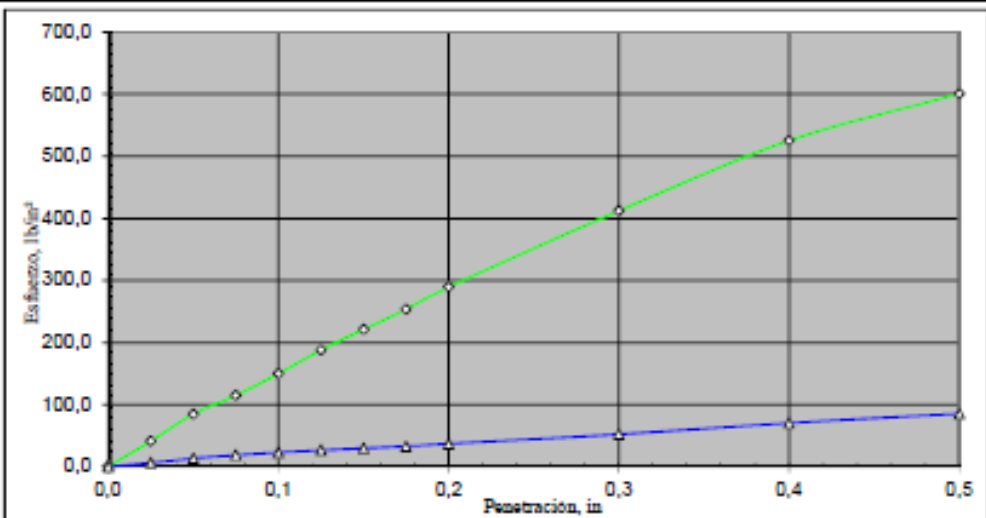
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 27. Resultado del CBR del terreno natural con escoria de acería en el tramo de prueba 1. Muestra M-3.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>				
<b>PROYECTO FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 1 - CON ADICIÓN DE ESCORIA</b>				
Nemocón, Cundinamarca.				
Perforación, No	---	Muestra, No	M - 3	
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:	19/10/2020	
Máquina	PS-25	Realizado por:	Luis Carlos Mendoza P.	
Certificado No.	F- 0590			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,005	
Penetración, in	Fuera de Penetración	Esfuerzo	Fuera de Penetración	Esfuerzo
	kN	lb/in <sup>2</sup>	kN	lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,548	41,1	0,080	6,0
0,050	1,126	84,4	0,178	13,3
0,075	1,531	114,7	0,245	18,4
0,100	1,998	149,7	0,300	22,5
0,125	2,507	187,9	0,352	26,4
0,150	2,949	221,0	0,398	29,8
0,175	3,384	253,6	0,435	32,6
0,200	3,860	289,3	0,492	36,9
0,300	5,499	412,1	0,694	52,0
0,400	7,007	525,1	0,937	70,2
0,500	8,015	600,6	1,139	85,4
CBR Corregido 0.1"	15,0		2,2	
CBR Corregido 0.2"	19,3		2,5	
Humedad de Penetración, %	11,08		13,23	
Densidad húmeda, gr /cm <sup>3</sup>	2,39			
Densidad seca, gr / cm <sup>3</sup>	2,15			




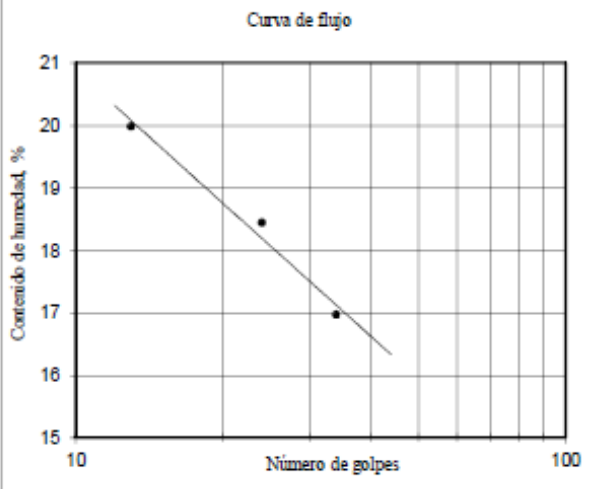
Penetration (in)	Natural Effort (lb/in²)	Saturated Effort (lb/in²)
0.0	0.0	0.0
0.025	41.1	6.0
0.050	84.4	13.3
0.075	114.7	18.4
0.100	149.7	22.5
0.125	187.9	26.4
0.150	221.0	29.8
0.175	253.6	32.6
0.200	289.3	36.9
0.300	412.1	52.0
0.400	525.1	70.2
0.500	600.6	85.4

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

REVISO: \_\_\_\_\_


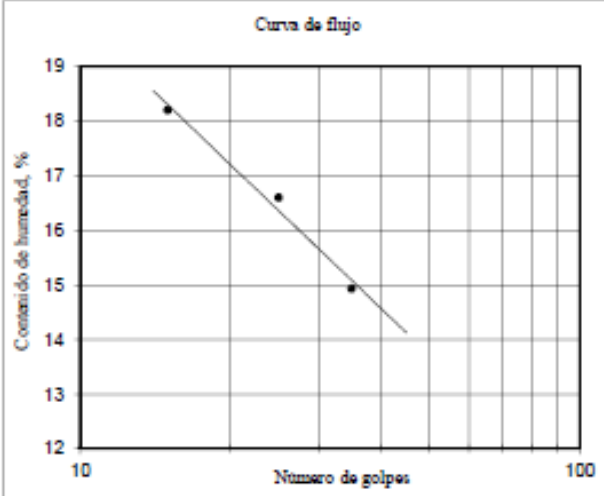
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 28. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo No. AP-1, muestra M-1.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1	
<hr/>			
<b>PROYECTO</b>	<b>FLORES EL FUTURO</b>		
	Nemocón, Cundinamarca.		
<b>SONDEO No.</b>	AP - 1		
<b>MUESTRA No.</b>	M - 1		
<b>PROFUNDIDAD, m</b>	0,00 - 0,20		
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>	Granular de escoria, gris, combinado con material arenoso, algo de arcilla, habano.		
	<b>FECHA</b>	18-jul-20	
	<b>REALIZADO</b>	Luis Carlos Mendoza.	
<hr/>			
<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
ENSAYO No.	1	2	3
N	34	24	13
P <sub>1</sub> , gr	58,92	52,61	44,84
P <sub>2</sub> , gr	53,12	46,87	40,01
P <sub>3</sub> , gr	18,94	15,74	15,84
Humedad, %	17,0	18,4	20,0
<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>			
ENSAYO No.	1	2	w <sub>p</sub>
P <sub>1</sub> , gr	16,59	16,35	296,90
P <sub>2</sub> , gr	15,45	15,25	282,00
P <sub>3</sub> , gr	7,94	7,97	34,50
Humedad, %	15,2	15,1	6,0
<div style="text-align: center;">                     Curva de flujo                 </div> 			
<b>GRADACION</b>			
P <sub>1</sub> , gr =	3485,0		
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
2"			100,00
1 1/2"	79,5	2,28	97,72
1"	474,7	13,62	84,10
3/4"	348,5	10,00	74,10
1/2"	524,1	15,04	59,06
3/8"	254,8	7,31	51,75
4	521,4	14,96	36,79
10	233,5	6,70	30,09
20	101,1	2,90	27,19
40	70,4	2,02	25,16
60	71,1	2,04	23,12
100	249,5	7,16	15,97
200	154,0	4,42	11,55
Fondo	402,4	11,55	
Σ	3485,0	100	
<b>RESULTADOS</b>			
Límite líquido, %	18,1		
Límite plástico, %	15,1		
Índice de plasticidad, %	2,9		
<b>CLASIFICACION</b>			
USC	GP-GC		
AASHTO	A-1-a (0)		
<b>OBSERVACIONES</b>			
%G = 63,21    %S = 25,24    %F = 11,55			
D10 = .05mm    D30 = .39mm    D60 = .9mm    Cu = 18,77    Cz = 3,5			
<hr/>			
REVISO: .....			

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 29. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Muestra M-2/3.

	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1	
<b>PROYECTO</b> <u>FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 1 - CON ADICIÓN DE ESCORIA.</u>			
<u>Nemocón, Cundinamarca.</u>			
<b>SONDEO No.</b> _____ <b>MUESTRA No.</b> _____ <b>PROFUNDIDAD, m</b> _____ <b>DESCRIPCION VISUAL:</b> _____	M - 2 / 3	<b>FECHA</b> _____ <b>REALIZADO</b> _____	
		19-oct-20 Luis Carlos Mendoza.	
<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
ENSAYO No.	1	2	3
N	35	25	15
P <sub>1</sub> , gr	56,34	61,72	56,37
P <sub>2</sub> , gr	51,59	56,44	49,56
P <sub>3</sub> , gr	19,78	24,63	12,15
Humedad, %	14,9	16,6	18,2
<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>			
ENSAYO No.	1	2	w <sub>n</sub>
P <sub>1</sub> , gr	15,84	17,60	65,63
P <sub>2</sub> , gr	15,06	16,66	60,76
P <sub>3</sub> , gr	7,95	7,99	17,25
Humedad, %	11,0	10,8	11,2
<b>Curva de flujo</b>			
			
<b>GRADACION</b>			P <sub>1</sub> , gr = 536,0
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
2"			
1 1/2"			100,00
1"	61,7	11,51	88,49
3/4"	83,7	15,62	72,87
1/2"	49,2	9,18	63,69
3/8"	91,1	17,00	46,70
4	76,6	14,29	32,41
10	46,3	8,64	23,77
20	15,9	2,97	20,80
40	10,9	2,03	18,77
60	10,7	2,00	16,77
100	35,9	6,70	10,07
200	14,4	2,69	7,39
Fondo	39,6	7,39	0,00
Σ	536,0	100	
<b>RESULTADOS</b>			
Límite líquido, %		16,4	
Límite plástico, %		10,9	
Índice de plasticidad, %		5,5	
<b>CLASIFICACION</b>			
USC		GW-GC	
AASHTO		A-1-a (0)	
<b>OBSERVACIONES</b>			
%G = 67.59    %S = 25.02    %F = 7.39			
D10= .15mm    D30= .71mm    D60= 1.54mm    Cu= 10.5    C <sub>u</sub> = 2.19			
REVISO: _____			

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 30. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

PROYECTO: FINCA FUTURO		FECHA DE ENSAYO: 29/07/2020												
LOCALIZACIÓN: NEMOCÓM CUNDINAMARCA		ORDEN DE TRABAJO No. 137												
<p><b>STALO GROUP S.A.S.</b>                      NE: 901.004.237 - 7                      Veeda Porosib, Parcela 45, Pueta 3.                      Teléfono: (57 1) 875 90 38 - stalogroup@gmail.com                      Cota, Cundinamarca</p>														
<p><b>STALO</b>                      Group S.A.S.</p>														
<p><b>ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO NO DRENADO 'CU'</b>                      MIDIENDO PRESIÓN DE POROS INV E-153-13                      Referencia: PYL 3512</p>														
SONDEO: 1		MUESTRA: 1												
PROFUNDIDAD: 0,8 m		PROFUNDIDAD: 0,8 m												
Presión de cámara	kg/cm <sup>2</sup>	4.53	483.21											
Presión de Poros Inicial	kg/cm <sup>2</sup>	0.48	46.64											
Esfuerzo Efectivo Consolidación	kg/cm <sup>2</sup>	4.45	436.57											
		Diámetro	3.60 (cm)											
		Altura	7.14 (cm)											
		Área/Ac	10.20 (cm <sup>2</sup> )											
		Volumen	72.83 (cm <sup>3</sup> )											
<p><b>PRIMER PUNTO</b></p>														
Timepo minutos	Deformación mm	Presión de poros kg/cm <sup>2</sup>	Deformación %	Carga kgf	Presión de poros kg/cm <sup>2</sup>	Incremento Presión de poros kg/cm <sup>2</sup>	Área corrigida cm <sup>2</sup>	Esfuerzo desviador kg/cm <sup>2</sup>	Corrección por membrana y papel filtro	p' kg/cm <sup>2</sup>	q kg/cm <sup>2</sup>	s kg/cm <sup>2</sup>	t kg/cm <sup>2</sup>	s' kg/cm <sup>2</sup>
0	0.00	77.29	0.00	0.0	0.773	0.000	90.20	0.00	1.30	1.30	0.00	1.30	0.000	1.30
7.5	0.10	81.06	0.14	7.7	0.811	0.038	90.21	0.75	1.91	1.91	0.75	1.91	0.276	1.64
15	0.48	83.70	0.68	15.4	0.837	0.064	90.27	1.40	1.73	1.73	1.40	2.04	0.744	1.98
22.5	0.87	86.84	1.22	23.4	0.868	0.106	90.33	2.24	2.06	1.92	2.24	2.42	1.122	2.30
30	1.25	91.24	1.75	29.2	0.962	0.190	90.38	2.78	2.23	2.04	2.78	2.69	1.391	2.50
37.5	1.62	92.95	2.27	31.6	1.022	0.249	90.44	2.99	2.30	2.06	2.99	2.79	1.494	2.64
45	1.99	95.37	2.79	33.3	1.054	0.281	90.46	3.12	2.34	2.06	3.12	2.86	1.582	2.58
52.5	2.37	97.82	3.32	34.6	1.079	0.306	90.55	3.22	2.07	2.07	3.22	2.91	1.670	2.60
60	2.74	110.06	3.84	35.9	1.107	0.334	90.61	3.32	2.41	2.07	3.32	2.96	1.696	2.62
67.5	3.15	113.30	4.41	37.0	1.133	0.360	90.67	3.39	2.43	2.07	3.39	2.99	1.695	2.63
75	3.53	115.42	4.95	37.9	1.154	0.381	90.73	3.44	2.45	2.07	3.44	3.02	1.722	2.64
82.5	3.92	117.47	5.50	38.7	1.175	0.402	90.79	3.46	2.46	2.06	3.46	3.04	1.744	2.64
90	4.32	119.29	6.05	39.5	1.193	0.420	90.86	3.53	2.48	2.06	3.53	3.07	1.765	2.65
97.5	4.71	119.79	6.59	40.2	1.198	0.425	90.92	3.56	2.49	2.06	3.56	3.08	1.782	2.66
105	5.10	121.53	7.14	40.7	1.215	0.442	90.96	3.59	2.49	2.05	3.59	3.09	1.786	2.65
112.5	5.49	121.93	7.68	41.2	1.219	0.446	11.06	3.60	2.00	2.05	3.60	3.10	1.796	2.65
120	5.87	123.73	8.23	41.8	1.237	0.464	11.11	3.62	2.51	2.04	3.62	3.11	1.808	2.64
127.5	6.26	122.78	8.77	42.1	1.228	0.455	11.18	3.61	2.00	2.05	3.61	3.11	1.805	2.65
135	6.64	123.85	9.29	42.5	1.236	0.461	11.25	3.61	2.50	2.04	3.61	3.11	1.807	2.64
142.5	7.02	124.40	9.83	43.0	1.244	0.471	11.31	3.63	2.51	2.04	3.63	3.11	1.814	2.64
150	7.38	125.30	10.34	43.1	1.253	0.480	11.38	3.61	2.50	2.02	3.61	3.10	1.803	2.62
157.5	7.78	124.67	10.89	43.2	1.247	0.474	11.45	3.59	2.49	2.02	3.59	3.09	1.791	2.62
165	8.17	124.86	11.45	43.3	1.248	0.476	11.52	3.60	2.49	2.01	3.60	3.08	1.778	2.60
172.5	8.56	126.07	11.99	43.1	1.261	0.488	11.59	3.61	2.47	1.98	3.61	3.05	1.783	2.57
180	8.96	124.90	12.55	42.8	1.245	0.472	11.66	3.45	1.99	1.99	3.45	3.02	1.724	2.55
187.5	9.35	125.45	13.09	42.6	1.254	0.482	11.74	3.40	1.95	1.95	3.40	3.00	1.699	2.52
195	9.75	126.44	13.65	42.4	1.264	0.492	11.81	3.35	1.92	1.92	3.35	2.97	1.674	2.48
202.5	10.15	125.80	14.22	42.2	1.268	0.485	11.88	3.30	1.91	1.91	3.30	2.95	1.649	2.45
210	10.53	126.37	14.75	42.0	1.264	0.481	11.95	3.25	1.89	1.89	3.25	2.92	1.625	2.43
217.5	10.92	125.05	15.30	41.8	1.290	0.478	12.04	3.20	1.88	1.88	3.20	2.90	1.600	2.42
225	11.32	126.44	15.86	41.6	1.264	0.482	12.12	3.17	1.86	1.86	3.17	2.88	1.583	2.39
232.5	11.72	125.67	16.42	41.6	1.257	0.484	12.20	3.12	1.86	1.86	3.12	2.86	1.559	2.38



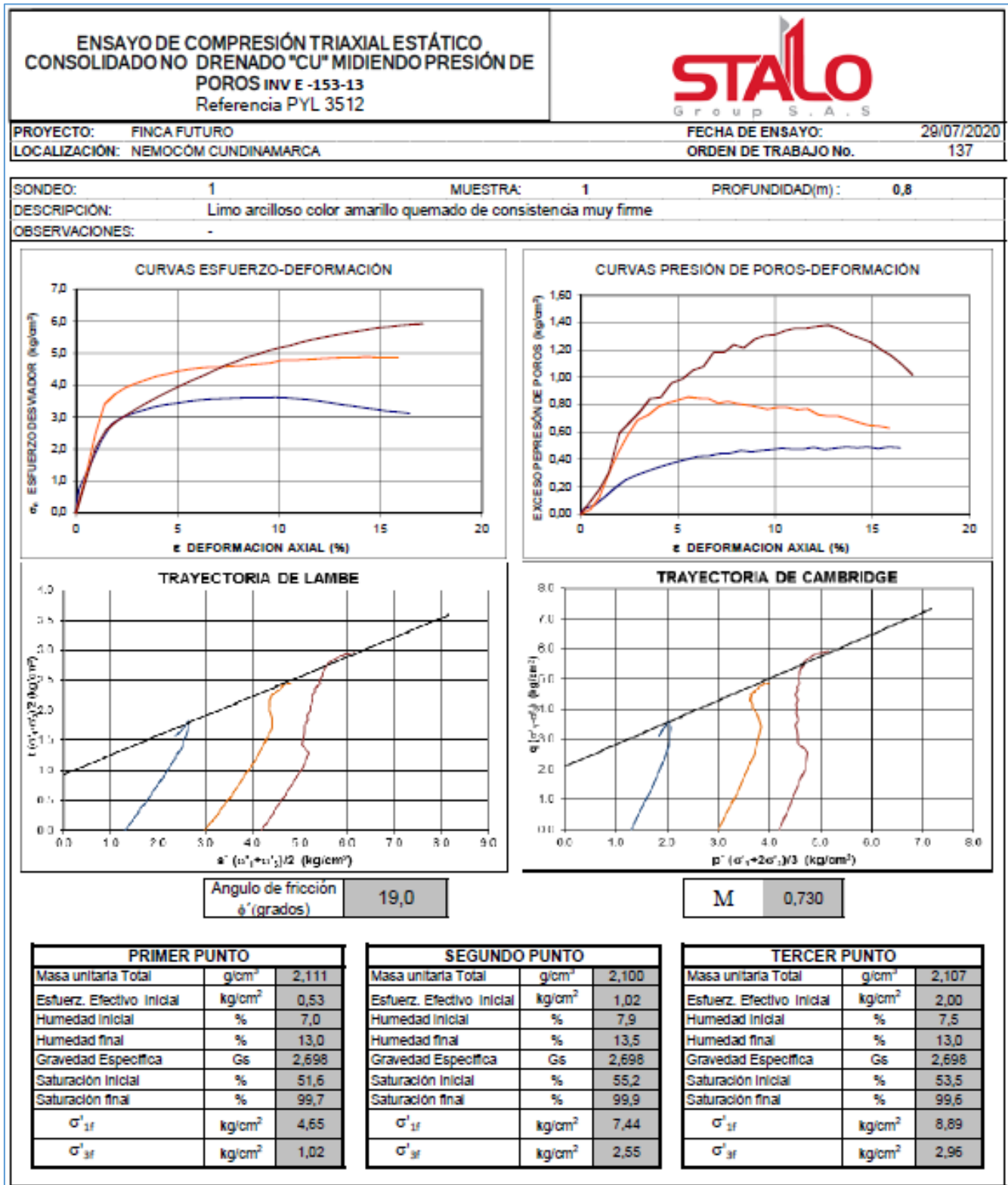
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 32. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

STALO GROUP S.A.S. NIT: 901.094.237 - 7 Veeda Porosés, Parcela 45, Pueta 3, Teléfono: (57-1) 675 90 38 - stalogroup@gmail.com Cota, Cundinamarca.		FECHA DE ENSAYO: 29/07/2020 ORDEN DE TRABAJO No 137	
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO NO DRENADO "CU"</b> <b>MIDIENDO PRESIÓN DE POROS INVE-153-13</b> Referencia PYL 3512		PROFUNDIDAD: 0.8 m	
		MUESTRA: 1	
Presión de cámara Presión de Poros Inicial Esfuerzo Efectivo Consolidación	kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	4.20 2.20 2.00	411.68 kN/m <sup>2</sup> 215.74 kN/m <sup>2</sup> 196.14 kN/m <sup>2</sup>
Esfuerzo total mayor en falla Δ Presión de Poros en Falla Esfuerzo Efectivo Mayor en Falla		kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup> kg/cm <sup>2</sup>	993.24 kN/m <sup>2</sup> 99.68 kN/m <sup>2</sup> 893.56 kN/m <sup>2</sup>
Diámetro Altura Área(Ac) Volumen		(cm) (cm) (cm <sup>2</sup> ) (cm <sup>3</sup> )	3.62 7.13 10.36 73.96
<b>TERCER PUNTO</b>			
Tiempo minutos Deformación mm Presión de poros kN/m <sup>2</sup> Deformación % Carga Kgf Presión de poros kg/cm <sup>2</sup> Inclinación Frecuencia de poros kg/cm <sup>2</sup> Área corregida cm <sup>2</sup> Esfuerzo desviador kg/cm <sup>2</sup> P kg/cm <sup>2</sup> p' kg/cm <sup>2</sup> q kg/cm <sup>2</sup> s kg/cm <sup>2</sup> a kg/cm <sup>2</sup> t kg/cm <sup>2</sup> s' kg/cm <sup>2</sup>	0 7.5 15 22.5 30 37.5 45 52.5 60 67.5 75 82.5 90 97.5 105 112.5 120 127.5 135 142.5 150 157.5 165 172.5 180 187.5 195 202.5 210 217.5 225 232.5	0.00 0.68 1.03 1.41 1.80 2.17 2.65 2.94 3.32 4.11 4.11 4.49 4.87 5.25 5.61 5.98 6.38 6.76 7.14 7.52 7.88 8.28 8.69 9.09 9.47 9.86 10.25 10.63 11.01 11.39 11.78 12.17	0.00 2.279 2.603 2.933 3.333 3.75 4.20 4.67 5.15 5.64 6.15 6.66 7.17 7.67 8.16 8.66 9.15 9.64 10.13 10.62 11.11 11.60 12.09 12.58 13.07 13.56 14.05 14.54 15.03 15.52 16.01 16.50 16.99 17.48 17.97 18.46 18.95 19.44 19.93 20.42 20.91 21.40 21.89 22.38 22.87 23.36 23.85 24.34 24.83 25.32 25.81 26.30 26.79 27.28 27.77 28.26 28.75 29.24 29.73 30.22 30.71 31.20 31.69 32.18 32.67 33.16 33.65 34.14 34.63 35.12 35.61 36.10 36.59 37.08 37.57 38.06 38.55 39.04 39.53 40.02 40.51 41.00 41.49 41.98 42.47 42.96 43.45 43.94 44.43 44.92 45.41 45.90 46.39 46.88 47.37 47.86 48.35 48.84 49.33 49.82 50.31 50.80 51.29 51.78 52.27 52.76 53.25 53.74 54.23 54.72 55.21 55.70 56.19 56.68 57.17 57.66 58.15 58.64 59.13 59.62 60.11 60.60 61.09 61.58 62.07 62.56 63.05 63.54 64.03 64.52 65.01 65.50 65.99 66.48 66.97 67.46 67.95 68.44 68.93 69.42 69.91 70.40 70.89 71.38 71.87 72.36 72.85 73.34 73.83 74.32 74.81 75.30 75.79 76.28 76.77 77.26 77.75 78.24 78.73 79.22 79.71 80.20 80.69 81.18 81.67 82.16 82.65 83.14 83.63 84.12 84.61 85.10 85.59 86.08 86.57 87.06 87.55 88.04 88.53 89.02 89.51 90.00 90.49 90.98 91.47 91.96 92.45 92.94 93.43 93.92 94.41 94.90 95.39 95.88 96.37 96.86 97.35 97.84 98.33 98.82 99.31 99.80 100.29 100.78 101.27 101.76 102.25 102.74 103.23 103.72 104.21 104.70 105.19 105.68 106.17 106.66 107.15 107.64 108.13 108.62 109.11 109.60 110.09 110.58 111.07 111.56 112.05 112.54 113.03 113.52 114.01 114.50 114.99 115.48 115.97 116.46 116.95 117.44 117.93 118.42 118.91 119.40 119.89 120.38 120.87 121.36 121.85 122.34 122.83 123.32 123.81 124.30 124.79 125.28 125.77 126.26 126.75 127.24 127.73 128.22 128.71 129.20 129.69 130.18 130.67 131.16 131.65 132.14 132.63 133.12 133.61 134.10 134.59 135.08 135.57 136.06 136.55 137.04 137.53 138.02 138.51 139.00 139.49 139.98 140.47 140.96 141.45 141.94 142.43 142.92 143.41 143.90 144.39 144.88 145.37 145.86 146.35 146.84 147.33 147.82 148.31 148.80 149.29 149.78 150.27 150.76 151.25 151.74 152.23 152.72 153.21 153.70 154.19 154.68 155.17 155.66 156.15 156.64 157.13 157.62 158.11 158.60 159.09 159.58 160.07 160.56 161.05 161.54 162.03 162.52 163.01 163.50 163.99 164.48 164.97 165.46 165.95 166.44 166.93 167.42 167.91 168.40 168.89 169.38 169.87 170.36 170.85 171.34 171.83 172.32 172.81 173.30 173.79 174.28 174.77 175.26 175.75 176.24 176.73 177.22 177.71 178.20 178.69 179.18 179.67 180.16 180.65 181.14 181.63 182.12 182.61 183.10 183.59 184.08 184.57 185.06 185.55 186.04 186.53 187.02 187.51 188.00 188.49 188.98 189.47 189.96 190.45 190.94 191.43 191.92 192.41 192.90 193.39 193.88 194.37 194.86 195.35 195.84 196.33 196.82 197.31 197.80 198.29 198.78 199.27 199.76 200.25 200.74 201.23 201.72 202.21 202.70 203.19 203.68 204.17 204.66 205.15 205.64 206.13 206.62 207.11 207.60 208.09 208.58 209.07 209.56 210.05 210.54 211.03 211.52 212.01 212.50 212.99 213.48 213.97 214.46 214.95 215.44 215.93 216.42 216.91 217.40 217.89 218.38 218.87 219.36 219.85 220.34 220.83 221.32 221.81 222.30 222.79 223.28 223.77 224.26 224.75 225.24 225.73 226.22 226.71 227.20 227.69 228.18 228.67 229.16 229.65 230.14 230.63 231.12 231.61 232.10 232.59 233.08 233.57 234.06 234.55 235.04 235.53 236.02 236.51 237.00 237.49 237.98 238.47 238.96 239.45 239.94 240.43 240.92 241.41 241.90 242.39 242.88 243.37 243.86 244.35 244.84 245.33 245.82 246.31 246.80 247.29 247.78 248.27 248.76 249.25 249.74 250.23 250.72 251.21 251.70 252.19 252.68 253.17 253.66 254.15 254.64 255.13 255.62 256.11 256.60 257.09 257.58 258.07 258.56 259.05 259.54 260.03 260.52 261.01 261.50 261.99 262.48 262.97 263.46 263.95 264.44 264.93 265.42 265.91 266.40 266.89 267.38 267.87 268.36 268.85 269.34 269.83 270.32 270.81 271.30 271.79 272.28 272.77 273.26 273.75 274.24 274.73 275.22 275.71 276.20 276.69 277.18 277.67 278.16 278.65 279.14 279.63 280.12 280.61 281.10 281.59 282.08 282.57 283.06 283.55 284.04 284.53 285.02 285.51 286.00 286.49 286.98 287.47 287.96 288.45 288.94 289.43 289.92 290.41 290.90 291.39 291.88 292.37 292.86 293.35 293.84 294.33 294.82 295.31 295.80 296.29 296.78 297.27 297.76 298.25 298.74 299.23 299.72 300.21 300.70 301.19 301.68 302.17 302.66 303.15 303.64 304.13 304.62 305.11 305.60 306.09 306.58 307.07 307.56 308.05 308.54 309.03 309.52 310.01 310.50 310.99 311.48 311.97 312.46 312.95 313.44 313.93 314.42 314.91 315.40 315.89 316.38 316.87 317.36 317.85 318.34 318.83 319.32 319.81 320.30 320.79 321.28 321.77 322.26 322.75 323.24 323.73 324.22 324.71 325.20 325.69 326.18 326.67 327.16 327.65 328.14 328.63 329.12 329.61 330.10 330.59 331.08 331.57 332.06 332.55 333.04 333.53 334.02 334.51 335.00 335.49 335.98 336.47 336.96 337.45 337.94 338.43 338.92 339.41 339.90 340.39 340.88 341.37 341.86 342.35 342.84 343.33 343.82 344.31 344.80 345.29 345.78 346.27 346.76 347.25 347.74 348.23 348.72 349.21 349.70 350.19 350.68 351.17 351.66 352.15 352.64 353.13 353.62 354.11 354.60 355.09 355.58 356.07 356.56 357.05 357.54 358.03 358.52 359.01 359.50 360.00 360.49 360.98 361.47 361.96 362.45 362.94 363.43 363.92 364.41 364.90 365.39 365.88 366.37 366.86 367.35 367.84 368.33 368.82 369.31 369.80 370.29 370.78 371.27 371.76 372.25 372.74 373.23 373.72 374.21 374.70 375.19 375.68 376.17 376.66 377.15 377.64 378.13 378.62 379.11 379.60 380.09 380.58 381.07 381.56 382.05 382.54 383.03 383.52 384.01 384.50 384.99 385.48 385.97 386.46 386.95 387.44 387.93 388.42 388.91 389.40 389.89 390.38 390.87 391.36 391.85 392.34 392.83 393.32 393.81 394.30 394.79 395.28 395.77 396.26 396.75 397.24 397.73 398.22 398.71 399.20 399.69 400.18 400.67 401.16 401.65 402.14 402.63 403.12 403.61 404.10 404.59 405.08 405.57 406.06 406.55 407.04 407.53 408.02 408.51 409.00 409.49 409.98 410.47 410.96 411.45 411.94 412.43 412.92 413.41 413.90 414.39 414.88 415.37 415.86 416.35 416.84 417.33 417.82 418.31 418.80 419.29 419.78 420.27 420.76 421.25 421.74 422.23 422.72 423.21 423.70 424.19 424.68 425.17 425.66 426.15 426.64 427.13 427.62 428.11 428.60 429.09 429.58 430.07 430.56 431.05 431.54 432.03 432.52 433.01 433.50 433.99 434.48 434.97 435.46 435.95 436.44 436.93 437.42 437.91 438.40 438.89 439.38 439.87 440.36 440.85 441.34 441.83 442.32 442.81 443.30 443.79 444.28 444.77 445.26 445.75 446.24 446.73 447.22 447.71 448.20 448.69 449.18 449.67 450.16 450.65 451.14 451.63 452.12 452.61 453.10 453.59 454.08 454.57 455.06 455.55 456.04 456.53 457.02 457.51 458.00 458.49 458.98 459.47 459.96 460.45 460.94 461.43 461.92 462.41 462.90 463.39 463.88 464.37 464.86 465.35 465.84 466.33 466.82 467.31 467.80 468.29 468.78 469.27 469.76 470.25 470.74 471.23 471.72 472.21 472.70 473.19 473.68 474.17 474.66 475.15 475.64 476.13 476.62 477.11 477.60 478.09 478.58 479.07 479.56 480.05 480.54 481.03 481.52 482.01 482.50 482.

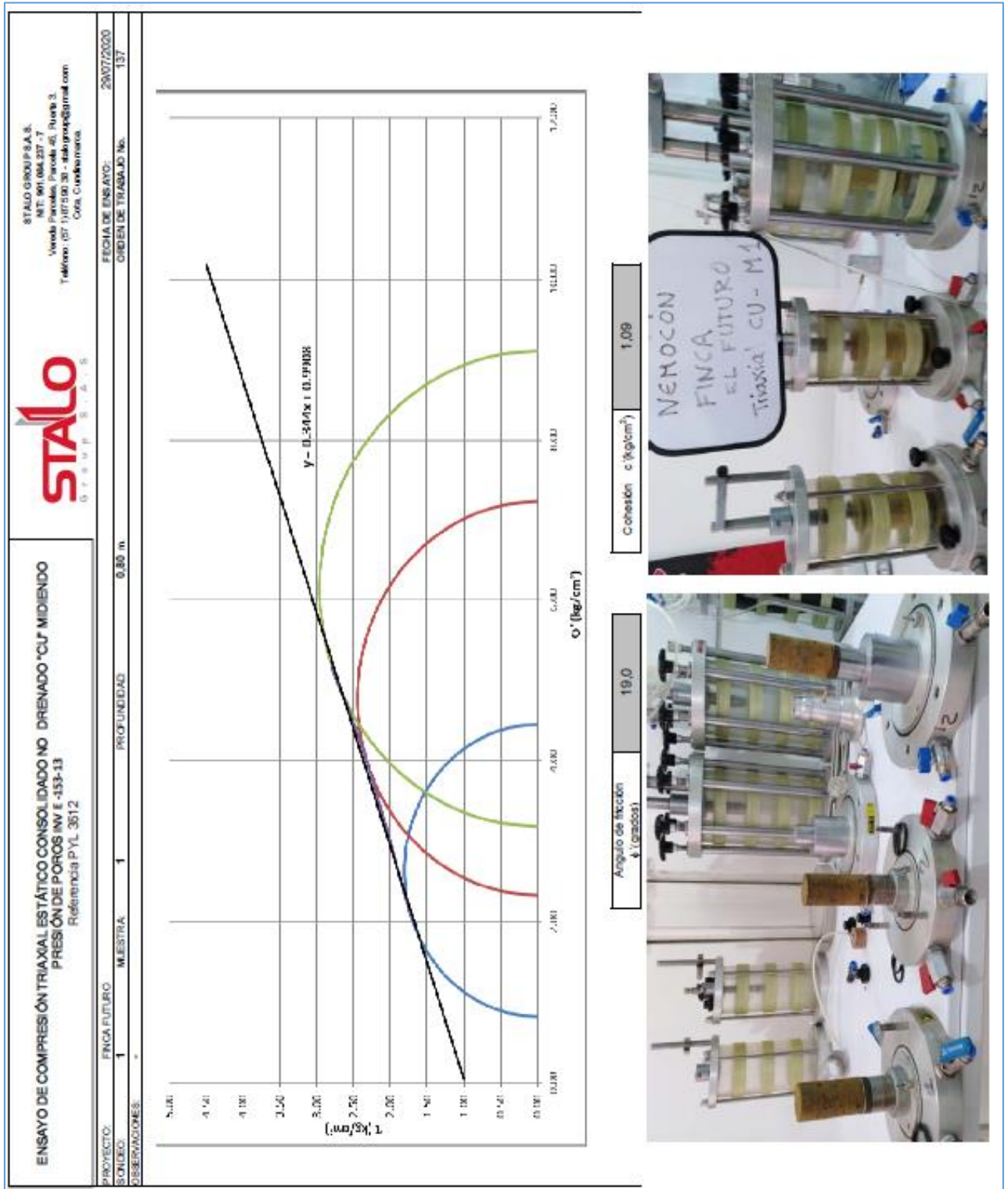
# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 33. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 34. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 35. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO NO DRENADO "CU" MIDIENDO PRESIÓN DE POROS INV E -153-13 Referencia PYL 3512				<b>STALO</b> Group S.A.S	
PROYECTO: FINCA FUTURO			FECHA DE ENSAYO: 29/07/2020		
LOCALIZACIÓN: NEMOCÓM CUNDINAMARCA			ORDEN DE TRABAJO No. 137		
SONDEO: 1		MUESTRA: 1		PROFUNDIDAD(m): 0,8	
DESCRIPCIÓN: Limo arcilloso color amarillo quemado de consistencia muy firme					
OBSERVACIONES: -					
ETAPA DE CONSOLIDACION					
<b>Tiempo</b>		<b>Volumen</b>	<b><math>\sqrt{t}</math></b>	<b>DV / V</b>	
min	s	cm <sup>3</sup>	(min)	%	
0	0	0,00	0,00	0,00	
0	4	0,097	0,26	0,13	
0	15	0,176	0,50	0,24	
0	34	0,261	0,75	0,36	
1	0	0,301	1,00	0,41	
1	34	0,356	1,25	0,49	
2	15	0,398	1,50	0,55	
3	4	0,428	1,75	0,59	
4	0	0,451	2,00	0,62	
6	15	0,494	2,50	0,68	
9	0	0,538	3,00	0,74	
12	15	0,575	3,50	0,79	
16	0	0,601	4,00	0,83	
25	0	0,653	5,00	0,90	
36	0	0,708	6,00	0,97	
49	0	0,741	7,00	1,02	
64	0	0,765	8,00	1,05	
81	0	0,787	9,00	1,08	
100	0	0,800	10,00	1,10	
121	0	0,805	11,00	1,11	
256	0	0,812	16,00	1,12	
1444	0	0,858	38,00	1,18	

PRIMER PUNTO	
Diametro (cm)	3,60
Altura (cm)	7,14
Masa Inicial (g)	153,43
Relación Altura / diametro	1,98
Area (cm <sup>2</sup> )	10,18
Volumen (cm <sup>3</sup> )	72,68
Muestra Cilíndrica	
Inalterada	x
Presión de cámara	kg/cm <sup>2</sup> 1,30
Presión de poros inicial	kg/cm <sup>2</sup> 0,77
Esfuerzo Efectivo Inicial	kg/cm <sup>2</sup> 0,53
Parámetro B al final de saturación	0,99


CONTENIDO DE HUMEDAD		
	INICIAL	FINAL
Recipiente	M5	M4H
P <sub>1</sub>	(g) 60,70	158,85
P <sub>2</sub>	(g) 57,07	141,19
P <sub>3</sub>	(g) 5,47	5,60
Humedad	(%) 7,0	13,0
Humedad tomada de la muestra completa		
Humedad tomada a partir de cortes <input checked="" type="checkbox"/>		
Cambio de altura en la saturación (cm)	0,00	
Cambio de altura en la consolidación (cm)	0,02	
Area después de consolidación (cm <sup>2</sup> )	10,20	


Masa Unitaria Total $\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,111
Gravedad Especifica G <sub>s</sub>	2,698
Método de saturación	Húmedo
Grado de saturación inicial (%)	51,8
Grado de saturación final (%)	99,7
Relación de vacíos inicial e <sub>0</sub>	0,37
Relación de vacíos final e <sub>y</sub>	0,35

Fotografía Antes de falla

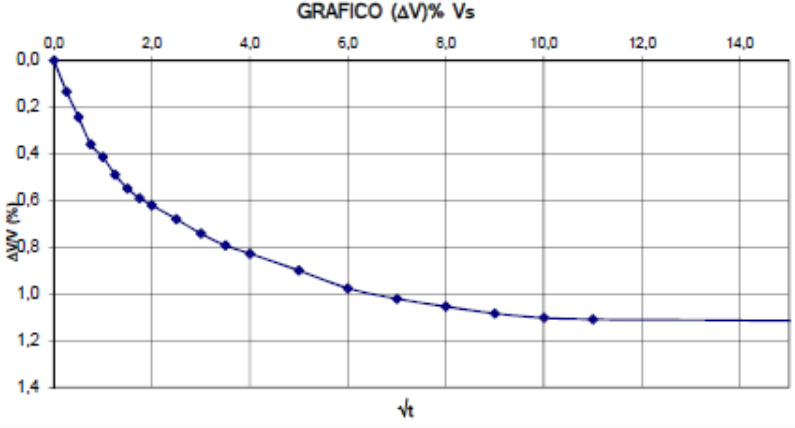


Fotografía después de falla




  

**GRAFICO ( $\Delta V$ )% Vs  $\sqrt{t}$**



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 36. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO NO DRENADO "CU" MIDIENDO PRESIÓN DE POROS INV E -153-13</b> Referencia PYL 3512					
PROYECTO: FINCA FUTURO CLIENTE: NEMOCÓM CUNDINAMARCA			FECHA DE ENSAYO: 29/07/2020 ORDEN DE TRABAJO No. 137		
SONDEO: 1 MUEST 1			PROFUNDIDAD(m) : 0,8		
DESCRIPCIÓN: Limo arcilloso color amarillo quemado de consistencia muy firme					
OBSERVACIONES: -					

ETAPA DE CONSOLIDACION				
SEGUNDO PUNTO				
Diametro (cm)	3,63			
Altura (cm)	7,12			
Masa Inicial (g)	154,76			
Relación Altura / diámetro	1,96			
Area (cm <sup>2</sup> )	10,35			
Volumen (cm <sup>3</sup> )	73,69			
Muestra Cilíndrica				
Inalterada	x			
Presión de cámara	kg/cm <sup>2</sup>	3,00		
Presión de poros inicial	kg/cm <sup>2</sup>	1,98		
Esfuerzo Efectivo inicial	kg/cm <sup>2</sup>	1,02		
Parámetro B al final de saturación	0,98			
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Recipiente	INICIAL		FINAL	
	C9	1N		
P <sub>1</sub>	(g)	54,50	162,81	
P <sub>2</sub>	(g)	50,93	144,11	
P <sub>3</sub>	(g)	5,77	5,60	
Humedad (%)		7,9	13,5	
Humedad tomada de la muestra completa				
Humedad tomada a partir de cortes <input checked="" type="checkbox"/>				
Cambio de altura en la saturación (cm) 0,00				
Cambio de altura en la consolidación (cm) 0,03				
Area después de consolidación (cm <sup>2</sup> ) 10,39				


Tiempo	Volumen	$\sqrt{t}$	DV / V
min	s	(min)	%
0	0	0,00	0,00
0	4	0,135	0,26
0	15	0,276	0,50
0	34	0,395	0,75
1	0	0,461	1,00
1	34	0,535	1,25
2	15	0,617	1,50
3	4	0,659	1,75
4	0	0,708	2,00
6	15	0,770	2,50
9	0	0,834	3,00
12	15	0,890	3,50
16	0	0,962	4,00
25	0	1,047	5,00
36	0	1,107	6,00
49	0	1,136	7,00
64	0	1,145	8,00
81	0	1,156	9,00
100	0	1,167	10,00
121	0	1,178	11,00
256	0	1,189	16,00
1444	0	1,200	38,00

Masa Unitaria Total $\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,100
Gravedad Especifica G <sub>s</sub>	2,698
Método de saturación	Húmedo
Grado de saturación inicial (%)	55,2
Grado de saturación final (%)	99,9
Relación de vacíos Inicial e <sub>0</sub>	0,39
Relación de vacíos final e <sub>f</sub>	0,36

Fotografía Antes de falla



Fotografía después de falla


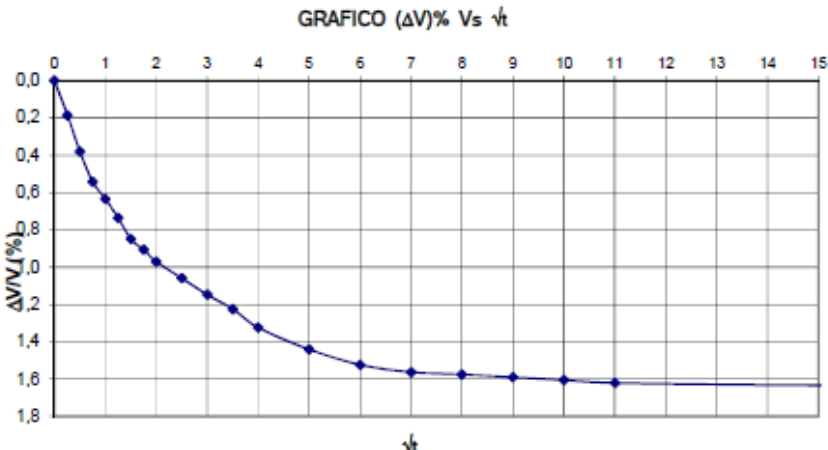



GRAFICO ( $\Delta V$ )% Vs  $\sqrt{t}$



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 37. Resultados del Ensayo de compresión Triaxial del suelo en el tramo de prueba 1 con escoria de acería. Sondeo 1, muestra M-1.

**ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO NO DRENADO "CU" MIDIENDO PRESIÓN DE POROS INV E -153-13**  
Referencia PYL 3512



PROYECTO:	FINCA FUTURO	FECHA DE ENSAYO:	29/07/2020
CLIENTE:	NEMOCÓM CUNDINAMARCA	ORDEN DE TRABAJO No.:	137
SONDEO:	1 MUEST 1	PROFUNDIDAD(m):	0,8
DESCRIPCIÓN:	Limo arcilloso color amarillo quemado de consistencia muy firme		
OBSERVACIONES:	-		


Tiempo	Volumen	$\sqrt{t}$	DV / V
min	s	cm <sup>2</sup>	(min)
0	0	0,00	0,00
0	4	0,289	0,26
0	15	0,604	0,50
0	34	0,921	0,75
1	0	1,100	1,00
1	34	1,258	1,25
2	15	1,351	1,50
3	4	1,405	1,75
4	0	1,468	2,00
6	15	1,580	2,50
9	0	1,629	3,00
12	15	1,680	3,50
16	0	1,708	4,00
25	0	1,789	5,00
36	0	1,798	6,00
49	0	1,836	7,00
64	0	1,852	8,00
81	0	1,876	9,00
100	0	1,897	10,00
121	0	1,923	11,00
256	0	1,948	16,00
1444	0	1,997	38,00

TERCER PUNTO	
Diametro (cm)	3,62
Altura (cm)	7,13
Masa Inicial (g)	154,65
Relación Altura / diametro	1,97
Area (cm <sup>2</sup> )	10,29
Volumen (cm <sup>3</sup> )	73,38
Muestra Cilíndrica	
Inalterada	x
Presión de cámara	kg/cm <sup>2</sup> 4,20
Presión de poros Inicial	kg/cm <sup>2</sup> 2,20
Esfuerzo Efectivo Inicial	kg/cm <sup>2</sup> 2,00
Parametro B al final de saturación	0,975


Masa Unitaria Total $\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,107
Gravedad Especifica Gs	2,698
Método de saturación	Húmedo
Grado de saturación inicial (%)	53,5
Grado de saturación final (%)	99,6
Relación de vacíos Inicial $e_0$	0,38
Relación de vacíos final $e_r$	0,35

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Recipiente	INICIAL	FINAL
P <sub>1</sub> (g)	67,43	169,87
P <sub>2</sub> (g)	63,12	151,24
P <sub>3</sub> (g)	5,27	8,18
Humedad (%)	7,5	13,0

Humedad tomada de la muestra completa  
Humedad tomada a partir de cortes x  
Cambio de altura en la saturación (cm) 0,00  
Cambio de altura en la consolidación (cm) 0,05  
Área después de consolidación (cm<sup>2</sup>) 10,36

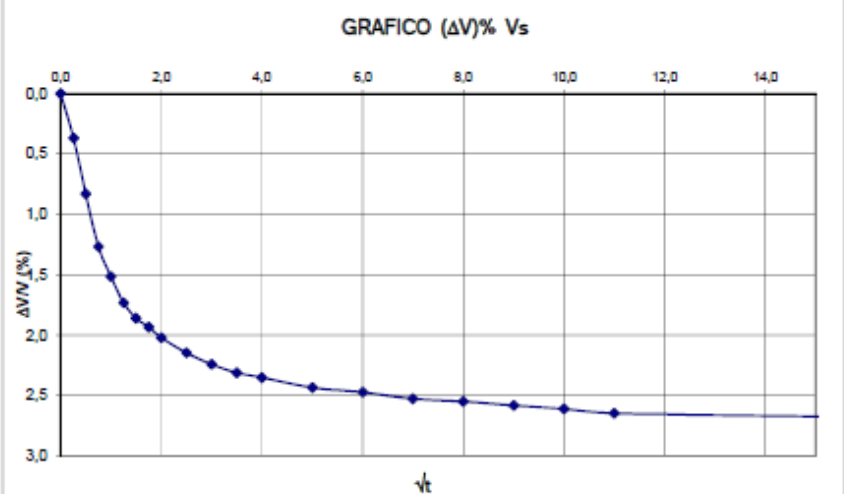


Fotografía Antes de falla



Fotografía después de falla


**GRAFICO ( $\Delta V$ )% Vs**



$\sqrt{t}$ (min)	$\Delta V$ (%)
0,00	0,00
0,26	0,26
0,50	0,50
0,75	0,75
1,00	1,00
1,25	1,25
1,50	1,50
1,75	1,75
2,00	2,00
2,50	2,15
3,00	2,24
3,50	2,31
4,00	2,35
5,00	2,43
6,00	2,47
7,00	2,53
8,00	2,55
9,00	2,58
10,00	2,61
11,00	2,65
16,00	2,68
38,00	2,75


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 38. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.

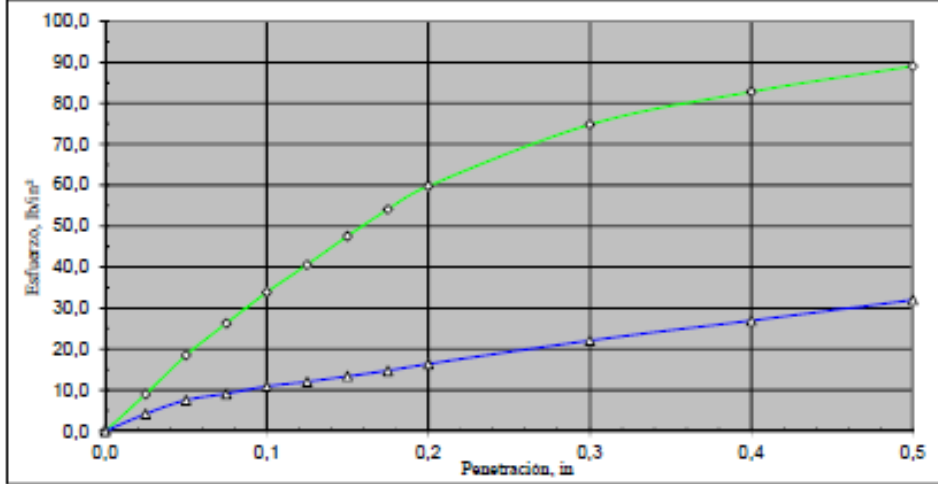
	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1	
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - SUELO NATURAL.			
Nemocon, Cundinamarca.			
<b>SONDEO No.</b>	---		
<b>MUESTRA No.</b>	M - 1 / 2 / 3	<b>FECHA</b> 19-oct-20	
<b>PROFUNDIDAD, m</b>		<b>REALIZADO</b> Luis Carlos Mendoza.	
<b>DESCRIPCION VISUAL:</b>			
<hr/>			
<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
ENSAYO No.	1	2	3
N	35	25	15
P <sub>1</sub> , gr	44,34	69,23	82,51
P <sub>2</sub> , gr	37,65	58,53	68,36
P <sub>3</sub> , gr	11,30	19,28	19,70
Humedad, %	25,4	27,3	29,1
<b>GRADACION</b>			
P <sub>1</sub> , gr =	1376,0		
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa
2"			
1 1/2"			
1"			100,00
3/4"	51,8	3,76	96,24
1/2"	33,4	2,43	93,81
3/8"	17,0	1,24	92,57
4	71,9	5,23	87,35
10	81,9	5,95	81,40
20	91,1	6,62	74,77
40	96,5	7,01	67,76
60	78,0	5,67	62,09
100	81,8	5,94	56,15
200	63,8	4,64	51,51
Fondo	708,8	51,51	
Σ	1376,0	100	
<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>			
ENSAYO No.	1	2	w <sub>n</sub>
P <sub>1</sub> , gr	16,08	17,75	55,43
P <sub>2</sub> , gr	14,78	16,43	51,44
P <sub>3</sub> , gr	7,63	9,11	15,88
Humedad, %	18,2	18,0	11,2

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 39. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.

	LABORATORIO DE MATERIALES <b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - SUELO NATURAL.				
Nemocón, Cundinamarca.				
Perforación, No	---	Muestra, No	M - 1	
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:	19/10/2020	
Máquina	PS-25	Realizado por:	Luis Carlos Mendoza P.	
Certificado No.	F- 0590			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,009	
Penetración, in	Fuera de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuera de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,120	9,0	0,056	4,2
0,050	0,247	18,5	0,101	7,6
0,075	0,351	26,3	0,122	9,1
0,100	0,452	33,9	0,146	10,9
0,125	0,542	40,6	0,161	12,1
0,150	0,635	47,6	0,179	13,4
0,175	0,722	54,1	0,197	14,8
0,200	0,798	59,8	0,219	16,4
0,300	0,998	74,8	0,295	22,1
0,400	1,105	82,8	0,360	27,0
0,500	1,188	89,0	0,427	32,0
CBR Corregido 0.1"	3,4		1,1	
CBR Corregido 0.2"	4,0		1,1	
Humedad de Penetración, %	11,22		31,64	
Densidad húmeda, gr / cm <sup>3</sup>	1,80			
Densidad seca, gr / cm <sup>3</sup>	1,62			




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

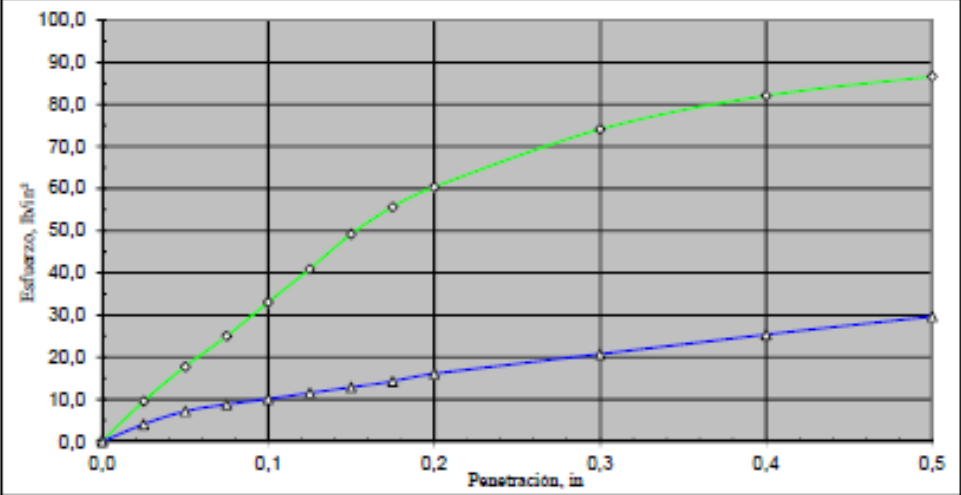
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 40. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - SUELO NATURAL.				
Nemocón, Cundinamarca.				
Perforación, No	--	Muestra, No	M - 2	
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:	19/10/2020	
Máquina	PS-25	Realizado por:	Luis Carlos Mendoza P.	
Certificado No.	F- 0590			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,009	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,128	9,6	0,055	4,1
0,050	0,237	17,8	0,096	7,2
0,075	0,334	25,0	0,118	8,8
0,100	0,441	33,0	0,135	10,1
0,125	0,546	40,9	0,154	11,5
0,150	0,657	49,2	0,172	12,9
0,175	0,743	55,7	0,191	14,3
0,200	0,806	60,4	0,215	16,1
0,300	0,989	74,1	0,277	20,8
0,400	1,095	82,1	0,339	25,4
0,500	1,156	86,6	0,396	29,7
CBR Corregido 0.1"	3,3		1,0	
CBR Corregido 0.2"	4,0		1,1	
Humedad de Penetración, %	12,22		32,63	
Densidad húmeda, gr / cm <sup>3</sup>	1,80			
Densidad seca, gr / cm <sup>3</sup>	1,61			




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

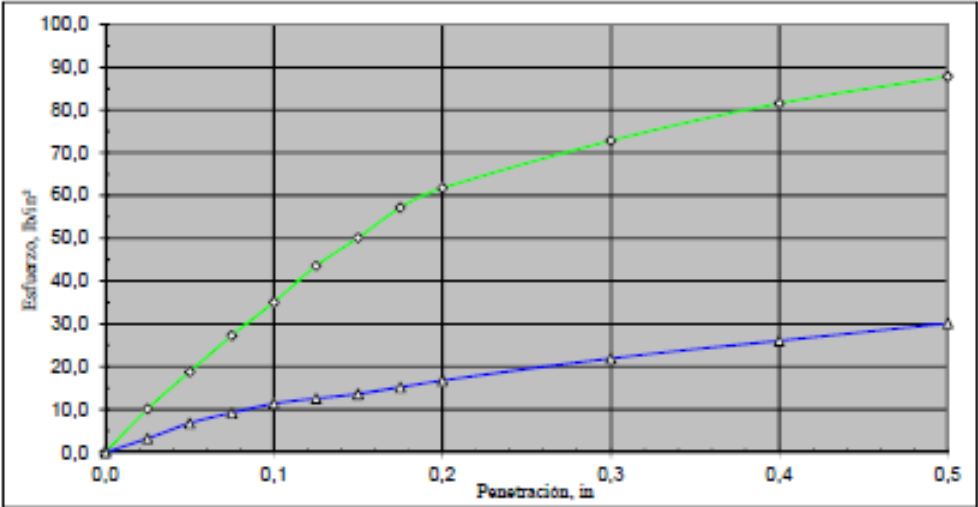
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 41. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo natural en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - SUELO NATURAL. Nemocón, Cundinamarca.				
Perforación, No	---	Muestra, No	M-3	
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:	19/10/2020	
Máquina	PS-25	Realizado por:	Luis Carlos Mendoza P.	
Certificado No.	F- 0590			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	----		4	
Expansión, in	----		0,009	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,135	10,1	0,043	3,2
0,050	0,251	18,8	0,091	6,8
0,075	0,364	27,3	0,123	9,2
0,100	0,468	35,1	0,152	11,4
0,125	0,581	43,5	0,168	12,6
0,150	0,669	50,1	0,182	13,6
0,175	0,763	57,2	0,203	15,2
0,200	0,824	61,7	0,224	16,8
0,300	0,972	72,8	0,293	22,0
0,400	1,088	81,5	0,348	26,1
0,500	1,172	87,8	0,402	30,1
CBR Corregido 0.1"	3,5		1,1	
CBR Corregido 0.2"	4,1		1,1	
Humedad de Penetración, %	11,88		31,41	
Densidad húmeda, gr / cm <sup>3</sup>	1,84			
Densidad seca, gr / cm <sup>3</sup>	1,64			


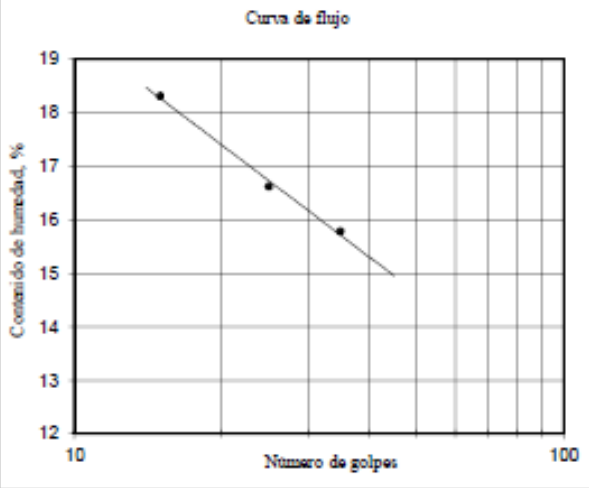


OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

REVISO: \_\_\_\_\_


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 42. Resultado del ensayo de clasificación (límites) del suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1/2/3.

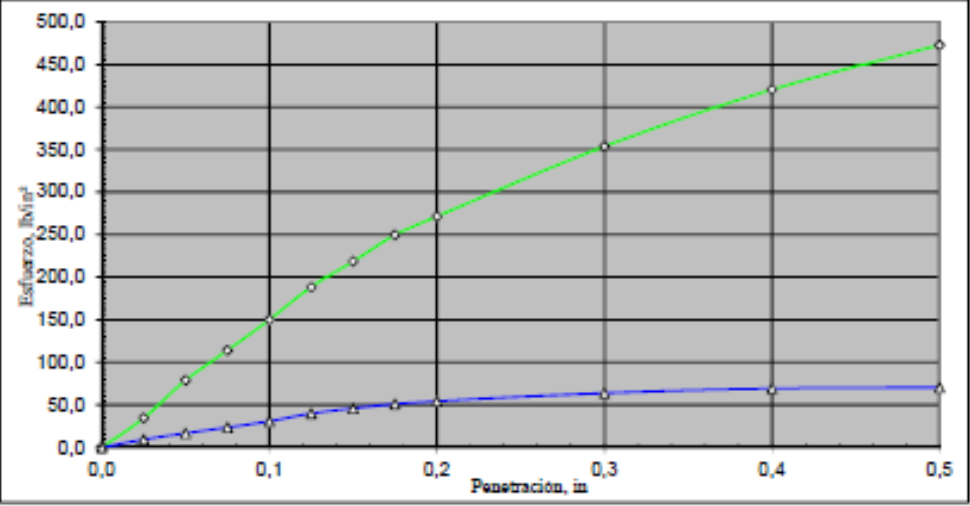
	Laboratorio de Mecánica de Suelos <b>ENSAYO DE CLASIFICACION</b>	Página 1 de 1																																																																				
<b>PROYECTO</b> <u>FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - CON ADICIÓN DE ESCORIA.</u>																																																																						
SONDEO No. <u>---</u> MUESTRA No. <u>M - 1 / 2 / 3</u>																																																																						
PROFUNDIDAD, m <u>---</u>																																																																						
DESCRIPCION VISUAL: <u>---</u>																																																																						
<b>FECHA</b> <u>19-oct-20</u> <b>REALIZADO</b> <u>Luis Carlos Mendoza.</u>																																																																						
<b>LIMITE LIQUIDO</b>																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ENSAYO No.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td>35</td> <td>25</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>P<sub>1</sub>, gr</td> <td>64,98</td> <td>53,72</td> <td>79,95</td> </tr> <tr> <td>P<sub>2</sub>, gr</td> <td>59,49</td> <td>48,48</td> <td>70,66</td> </tr> <tr> <td>P<sub>3</sub>, gr</td> <td>24,69</td> <td>16,95</td> <td>19,92</td> </tr> <tr> <td>Humedad, %</td> <td>15,8</td> <td>16,6</td> <td>18,3</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAYO No.	1	2	3	N	35	25	15	P <sub>1</sub> , gr	64,98	53,72	79,95	P <sub>2</sub> , gr	59,49	48,48	70,66	P <sub>3</sub> , gr	24,69	16,95	19,92	Humedad, %	15,8	16,6	18,3																																														
ENSAYO No.	1	2	3																																																																			
N	35	25	15																																																																			
P <sub>1</sub> , gr	64,98	53,72	79,95																																																																			
P <sub>2</sub> , gr	59,49	48,48	70,66																																																																			
P <sub>3</sub> , gr	24,69	16,95	19,92																																																																			
Humedad, %	15,8	16,6	18,3																																																																			
<b>LIMITE PLASTICO Y HUMEDAD NATURAL</b>																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ENSAYO No.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>m<sub>n</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P<sub>1</sub>, gr</td> <td>16,03</td> <td>13,21</td> <td>91,31</td> </tr> <tr> <td>P<sub>2</sub>, gr</td> <td>15,34</td> <td>12,68</td> <td>84,44</td> </tr> <tr> <td>P<sub>3</sub>, gr</td> <td>9,03</td> <td>7,53</td> <td>19,64</td> </tr> <tr> <td>Humedad, %</td> <td>10,9</td> <td>10,3</td> <td>10,6</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAYO No.	1	2	m <sub>n</sub>	P <sub>1</sub> , gr	16,03	13,21	91,31	P <sub>2</sub> , gr	15,34	12,68	84,44	P <sub>3</sub> , gr	9,03	7,53	19,64	Humedad, %	10,9	10,3	10,6																																																		
ENSAYO No.	1	2	m <sub>n</sub>																																																																			
P <sub>1</sub> , gr	16,03	13,21	91,31																																																																			
P <sub>2</sub> , gr	15,34	12,68	84,44																																																																			
P <sub>3</sub> , gr	9,03	7,53	19,64																																																																			
Humedad, %	10,9	10,3	10,6																																																																			
<div style="text-align: center;">                     Curva de flujo                 </div> 																																																																						
<b>GRADACION</b>																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso retenido</th> <th>%Retenido</th> <th>%Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">P<sub>1</sub>, gr = 2416,0</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td></td> <td></td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>58,5</td> <td>2,42</td> <td>97,58</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>28,9</td> <td>1,20</td> <td>96,38</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>85,7</td> <td>3,55</td> <td>92,84</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>376,6</td> <td>15,59</td> <td>77,25</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>175,8</td> <td>7,28</td> <td>69,97</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>76,1</td> <td>3,15</td> <td>66,82</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>33,0</td> <td>1,37</td> <td>65,46</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>21,5</td> <td>0,89</td> <td>64,57</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>36,7</td> <td>1,52</td> <td>63,05</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>37,7</td> <td>1,56</td> <td>61,49</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>147,9</td> <td>6,12</td> <td>55,36</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>151,3</td> <td>6,26</td> <td>49,10</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td>1186,3</td> <td>49,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Σ</td> <td>2416,0</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa	P <sub>1</sub> , gr = 2416,0				2"			100,00	1 1/2"	58,5	2,42	97,58	1"	28,9	1,20	96,38	3/4"	85,7	3,55	92,84	1/2"	376,6	15,59	77,25	3/8"	175,8	7,28	69,97	4	76,1	3,15	66,82	10	33,0	1,37	65,46	20	21,5	0,89	64,57	40	36,7	1,52	63,05	60	37,7	1,56	61,49	100	147,9	6,12	55,36	200	151,3	6,26	49,10	Fondo	1186,3	49,10		Σ	2416,0	100	
Tamiz	Peso retenido	%Retenido	%Pasa																																																																			
P <sub>1</sub> , gr = 2416,0																																																																						
2"			100,00																																																																			
1 1/2"	58,5	2,42	97,58																																																																			
1"	28,9	1,20	96,38																																																																			
3/4"	85,7	3,55	92,84																																																																			
1/2"	376,6	15,59	77,25																																																																			
3/8"	175,8	7,28	69,97																																																																			
4	76,1	3,15	66,82																																																																			
10	33,0	1,37	65,46																																																																			
20	21,5	0,89	64,57																																																																			
40	36,7	1,52	63,05																																																																			
60	37,7	1,56	61,49																																																																			
100	147,9	6,12	55,36																																																																			
200	151,3	6,26	49,10																																																																			
Fondo	1186,3	49,10																																																																				
Σ	2416,0	100																																																																				
<b>RESULTADOS</b>																																																																						
Límite líquido, % <u>16,7</u> Límite plástico, % <u>10,6</u> Índice de plasticidad, % <u>6,1</u>																																																																						
<b>CLASIFICACION</b>																																																																						
USC <u>GC-GM</u> AASHTO <u>A4 (0)</u>																																																																						
<b>OBSERVACIONES</b> %G = 33.18    %S = 17.72    %F = 49.1																																																																						
REVISO: .....																																																																						
STALO GROUP S.A.S. - NIT.: 901.084.237 - 7 Vereda Parcelas, Parcela 45 - Tel.: (1) 875 90 38 - Cota, Cundinamarca.																																																																						

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 43. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-1.

	LABORATORIO DE MATERIALES	PAGINA 1 DE 1
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>		
PROYECTO	FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - CON ADICIÓN DE ESCORIA.	
	Nemocón, Cundinamarca.	
Perforación, No	---	Muestra, No
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:
Máquina	PS-25	Realizado por:
Certificado No.	F- 0590	Luis Carlos Mendoza P.
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>		
Molde No.	1	
Condición de la muestra	NATURAL	SATURADA
Días de inmersión	---	
Expansión, in	---	
	0,005	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0
0,025	0,461	34,5
0,050	1,054	79,0
0,075	1,522	114,1
0,100	2,004	150,2
0,125	2,516	188,5
0,150	2,917	218,6
0,175	3,332	249,7
0,200	3,623	271,5
0,300	4,721	353,8
0,400	5,612	420,5
0,500	6,311	472,9
CBR Corregido 0.1"	15,0	3,1
CBR Corregido 0.2"	18,1	3,6
Humedad de Penetración, %	14,57	17,88
Densidad húmeda, gr/cm <sup>3</sup>	2,37	
Densidad seca, gr/cm <sup>3</sup>	2,07	




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

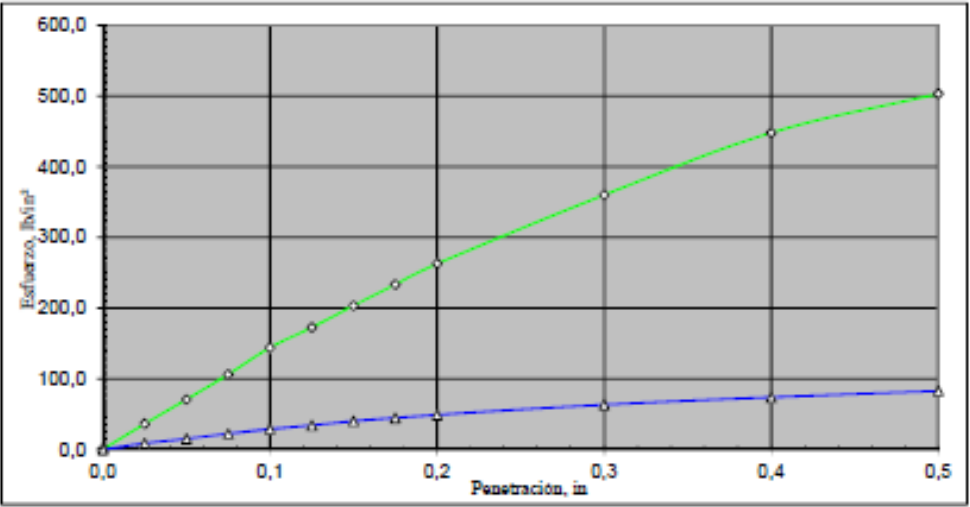
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 44. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-2.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>	PAGINA 1 DE 1
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>		
<b>PROYECTO</b>	<b>FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - CON ADICIÓN DE ESCORIA.</b>	
	Nemocón, Cundinamarca.	
Perforación, No	--	Muestra, No <span style="float: right;">M - 2</span>
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha: <span style="float: right;">19/10/2020</span>
Máquina	PS-25	Realizado por: <span style="float: right;">Luis Carlos Mendoza P.</span>
Certificado No.	F- 0590	
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>		
Molde No.	1	1
Condición de la muestra	NATURAL	SATURADA
Días de inmersión	-----	4
Expansión, in	-----	0,004
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0
0,025	0,485	36,3
0,050	0,942	70,6
0,075	1,418	106,3
0,100	1,923	144,1
0,125	2,304	172,7
0,150	2,715	203,5
0,175	3,116	233,5
0,200	3,506	262,7
0,300	4,805	360,1
0,400	5,981	448,2
0,500	6,716	503,3
CBR Corregido 0.1"	14,4	2,9
CBR Corregido 0.2"	17,5	3,3
Humedad de Penetración, %	9,02	15,56
Densidad húmeda, gr /cm <sup>3</sup>	2,25	
Densidad seca, gr / cm <sup>3</sup>	2,06	




OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

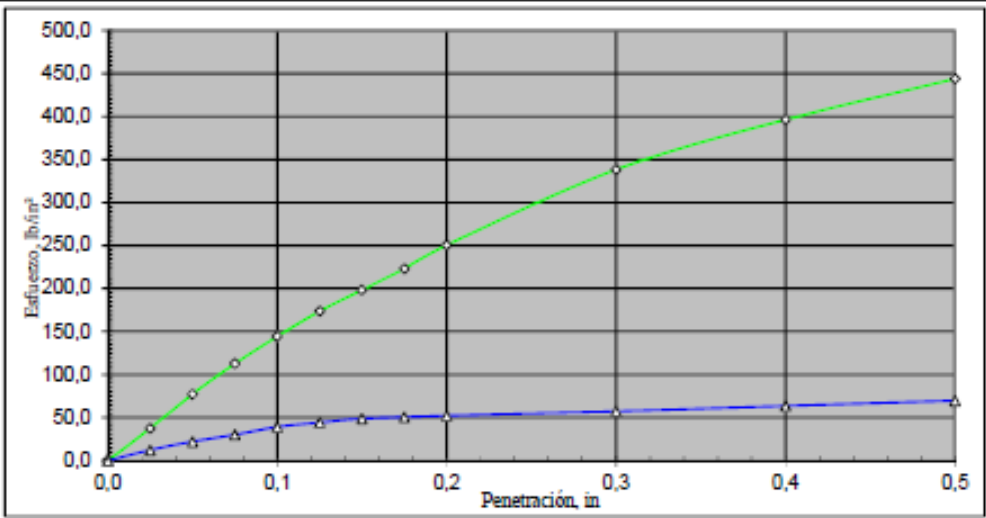
REVISO: \_\_\_\_\_

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 45. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR inalterado en el suelo con adición de escoria en el tramo de prueba 2. Muestra M-3.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b> <b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>	PAGINA 1 DE 1		
<b>PROYECTO</b> FLORES EL FUTURO - TRAMO DE PRUEBA 2 - CON ADICIÓN DE ESCORIA. Nemocón, Cundinamarca.				
Perforación, No	---	Muestra, No	M - 3	
Profundidad, m	0,10 - 0,30	Fecha:	19/10/2020	
Máquina	PS-25	Realizado por:	Luis Carlos Mendoza P.	
Certificado No.	F- 0590			
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>				
Molde No.	1		1	
Condición de la muestra	NATURAL		SATURADA	
Días de inmersión	-----		4	
Expansión, in	-----		0,005	
Penetración, in	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>	Fuerza de Penetración kN	Esfuerzo lb/in <sup>2</sup>
0,000	0	0,0	0	0,0
0,025	0,501	37,5	0,164	12,3
0,050	1,033	77,4	0,296	22,2
0,075	1,504	112,7	0,403	30,2
0,100	1,926	144,3	0,524	39,3
0,125	2,318	173,7	0,592	44,4
0,150	2,647	198,4	0,653	48,9
0,175	2,977	223,1	0,677	50,7
0,200	3,343	250,5	0,698	52,3
0,300	4,516	338,4	0,767	57,5
0,400	5,289	396,3	0,849	63,6
0,500	5,923	443,8	0,931	69,8
CBR Corregido 0.1"	14,4		3,9	
CBR Corregido 0.2"	16,7		3,5	
Humedad de Penetración, %	11,26		18,11	
Densidad húmeda, gr /cm <sup>3</sup>	2,26			
Densidad seca, gr /cm <sup>3</sup>	2,03			





OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

REVISO: \_\_\_\_\_


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 46. Resultados del ensayo de abrasión en la escoria de acería.

 <b>DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES</b> <small>COMPANHIA DE TRABALHOS URBANOS S.A.S.</small>		REF: 7931																					
<b>PROYECTO:</b> EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO <b>DESCRIPCIÓN:</b> SUELO NATURAL CON ADICIONES DE ESCORIA DE ACERIA DE GERDAU DIAGO <b>SOLICITADO POR:</b> GEOTECNIA Y CIMENTACIONES S.A.S <b>MÉTODO:</b> INV-E-2. 2013		<b>DATOS DE LA MUESTRA</b> <b>FECHA DEL MUESTREO:</b> DIA MES AÑO 7/09/2020 <b>FECHA DEL ENSAYO:</b> 7/09/2020 <b>CANTERA:</b> <b>UBICACIÓN:</b> NEMOCON																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>DESGASTE</th> <th>MUESTRA SECA</th> <th>MUESTRA SATURADA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gradación usada</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. De esferas</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. De revoluciones</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P1 = Masa de la muestra seca antes del ensayo (g.)</td> <td style="text-align: center;">10000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P2 = Masa de la muestra seca después del ensayo (g.)</td> <td style="text-align: center;">7871</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Perdida</td> <td style="text-align: center;">21,29</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DESGASTE	MUESTRA SECA	MUESTRA SATURADA	Gradación usada	2		No. De esferas	12		No. De revoluciones	1000		P1 = Masa de la muestra seca antes del ensayo (g.)	10000		P2 = Masa de la muestra seca después del ensayo (g.)	7871		% Perdida	21,29	
DESGASTE	MUESTRA SECA	MUESTRA SATURADA																					
Gradación usada	2																						
No. De esferas	12																						
No. De revoluciones	1000																						
P1 = Masa de la muestra seca antes del ensayo (g.)	10000																						
P2 = Masa de la muestra seca después del ensayo (g.)	7871																						
% Perdida	21,29																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">RELACION HUMEDO/SECO 500 rev</td> <td></td> </tr> </table>			RELACION HUMEDO/SECO 500 rev																				
RELACION HUMEDO/SECO 500 rev																							
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADOS DE LA MUESTRA</b>																							
TAMIZ		MASA Y GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA																					
PASA	RETIENE	A	B	C	D	1	2	3															
3"	2 1/2"					2500±50																	
2 1/2"	2"					2500±50																	
2"	1 1/2"					2500±50	5000±50																
1 1/2"	1"	1250±25					5000±25	5000±25															
1"	3/4"	1250±25						5000±25															
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10																				
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10																				
3/8"	1/4"			2500±10																			
1/4"	No.4			2500±10																			
No.4	No.8				5000±10																		
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50															
No. Revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000															
No. Esferas		12	11	8	6	12	12	12															
<b>OBSERVACIONES:</b> _____ _____  <div style="text-align: right;">                     REVISÓ Y APROBÓ:                       Juan Felipe Quintrana Vilamarín                      Jefe de Laboratorio                 </div>																							
<small>Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. Este informe no puede ser reproducido en su totalidad ni parcialmente, sin la autorización escrita de este laboratorio.</small> Km. 17+200 Carretera Central del Norte PBX:57(1) 678 0720 Fax: 57(1) 678 0817 Bogotá D.C. - Colombia , www.cts.com.co																							


# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 47. Resultados de la granulometría en la escoria de acería.

 <b>GRANULOMETRIA, LIMITES Y % DE CARAS FRACTURADAS DE AGREGADOS</b>		REF: 7931				
PROYECTO: <u>EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO</u> DESCRIPCIÓN: <u>SUELO NATURAL CON ADICIÓN DE ESCORIA DE ACERÍA DE BRENDA DUARTE</u> ESPECIFICACIÓN: _____ SOLICITADA POR: <u>GEOTECNIA Y CIMENTACIONES S.A.S</u>		<b>DATOS DE MUESTREO</b> DIA MES AÑO FECHA DE MUESTREO: <u>7/09/2020</u> FECHA DE ENSAYO: <u>7/09/2020</u> CANTERA: _____ LUGAR-UBICACIÓN: <u>NEMOCON</u>				
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO</b>		<b>LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS I.N.V. E-126/13</b>				
I.N.V. E-213/13		I.N.V. E-227/13				
Masa 1=	11.167,0	Masa 2=	10.516,8	ESPECIFICACIÓN		
Tamiz	Masa retenida	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa	Limite superior	Limite inferior
2"	584,3	0,0	0,0	100,0		
1 1/2"	735,3	6,8	6,8	93,2		
1"	2.718,8	24,3	31,1	68,9		
3/4"	2.993,2	26,8	57,9	42,1		
1/2"	2.949,6	26,4	84,3	15,7		
3/8"	665,0	6,0	90,3	9,7		
No 4	288,9	2,6	92,9	7,1		
No 10	40,7	0,4	93,2	6,8		
No 40	43,0	0,4	93,6	6,4		
No 80	38,9	0,3	94,0	6,0		
No 200	23,2	0,2	94,2	5,8		
FONDO	630,2	5,8	100,0	0		
	11.167,0					
				LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS I.N.V. E-126/13		
				Limite Líquido (%)		
				Limite Plástico (%)		
				Índice de plasticidad (%)		
				PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS I.N.V. E-227/13		
				N/A		
				DISTRIBUCIÓN DE LOS AGREGADOS		
				Grava (%) <u>93,2</u>		
				Arena (%) <u>0,9</u>		
				Finos (%) <u>5,8</u>		
				100		
<b>GRANULOMETRIA POR TAMIZADO</b>						
OBSERVACIONES: _____ _____ _____						
REVISÓ Y APROBÓ: _____						Jefe de Laboratorio

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 48. Resultado de análisis pH en la escoria de acería.

	Teléfono (+571) 3575534 Carrera 13 No 71-26 - Bogotá, Colombia <a href="mailto:gmas@gmaslab.com">gmas@gmaslab.com</a>
<b>GMAS S.A.S. LABORATORIO DE GEOLOGÍA, GEOQUÍMICA Y GEOFÍSICA</b>	
	<b>REPORTE No. GMR1172</b> <b>FECHA REPORTE 05-08-2020</b> <b>INGRESO No. 1248</b>
<b>1. Procedimientos</b>	
<b>1.1 Determinación de pH en roca con cinta marcadora</b>	
<b>1.1.1 Instrumentación y Parámetros</b>	
Mortero y pilón de acero Cintas marcadoras pH 1-14	
<b>1.1.2. Procedimiento de preparación</b>	
La roca es pulverizada usando mortero y pilón de acero. Una vez homogeneizado el polvo se toman 25g de esta y se mezclan con 40ml de agua destilada (pH=7) a temperatura ambiente. Pasados 1, 5, 15 y 30 minutos se procede a medir el pH de la mezcla con cinta marcadora.	
<b>1.2 Elaboración de sección delgada</b>	
Para elaborar las secciones delgadas se procede a hacer una limpieza (con agua y jabón o solventes orgánicos) si la muestra lo permite. Posteriormente se seca la muestra a baja temperatura, luego se impregna con resina epóxica coloreada de azul y se introduce la muestra en una campana de vacío para que la resina penetre los poros y luego se deja a temperatura adecuada para que se solidifique. Una vez la resina está endurecida se hace una superficie plana y se pega un vidrio portaobjetos a la muestra. Finalmente, el montaje es desbastado con discos diamantados hasta lograr un espesor de 30µm y se pega un vidrio portaobjetos con resina que se cura con luz ultravioleta.	
<b>1.3 Digitalización de sección delgada - OneGeo</b>	
OneGeo es una plataforma para visualizar secciones delgadas de alta calidad, cada imagen tiene una resolución de hasta 450 mpx, que facilitan el análisis y descripción de muestras. El visor de imágenes de OneGeo permite la navegación a lo largo y ancho de la sección a distintos niveles de magnificación.	

Anexo 49. Resultado de análisis de pH en la escoria de acería.



Teléfono (+571) 3575534  
Carrera 13 No 71-26 - Bogotá, Colombia  
[gmas@gmaslab.com](mailto:gmas@gmaslab.com)

OneGeo es ideal para organizar proyectos, ya que su capacidad de almacenamiento y visualización permiten observar todas las secciones de forma macro e ingresar a cada una de ellas y así obtener una vista aproximada a la de un microscopio óptico. Al ser una plataforma virtual, es posible tener acceso a los proyectos desde cualquier parte del mundo, haciendo más fácil la discusión y el acceso a la información.

## 2. Resultados

### 2.1 Determinación de pH en roca con cinta marcadora

Roca: Escoria	
Tiempo (min)	pH
1	10
5	11
15	11
30	11

Tabla 1. Resultado de la medición de pH

Se determina el pH de la roca se encuentra entre 10-11.

### 2.2 Elaboración y digitalización de sección delgada.

La sección delgada correspondiente a la muestra de escoria fue elaborada con éxito, no se le colocó cubreobjetos en caso de que con la misma quieran hacer futuros análisis y está disponible para ser recolectada en las instalaciones de Gmas SAS.

La imagen digitalizada se encuentra en la plataforma web OneGeo

<https://onegeo.gmaslab.com/dev/login?next=%2Fdev%2F>

Para acceder a dicha sección con el siguiente usuario y contraseña:

Usuario: [EPTG@onegeo.com](mailto:EPTG@onegeo.com)

Contraseña: EscGmas2020

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 50. Digitalización de sección delgada de la escoria de acería.



OneGeo es una plataforma para visualizar secciones delgadas de alta calidad, cada imagen tiene una resolución de hasta 450 MPX; que facilitan el análisis y descripción de muestras. El visor de imágenes de OneGeo permite la navegación a lo largo y ancho de la sección a distintos niveles de magnificación.

OneGeo es ideal para organizar proyectos, ya que su capacidad de almacenamiento y visualización permiten observar todas las secciones de forma macro e ingresar a cada una de ellas y así obtener una vista tal cual como en un microscopio óptico. Al ser una plataforma virtual, es posible tener acceso a los proyectos desde cualquier parte del mundo, haciendo más fácil la discusión y el acceso a la información.

El documento a continuación es una guía para el uso de la plataforma de tal forma que se pueda aprender de manera fácil e interactiva y sacar al máximo todos los usos de la plataforma.




EPTG\_1  
Escoria



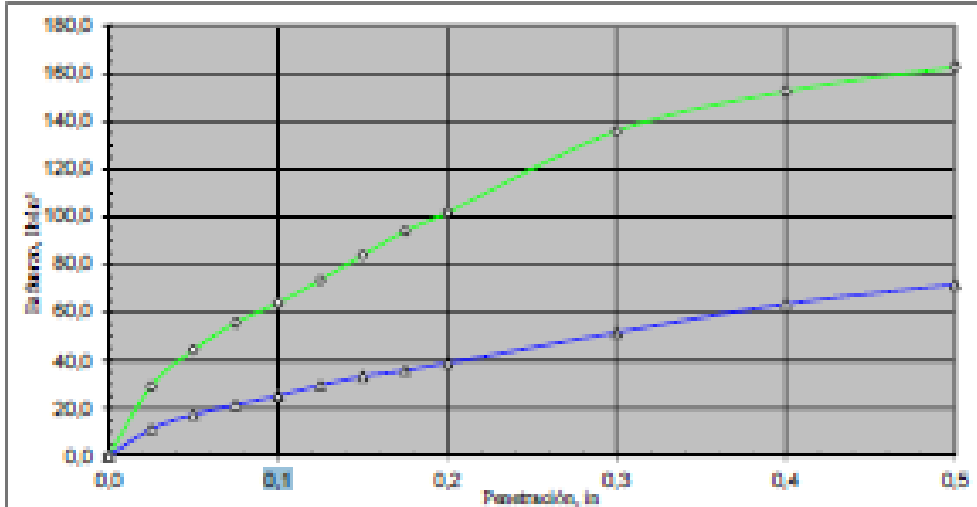
ID:  
Análisis:  
Roca:  
Categoría:  
Unidad:  
Facies:  
Composición: No data  
General: Textura:  
Descripción:  
Folio Name:  
Map Document:

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE TERRENO NATURAL

Anexo 51. Resultados de laboratorio del Ensayo de CBR Muestra No1 Profundidad 0.00 m - 0.20 m. CBR NATURAL T1 SN K0+0.03.

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES</b>	PÁGINA 1 DE 1
<b>ENSAYO DE CBR INALTERADO</b>		
<b>PROYECTO</b>	<b>FLORES EL FUTURO</b>	
	Nemocón, Cardinamarca	
<b>Profundidad, No</b>	<b>AP - 1</b>	<b>Muestra, No</b> <b>M - 1</b>
<b>Profundidad, m</b>	<b>0,00 - 0,20</b>	<b>Fecha:</b> <b>18/07/2020</b>
<b>Máquina</b>	<b>PS-25</b>	<b>Realizado por:</b> <b>Luis Carlos Méndez P.</b>
<b>Certificado No.</b>	<b>F- 0590</b>	
<b>RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACION EN EL ENSAYO CBR</b>		
<b>Moldo No.</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NATURAL</b>	<b>SATURADA</b>
<b>Días de inserción</b>	-----	<b>4</b>
<b>Expansión, in</b>	-----	<b>0,004</b>
<b>Penetración, in</b>	<b>Fuerza de Penetración kN</b>	<b>Esfuerzo lb/in<sup>2</sup></b>
	<b>Fuerza de Penetración kN</b>	<b>Esfuerzo lb/in<sup>2</sup></b>
0,000	0	0,0
0,025	0,388	29,1
0,050	0,592	44,4
0,075	0,743	55,7
0,100	0,855	64,1
0,125	0,982	73,6
0,150	1,120	83,9
0,175	1,255	94,0
0,200	1,359	101,8
0,300	1,815	136,0
0,400	2,036	152,6
0,500	2,173	162,8
<b>CBR Corregido 0.1"</b>	<b>6,4</b>	<b>2,5</b>
<b>CBR Corregido 0.2"</b>	<b>6,8</b>	<b>2,6</b>
<b>Humedad de Penetración, %</b>	<b>6,02</b>	<b>13,13</b>
<b>Densidad húmeda, gr / cm<sup>3</sup></b>	<b>2,26</b>	
<b>Densidad seca, gr / cm<sup>3</sup></b>	<b>2,13</b>	



**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

**REVISO:** \_\_\_\_\_