UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

FIGUEROA CHAVEZ, ILICH DARIENT (0000-0002-9982-5082)

MAMANI QUINTO, CARLOS CLINTON (0000-0002-9545-5707)

ASESOR

EYZAGUIRRE ACOSTA, CARLOS AUGUSTO (0000-0001-9769-2135)

Lima, 17 de enero de 2019

DEDICATORIAS

Esta tesis se la dedico a mis Padres, Hermanos y Amigos que estuvieron a mi lado de todo este trayecto, y una dedicatoria especial para mi Madre que gracias a su apoyo y fuerza incondicional a lo largo de toda mi vida me permitieron llegar a ser lo que soy hoy.

Ilich Darient Figueroa Chavez

Por la paciencia y el esfuerzo que tuvieron mis padres en ayudarme en cada momento les dedico la presente tesis, por los consejos para seguir y terminar cada proyecto que empezaba. Así mismo un grato reconocimiento a mi padre quien supo comprender cada circunstancia por la que pasaba para brindarme consejo y que a la fecha me da el apoyo en hacer lo que más me gusta.

Carlos Clinton Mamani Quinto

AGRADECIMIENTOS

En el tiempo que tomo desarrollar la investigación se nos presentó muchas dificultades y con el propósito de conseguir resultados de calidad, y un desarrollo académico exitoso se nos brindó orientación y oportunidades. En los siguientes párrafos nos es grato expresar nuestro más sentido de agradecimiento a todas las entidades y profesionales que hicieron posible este logro.

A nuestro asesor de tesis Ing. Carlos Eyzaguirre quien supo orientarnos en el desarrollo total de la presente tesis.

A la empresa Corporación Aceros Arequipa S.A. por su hospitalidad y su gentil gestión para proporcionarnos las escorias negras en su planta en Pisco, así como documentos de ayuda para el desarrollo de la tesis.

A Tec. Jony Gutiérrez Abanto, así como a la empresa MTL Geotecnia S.A.C por sus aportes en el desarrollo final de la investigación.

Al laboratorio N°12 LABICER en la UNI. Quienes nos prestaron los servicios para determinar los componentes de la escoria negra.

Para finalizar, a la diferente plana educativa que presenta nuestra casa de estudios UPC, así como la facilidad que nos brindó para poder utilizar los laboratorios de mecánica de suelos y poder efectuar los ensayos requeridos.

RESUMEN

En la presente tesis se investigó sobre las escorias negras (EAFS) obtenidas a partir de la industria siderúrgica, como residuos, para su uso como material de agregado en capas de afirmado, así como el diseño de esta. Para ello se tuvo que indagar en investigaciones nacionales e internacionales referidas al tema.

En el trabajo académico se analizaron las propiedades que presentan las EAFS, con respecto a los requerimientos que establece el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Por otro lado, se cuantificaron las cantidades de metales pesados encontrados en las EAFS, divididos en esenciales y tóxicos. Encontrando que, si bien las escorias presentan cantidades ligeramente superiores a los rangos admisibles para suelos agrícolas, con respecto a las cantidades de cromo y cobre, estas pueden ser mitigadas mediante la fitorremediación, lo que hace viable su uso.

Con los resultados favorables obtenidos, se obtuvo un espesor de afirmado de 15 cm en base a los requerimientos mínimos de los manuales de carteras no pavimentadas del MTC.

Para finalizar, fue necesario establecer la factibilidad económica de transportar las EAFS hasta los proyectos viales. Para ello se compararon los precios de compra y transporte de agregados convencionales con respecto al transporte de las EAFS. Se obtuvo un radio óptimo de transporte de 50 km a partir de la fábrica de Aceros Arequipa de Pisco. Si bien este radio podría extenderse, dependerá del lugar del proyecto vial, así como también la distancia del proveedor o cantera de agregado convencional de afirmado más próximo.

Palabras clave: EAFS; escorias negras; afirmados; residuos de acero.

DESIGN OF AFFIRMED ROADS BASED ON BLACK SLAG, FROM THE STEEL PLANT OF ACEROS AREQUIPA IN PISCO, FOR RURAL ZONES.

ABSTRACT

In this thesis, we investigated the black slag (EAFS) obtained from the steel industry, as waste, for its use as an aggregate material in layers of asserted, as well as the design of this. For this, national and international research on the subject had to be investigated.

The academic work analyzed the properties presented by the EAFS, with respect to the requirements established by the Ministry of Transport and Communications. On the other hand, quantify the amounts of heavy metals found in the EAFS, divided into essential and toxic. Finding that, although the slags present the quantities slightly higher than the permissible ranges for agricultural soils, with respect to the quantities of chromium and copper, these can be mitigated by phytoremediation, which makes its use viable.

With the favorable results obtained, a stated thickness of 15 cm was obtained based on the minimum requirements of the MTC manuals of unpaved roads.

Finally, it was necessary to establish how feasible it is to transport the EAFS to road projects. To do so, we compared the purchase and transportation prices of a conventional aggregate with respect to the transportation of the slag, since these would be priceless when granted by CAASA. An optimum transport radius of 50 km was obtained taking the CAASA steel factory in Pisco as a midpoint. While this radius could be extended, it will depend on the location of the road project, as well as the distance from the nearest conventional supplier or quarry.

Keywords: EAFS; black slag; unpaved roads; steel waste.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	GENERALIDADES	3
2.1	ANTECEDENTES.....	3
2.2	PROBLEMÁTICA.....	4
2.3	IMPORTANCIA.....	6
2.4	FUNDAMENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	7
2.5	HIPÓTESIS.....	12
2.6	OBJETIVOS.....	12
2.6.1	Objetivo General.....	12
2.6.2	Objetivos Específicos.....	13
2.7	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	13
2.8	SOLUCIÓN.....	14
2.9	JUSTIFICACIÓN.....	14
2.10	METODOLOGÍA.....	15
3	MARCO TEÓRICO.....	16
3.1	DEFINICIONES.....	16
3.1.1	Mermas de la industria del acero.....	16
3.1.1.1	Caracterización Física de Escorias Negras.....	18
3.1.1.2	Caracterización química de las EAFS	20
3.1.2	Afirmado y Normativas.....	21
3.1.2.1	Norma técnica E.050 suelos y cimentaciones	21
3.1.2.2	Manual de Ensayo de Materiales.....	21
3.1.2.3	Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.....	22
3.1.2.4	Manual de Carreteras de Conservación Vial	22
3.1.2.5	Ensayos a realizar según métodos de ensayo ASTM	23
3.1.3	Contexto de obras viales rurales.....	24
3.2	INVESTIGACIONES RELACIONADAS AL USO DE ESCORIAS NEGRAS.....	24
3.2.1	Uso en suelos agrícolas.....	24
3.2.2	Uso de EAFS como material de construcción.....	26
3.2.3	Producción de cemento portland en base a EAFS.....	29

3.2.4	Uso de EAFS como agregado de concreto.	31
3.3	ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	32
3.4	PRUEBAS DE LABORATORIO EN AFIRMADOS.	36
3.4.1	Análisis granulométrico por tamizado.	37
3.4.2	Límites de Atterberg.	40
3.4.2.1	Límite líquido.	41
3.4.2.2	Límite plástico.	44
3.4.2.3	Índice de plasticidad.	46
3.4.3	Contenido de humedad natural.	47
3.4.4	Ensayo de valor de impacto en el agregado (VIA).	48
3.4.5	Ensayo de Proctor modificado.	50
3.4.6	Ensayo de densidad de campo por el método de cono de arena.	52
3.4.7	Ensayo CBR.	54
3.4.8	Ensayo de corte directo en condiciones consolidado drenado.	57
3.5	MÉTODOS DE DISEÑO DE ESPESOR DE CAPA PARA AFIRMADOS.	59
3.5.1	Método AASHTO 1993.	59
3.5.2	Método de Dakota del Sur.	63
	Fuente: AASHTO	64
3.5.3	Parámetros mínimos establecidos por el MTC para espesores de capa, para vías afirmadas de bajo tránsito.	64
3.5.4	Capacidad de carga por Brinch Hansen 1970.	65
4	ESTADOS DEL ARTE DEL USO DE RESIDUOS DE ACERO EN OBRAS VIALES	67
4.1	ESTADOS DEL ARTE DE PARÁMETROS DE RECICLAJE DE LAS MERMAS DE ACERO..	67
4.2	ESTADOS DEL ARTE DE PARÁMETROS PRELIMINARES DE DISEÑO SEGÚN MTC.....	71
4.3	ESTADOS DEL ARTE SOBRE LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL CON EL USO DE ESCORIAS NEGRAS.	74
4.4	ESTADO DEL ARTE DEL IMPACTO AMBIENTAL SOBRE ESCORIAS NEGRAS.....	77
5	ANÁLISIS DE DISEÑO Y ENSAYOS CON EL USO DE ESCORIAS NEGRAS PARA AFIRMADOS EN CAMINOS RURALES	82
5.1	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.	82

5.2	RESULTADOS DE ENSAYOS QUÍMICOS SOBRE LAS ESCORIAS NEGRAS PARA OBTENER LAS CANTIDADES EN PPM DE ELEMENTOS METÁLICOS QUE COMPONEN LA ESCORIA DE ACUERDO A RANGOS ADMISIBLES PARA SU USO EN VÍAS AFIRMADAS.	83
5.3	MODELO DE DISEÑO EXPERIMENTAL DE ESPESOR DE CAPA DE UNA VÍA AFIRMADA EN ZONAS RURALES USANDO LA ESCORIA NEGRA.	94
5.4	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS REALIZADOS SOBRE LA ESCORIA NEGRA DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS DEL MTC PARA VÍAS AFIRMADAS.	100
5.4.1	Resultados de ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado para escorias negras.	100
5.4.2	Resultado de ensayos por Límites de consistencia (Atterberg).	112
5.4.3	Proctor modificado tipo B.	116
5.4.4	Ensayo para la determinación el Valor de Impacto en el agregado. (VIA)...	122
5.4.5	Determinación de la Densidad de Campo.	125
5.4.6	Ensayo de CBR. sobre la escoria negra.	128
5.5	MODELO DE DISEÑO EXPERIMENTAL DE ESPESOR DE CAPA DE AFIRMADO USADO ESCORIAS NEGRAS.	135
5.5.1	Calculo de espesor de afirmado por el método AASHTO 1993.	136
5.5.2	Calculo de espesor de afirmado por el método Dakota del Sur.....	138
5.5.3	Consideraciones del manual EG-2013.	141
5.6	CAPACIDAD PORTANTE DEL AFIRMADO CON USO DE ESCORIAS NEGRAS.	141
5.7	CONCLUSIONES DEL MODELO DE DISEÑO EXPERIMENTAL DE ESPESOR DE CAPA DE UNA VÍA AFIRMADA EN ZONAS RURALES USANDO ESCORIA NEGRA.....	145
5.8	ANÁLISIS DE COSTO DE UTILIZAR ESCORIAS NEGRAS EN REEMPLAZO DEL HORMIGÓN O GRAVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS AFIRMADAS DE BAJO TRÁNSITO EN ZONAS RURALES.	146
5.9	CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE VÍAS AFIRMADAS DE BAJO TRÁNSITO EN ZONAS RURALES UTILIZANDO ESCORIAS NEGRAS.	149
6	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	151
6.1	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.	151
6.2	CONCLUSIONES.....	174
6.3	RECOMENDACIONES.	176

6.3.1	Recomendaciones para la extracción de escorias negras para ser usadas en futuras investigaciones.	177
7	BIBLIOGRAFÍA	179
	ANEXOS.....	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos sobre la cantidad de infraestructura vial que falta en el Perú.....	8
Tabla 2 Distribución de la brecha de infraestructura 2016-2025.Plan Nacional de Infraestructura 2016-2025.	9
Tabla 3 Producción de acero crudo a nivel mundial.	10
Tabla 4 Resultados de ensayos según normas ASTM en escorias negras.	18
Tabla 5 Concentración de elementos metálicos en las escorias (LAB. JRAMON).	20
Tabla 6 Ensayos de mecánica de suelos y método de ensayo.	23
Tabla 7 Composición química porcentual típica de los principales componentes de escorias.	25
Tabla 8 Incremento porcentual de producción de maíz con adiciones de escorias negras..	26
Tabla 9 Incremento porcentual de producción de trigo con adiciones de escorias negras..	26
Tabla 10 Factibilidad económica con usos de EAFS en cemento.	27
Tabla 11 Factibilidad económica con usos de EAFS en arena.	28
Tabla 12 Factibilidad económica con usos de EAFS en gravilla.	28
Tabla 13 Resistencia la compresión en mortero con escorias negras.	30
Tabla 14 Comparación entre HCE y HACE.....	32
Tabla 15 Tabla de tamices necesarios para el ensayo de análisis granulométrico.	38
Tabla 16 Tamaño máximo de partículas.....	39
Tabla 17 Tabla de volumen y profundidad mínima a excavar según tamaño de partícula en el ensayo de densidad por método de cono de arena.	54
Tabla 18 Cuadro de regiones climáticas para espesor de afirmado método AASHTO.....	59
Tabla 19 Calidad relativa del suelo de subrasante método AASHTO.	61
Tabla 20 Nivel de transito AASHTO	61
Tabla 21 Tabla de espesor de capa de afirmado método AASHTO.....	62
Tabla 22 Cuadro para calcular el espesor, método AASHTO.....	63
Tabla 23 Características Básicas para la superficie de rodadura de los caminos de bajo volumen de tránsito.	64
Tabla 24 Especies químicas susceptibles a producir expansión.....	69
Tabla 25 Franja granulométrica para afirmado tipo 1.	71
Tabla 26 Ensayos para afirmado según MTC, ASTM y AASHTO.	72
Tabla 27 Aspectos e impactos ambientales.	79
Tabla 28 Concentración de elementos metálicos en EAFS.	84

Tabla 29 Concentración de elementos metálicos.	86
Tabla 30 Comparación de elementos metálicos presentes en las escorias negras.	87
Tabla 31 Función biología y toxicidad de metales pesados. Hagedorn, 1996.	88
Tabla 32 Rangos de contenidos de metales pesados en los suelos.	89
Tabla 33 Cromo IV presente en escorias.	90
Tabla 34 Estándares de Calidad ambiental para el suelo.	91
Tabla 35 Fitorremediación de Cromo IV, Diferentes eficiencias según especie.	92
Tabla 36 Cuadro de regiones climáticas para espesor de afirmado método AASHTO.	95
Tabla 37 Calidad relativa del suelo de subrasante método AASHTO.	96
Tabla 38 Nivel de transito método AASHTO.	97
Tabla 39 Tabla de espesor de capa de afirmado método AASHTO.	97
Tabla 40 Cuadro para calcular el espesor, método Dakota del Sur.	99
Tabla 41 Análisis mecánico por tamizado muestra 1.	101
Tabla 42 Análisis mecánico por tamizado muestra 2.	103
Tabla 43 Análisis mecánico por tamizado muestra 3.	105
Tabla 44 Análisis mecánico por tamizado muestra 4.	107
Tabla 45 Análisis mecánico por tamizado muestra 5.	109
Tabla 46 Análisis granulométrico de escoria negra con agregado fino en relación de 9:1.	111
Tabla 47 Datos de ensayo de Proctor modificado tipo B.	118
Tabla 48 Resumen de muestras usadas para los ensayos de proctor modificado tipo B.	118
Tabla 49 Resumen de datos obtenidos en el ensayo de Proctor modificado tipo B.	119
Tabla 50 Cuadro de datos ensayo de VIA.	123
Tabla 51 Cuadro de contenido de humedad ensayo densidad de campo.	126
Tabla 52 Soporte California CBR.	129
Tabla 53 Relación de soporte California y contenido de humedad de la muestra 1.	129
Tabla 54 Relación de soporte California y contenido de humedad de la muestra 2.	131
Tabla 55 Expansión y penetración de la muestra 2.	131
Tabla 56 Relación de soporte California y contenido de humedad de la muestra 3.	133
Tabla 57 Expansión y penetración de la muestra 3.	133
Tabla 58 Tabla de regiones climáticas método AASHTO.	136
Tabla 59 Tabla calidad relativa del suelo de subrasante método AASHTO.	137
Tabla 60 Nivel de transito método AASHTO.	137

Tabla 61 Espesor de afirmado método AASHTO	138
Tabla 62 Espesor de afirmado método Dakota del Sur	139
Tabla 63 Características Básicas para la superficie de rodadura de los caminos de bajo volumen de tránsito	140
Tabla 64 Espesor de carretera en base a escoria negra.....	141
Tabla 65 Cuadro de datos ensayo de corte directo	143
Tabla 66 Capacidad de carga admisible de EAFS	144
Tabla 67 Distancias de viabilidad para uso de escorias negras en afirmados en zonas rurales	147
Tabla 68 Resumen de Resultados.....	151
Tabla 69 Tabla Comparativa de composición mineral de las Escorias Negras	152
Tabla 70 Estándares de calidad para usos de suelos.....	153
Tabla 71 Resultado de contenido de Cromo VI en escorias negras	153
Tabla 72 Alternativas de Fitoremediación para Cr VI.	155
Tabla 73 Resumen de ensayo de granulometría sobre la mezcla de EN:AF.	156
Tabla 74 Resultados de ensayo de granulometría sobre la mezcla de EN:AF expresado en módulos de granulometría.	164
Tabla 75 Resultados de contenido de humedad natural en % en muestras de mezcla EN:AF.	166
Tabla 76 Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado tipo B Norma. ASTM D1557.	168
Tabla 77 Resultados de ensayo C.B.R. sobre mezcla de EN:AF al 100% DMS y 0.1" penetración de carga.	169
Tabla 78 Resultados de ensayo de Valor de Impacto al Agregado.	171
Tabla 79 Características básicas para la superficie de rodadura de los caminos de bajo volumen de tránsito.	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción anual de acero en el Perú.	11
Figura 2. Tiempo de fraguado en morteros con escorias negras. Estudios mecánicos en morteros con adiciones de escoria negra.	30
Figura 3. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica.	34
Figura 4. Elementos químicos que pueden ser hallados por la espectrometría de absorción atómica.....	35
Figura 5. Reducción porcentual de cromo IV a pH inicial = 10 y con camucamu de 2 equivalentes de a. ascórbico. Cuadro. % reducción de cromo VI vs Tiempo en minutos... 93	
Figura 6. Muestra 1 de escoria negra ya tamizada.	101
Figura 7. Curva granulométrica muestra 1.	102
Figura 8. Muestra 2 de escoria negra ya tamizada.	102
Figura 9. Curva granulométrica muestra 2	104
Figura 10. Muestra 3 de escoria negra ya tamizada.	104
Figura 11. Curva granulométrica muestra 3.	106
Figura 12. Muestra 4 de escoria negra ya tamizada.	106
Figura 13. Curva granulométrica muestra 4.	108
Figura 14. Muestra 5 de escoria negra ya tamizada.	108
Figura 15. Curva granulométrica muestra 5.	110
Figura 16. Curva granulométrica de escoria negra con agregado fino en relación 9:1.	110
Figura 17. Instrumentos para ensayo de límites de Atterberg.	113
Figura 18. Muestras de escoria para ensayo de límites de Atterberg.	114
Figura 19. Colocación de muestra en aparato Casa Grande.	114
Figura 20. Muestra sobresaturada.....	115
Figura 21. Muestra ya ensayada en aparato Casa Grande.	115
Figura 22. Curva de densidad máxima seca de las muestras ensayadas para Proctor modificado tipo B.	119
Figura 23. Curva de máxima densidad seca de acuerdo a ensayo de Proctor modificado tipo B en laboratorio.	120
Figura 24 .Escoria respectivamente cuarteada para ensayo Proctor.....	120
Figura 25. Molde de Proctor con muestra 1	121
Figura 26. Molde de Proctor con muestra 2	121
Figura 27. Molde de Proctor con muestra 3	121

Figura 28. Molde de Proctor con muestra 4	121
Figura 29. Muestra 1 con aparato de prueba de VIA.....	124
Figura 30. Material después de ensayo de VIA muestra 1.	124
Figura 31. Muestra 2 con aparato de prueba de VIA.....	124
Figura 32. Material después de ensayo de VIA muestra 2.	124
Figura 33. Muestra 3 con aparato de prueba de VIA.....	125
Figura 34. Material después de ensayo de VIA muestra 3.	125
Figura 35. Muestra compactada y nivelada lista para ser ensayada.	127
Figura 36. Proceso de recolección de muestra dentro del plato base	127
Figura 37. Hueco terminado listo para proceder a verter la arena.....	127
Figura 38. Calibración del cono de arena	127
Figura 39. Cono de arena sobre el plato base relleno con arena.....	127
Figura 40. Excavación con los restos no recuperables de arena.....	127
Figura 41. Resultados de CBR en la muestra 1	130
Figura 42. Resultados de CBR en la muestra 2.	132
Figura 43. Resultados de CBR en la muestra 3.	134
Figura 44 . Determinación de CBR muestra 1.....	135
Figura 45. Determinación de CBR muestra 2.....	135
Figura 46. Determinación de CBR muestra 3.....	136
Figura 47. Ensayo de corte directo en escoria negra.	142
Figura 48. Elaboración Propia, Radios de factibilidad económica para el uso de EAFS..	148
Figura 49. Metales pesados encontrados en EAFS en partículas por millón.	154
Figura 50. Metales pesados encontrados en EAFS en partículas por millón	154
Figura 51. Contenido de cromo trivalente y hexavalente encontrado en las partículas de cromo dentro de las EAFS.....	155
Figura 52. % Material que pasa la malla 1" (25 mm).....	157
Figura 53. % Material que pasa la malla 3/4" (19 mm).....	158
Figura 54. % Material que pasa la malla 3/8" (9.5 mm).....	159
Figura 55. % Material que pasa la malla Nro. 10 (2.00 mm).	161
Figura 56. % Material que pasa la malla Nro. 40 (425 um).	162
Figura 57. % Material que pasa la malla Nro. 200 (75 um).	163
Figura 58. Historial de módulos granulométricos de mezcla EN:AF.....	164
Figura 59. Resultados de ensayo de limite liquido sobre EAFS.	165

Figura 60. Grafica % humedad natural en mezcla de EN:AF.	167
Figura 61. Curva Densidad Seca vs % Humedad Proctor modificado.	168
Figura 62. Resultados de ensayo C.B.R. en kg/cm2.....	169
Figura 63. Resultados de ensayo C.B.R. en %.	170
Figura 64. Resultados de ensayo de Valor de Impacto al Agregado.	171

1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería busca satisfacer las diferentes necesidades humanas mediante el mejoramiento y la innovación de herramientas y técnicas. Así como el arte para perfeccionar nuevos procedimientos en la industria y otros campos científicos. Dentro de esta se ven involucradas diferentes aplicaciones en la tecnología, construcción de diversas edificaciones, estudios científicos, etc. Este gran campo de conocimientos involucra la ingeniería civil, la cual emplea conocimientos con respecto a calculo, diseño, física, estadística, estática, hidráulica, estudio de suelos, diversos softwares, construcción de infraestructuras, así como su propio mantenimiento, esto desemboca en la aplicación de diversas ramas que en conjunto definen a un ingeniero civil, tales como áreas de transporte, gestión, geotecnia, estructuras, pavimentos, hidráulica y construcción. Sin embargo, para interés de la tesis a desarrollar, esta se embarcará en el rubro de la construcción y aportes mínimos de otras áreas. Esta rama implica el estudio de diversas normas, así como de constantes actualizaciones para poder obtener construcciones civiles que en lo esperado no fallen, y colapsen, no obstante, todas las áreas están enlazadas.

En el transcurso de dos ciclos académicos, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, se busca obtener un trabajo académico que resuelva parte de la problemática actual que vive el sector de la construcción, así como sus contribuyentes y proveedores, la falta de caminos afirmados, explotación de canteras y la falta de manejo de los residuos de la industria del acero. En lo particular al tema de tesis, como esta problemática se ve reflejada en los tramos de carreteras no afirmadas, así como los diversos factores que tienen que ser estudiados a profundidad para poder obtener resultados óptimos y estos puedan contribuir no solo con el desarrollo personal de los tesisistas, sino también con el desarrollo del país. Por otro lado, se plantea realizar el tema de tesis en sectores sin investigación aparente, el cual vendría a ser zonas rurales del país. Además de darle un nuevo uso a los residuos de la industria siderúrgica, los cuales ya presentan aplicaciones en otras áreas de la construcción, mas no en los especificados de la presente tesis para un contexto previamente mencionado. Uno de los principales residuos elaborados a partir de dicha industria son las escorias negras y blancas, el primer material presenta investigaciones sobre su aporte en caminos, en diversos países europeos y americanos. Por su alto índice de fabricación, 10 a 15 % de escoria negra por tonelada de acero producido (DICYT, 2011), se busca reutilízala estudiando sus propiedades y diversas características. Aunque, si bien se realizaron estudios de este material

en otros diseños aún no se establecieron en la construcción de carreteras sin asfalto, simplemente afirmadas, en el Perú. Frente a las características antes mencionadas y con explicación en el desarrollo de la siguiente tesis se planteó:

“Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras, provenientes de la planta de Aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales”.

De esta investigación se busca establecer un diseño de carretera afirmada mediante el uso de escorias negras, para lo que se hará uso de Normas como la E0.50 de Suelos y Cimentaciones, además de manuales proporcionados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Así mismo indagar en un análisis de capacidad portante para la carretera con características únicas de esta tesis, las cuales cumplirán con la normativa necesaria en la zona a aplicar y para el país, así como los parámetros para cada caso y la viabilidad de usar escorias negras en afirmados, el diseño, y un análisis de cargas portantes.

En conclusión, al observar la problemática en la producción del acero la presente tesis plantea dar un nuevo uso y establecer un aprovechamiento para las escorias negras producto de la industria siderúrgica, así como una presentarla como un agregado más en los componentes del firmado. Por otro lado, brindar los resultados favorables del uso de esta carretera y establecer posibles mejoras, mediante el uso de diferentes pruebas en laboratorio normadas y establecidas por el RNE.

2 GENERALIDADES

2.1 Antecedentes.

En el siguiente contexto se busca establecer los usos de escoria negra en otros tipos de construcciones y su respectiva aplicación en ellos, resultados obtenidos, así como las conclusiones en cada caso.

Algunos estudios realizados con la experimentación y manejo de residuos de la industria del acero:

- El estudio realizado por López y otros en el 2004, Madrid, Posibilidades sobre el uso de residuos de la industria del acero en la eliminación de metales de efluentes líquidos, realiza un estudio sobre la capacidad que tienen la cascarilla de laminación para retener ciertos iones metálicos, los cuales se encuentran en una solución acuosa.
- Otra investigación enfocada al tema de residuos de la industria del acero es, Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno de arco eléctrico, elaborado por Frías, Sánchez y Uría en el 2002. Busca diferentes vías para su reutilización mediante: La posibilidad de reutilizar estos subproductos industriales en el sector de la construcción se basa en su posible inestabilidad volumétrica, debido a la presencia de ciertos compuestos no deseados.
- Por otro lado, se puede ver la aplicación de la merma en el concreto como, análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco. Esta investigación, organizada por Parra y Sánchez en el 2010, se enfocan en el análisis técnico, comercial y financiero del aprovechamiento de las escorias negras.

Como se puede observar se emplean diversos usos y aplicaciones a los residuos de la industria del acero. En la actualidad, aun se buscan otros métodos de aplicación para resolver los diversos problemas ambientales, tecnológicos, etc.

Existe una tesis doctoral, elaborada por Vanesa Ortega, orientada a la aplicación de los residuos de la industria del acero en estabilización de suelos y capas firmes de caminos rurales, Burgos España. Una aplicación referida al tema de tesis planteada por Ortega.

“Se ha estudiado las propiedades de la escoria negra de horno eléctrico de arco EAFS y se ha comprobado que se trata de un subproducto con muchas semejanzas a una zahorra

artificial. Se plantean en la Tesis diferentes opciones para que EAFS sean utilizadas con éxito en las formaciones de capas del firme.” (ORTEGA, 2011)

Si bien no se busca usar el trabajo elaborado por la tesis mencionada, se puede referenciar diversas características, usos, normas, aplicaciones, etc. en nuestra realidad, la cual se caracteriza por un contexto en zonas rurales.

Se quiere enfocar el uso de la escoria negra por sus características y su adaptabilidad a caminos.

Por otro lado, es necesario obtener información adicional sobre normativas en el Perú, así como posibles medidas que se requieran para su respectiva aplicación.

La normativa española referente a caminos rurales es escasa y confusa, por lo que tenemos que ajustarnos a la normativa existente para carreteras con baja intensidad de tráfico y a la normativa americana más desarrollada en esta área. (ORTEGA, 2011, pg. 332).

2.2 Problemática.

"El Perú es un país emergente económicamente, después de sufrir catástrofes económicas, como la hiperinflación del primer gobierno aprista comprendido entre los años 1985 y 1990” (El Comercio, 2011), aun continuamos recuperándonos económicamente. Este crecimiento es posible gracias a que el Perú es un país productor de materias primas esenciales para la industria y sociedad humana (Banco Mundial, 2016). En consecuencia, a este crecimiento económico, el país mejoro su infraestructura mediante una mejor organización económica, que influyo en el incremento de obras civiles para la población como construcción de vías de comunicación y entre otros aspectos positivos que obtuvo el país gracias a su crecimiento económico.

El sector de la construcción no se quedó atrás frente al crecimiento económico del país, ya que en el año 2004 el Perú experimento un “boom del sector de la construcción”, en el cual se realizaban todo tipo de obras civiles en gran cantidad. Pero “a través de los últimos años este gran incremento tuvo altibajos afectando a todas las obras civiles en general” (El Comercio, 2015).

Parte del incremento de obras civiles tuvieron como objetivo a las carreteras, las cuales son el medio de conexión con mayor influencia en nuestro país. Aun cuando el Perú experimento

el incremento de obras civiles a lo largo de todo su territorio, hoy en día queda mucho por hacer, aún existen comunidades alejadas de las grandes ciudades que no cuentan con vías terrestres de comunicación, adecuadas para fomentar el comercio o el transporte de bienes que requiere la población de los sectores (Perú 21, 2014). El déficit que presenta actualmente la brecha de infraestructura vial, no permite un óptimo desarrollo económico y social de los sectores alejados. Las carreteras al tener la prioridad como vías de conexión necesitan abarcar grandes distancias, por lo que es necesario tener los recursos suficientes para su implementación. A continuación, algunos testimonios de la problemática que aqueja la falta de caminos:

- Según la ley de Bases de la Descentralización (27783) los gobiernos regionales son los responsables de la red vial para sus departamentos. Sin embargo, las instituciones se centran en rehabilitar los caminos afectados constantemente por fenómenos naturales, que construir vías nuevas (AFIN, 2015).
- El director regional de transportes en Piura, Jaime Saavedra, reconoce la poca inversión realizada. Señala que solo para hacer mantenimiento de las vías es necesario de s/.66 millones de soles, dinero que no posee el gobierno regional (AFIN, 2015).
- El ex gerente de infraestructura en La Libertad, Álvaro Bazán, indica que provincias como Bolívar o Pataz se encuentran casi aisladas por falta de vías terrestres. Además, estimo que es necesaria una inversión de s/. 1.200 millones para integrar vialmente a toda la región (AFIN, 2015).

En resumen, de los testimonios, para reducir la brecha de infraestructura e incrementar las vías e conexión para los ciudadanos, se necesita principalmente de financiamiento para la adquisición de materiales.

Enfocándonos en la falta de vías de comunicación terrestre en zonas rurales y el costo que requiere la implementación de vías para estos sectores, específicamente en los materiales de construcción, se plantea el estudio para visualizar la factibilidad del uso de estos desechos de acero o “escoria negra” como material reciclado para la construcción de afirmados, como vías de comunicación terrestre, para dichas zonas del Perú.

2.3 Importancia.

Actualmente nuestro país pasa por un crecimiento muy importante económicamente, a través de los últimos años el PBI del país ha tenido un considerable incremento que tuvo y aún tiene consecuencias positivas en el país ya sea el crecimiento poblacional, se mejora la calidad de vida de todos los peruanos, se construyen más casas, más edificios, más hospitales, más colegios y entre otros, se tiene una mejor calidad de vida en general.

Un factor importante que ayuda a nuestro país para tener este tipo de desarrollo es el factor de la construcción civil, el cual es un gran impulso a nuestra economía ya que genera trabajo, conecta ciudades y brinda techos a los peruanos, pero para poder realizar cualquier tipo de construcción civil se necesitan materiales de construcción ya sean cemento, agregados gruesos (gravas, roca chancada, etc.), agregados finos (arenas, etc.), acero entre otros, estos materiales provienen de la naturaleza y luego son procesados de acuerdo a lo que se requiera para darle un uso final y crear un producto. Entre los materiales más usados para la construcción tradicional en el Perú se encuentra el acero grado 60 para la construcción, actualmente el Perú cuenta con dos grandes productoras y distribuidoras de aceros que son SIDER PERU y ACEROS AREQUIPA, este último produce alrededor de 1.4 millones de toneladas de acero al año aproximadamente, la cual es una suma importante de producción de un material pero como es sabido cualquier producción o transformación de materia genera desperdicios durante sus procesos.

Los residuos generados por la industria siderúrgica son varios dependiendo del producto que se esté fabricando, en nuestro caso de estudios analizamos los residuos provenientes de la fabricación de acero grado 60, para la construcción, que vienen a ser las escorias negras, estas escorias son residuos minerales no metálicos que son producto de la fundición de la chatarra y otros materiales involucrados en la fabricación de acero, actualmente la planta de Aceros Arequipa tiene más de 250 mil toneladas almacenadas de este residuo, sin darle un uso productivo o uso alternativo que las aproveche y estas se siguen acumulando; aquí radica nuestra problemática ya que se busca darle un uso productivo a estas escorias almacenadas que ayuden a impulsar la industria de la construcción civil y que a su vez nos permita manejar estos residuos de una manera no contaminante y reducir la explotación de canteras naturales.

La importancia del caso de estudio recae sobre la necesidad de implementar vías de comunicación terrestres, en zonas rurales del Perú, y esto será posible al poder utilizar las escorias, resultado de la producción del acero, en la construcción de carreteras afirmadas.

Asimismo, el poder obtener una sustentabilidad ambiental y en uso alternativo de recursos para desarrollar proyectos sobre los cuales se permitan alternativas para poder reciclar los residuos provenientes de la producción o fabricación de materiales de construcción, como se mencionó antes la industria siderúrgica al producir productos de gran necesidad para el desarrollo de proyectos de construcción a su vez genera residuos los cuales no son reutilizados o reaprovechados de tal manera de que se integren con el ambiente de una manera amigable o bien que sirvan como reemplazo para materiales naturales como gravas o agregados gruesos. Es aquí donde ingresan las escorias negras productos residuales de la industria siderúrgica que utiliza el horno de arco eléctrico para la fabricación de acero para la construcción, es importante estudiar diferentes usos para estos residuos ya que al ser no contaminantes e inocuos frente al medio ambiente proveen una amplia gama de posibilidades de uso en la industria de la construcción civil peruana que aún desconoce sus propiedades y beneficios.

2.4 Fundamentación de la problemática.

En el Perú se dio un gran avance en la construcción de vías de transporte, más aún se dan incrementos de localidades y comunidades, pero para llegar a estas es necesario establecer carreteras. En comparación a años anteriores se han ido incrementado el número de carreteras, frente a ello se puede ver que hay un gran interés por parte de las autoridades competentes a incrementar las vías de acceso para los peruanos.

Tabla 1

Datos sobre la cantidad de infraestructura vial que falta en el Perú.

EL GRAN SALTO EN EL ASFALTADO DE LAS CARRETERAS NACIONALES

REGIÓN	RED VIAL NACIONAL (RVN) PAVIMENTADA					
	A JULIO DE 2011		A DICIEMBRE DE 2014		A JULIO DE 2016 (proyectada)	
	km	%	km	%	km	% (*)
AMAZONAS	311	36,6	645	75,8	852	100,1
ÁNCASH	803	50,5	975	61,3	1160	73,0
APURÍMAC	288	26,0	680	61,4	793	71,5
AREQUIPA	958	67,5	1080	76,1	1215	85,6
AYACUCHO	423	31,5	1262	93,9	1677	124,8
CAJAMARCA	578	36,4	1225	77,1	1409	88,7
CALLAO	13	100,0	38	288,6	38	288,6
CUSCO	798	43,8	1190	65,3	1217	66,8
HUANCAVELICA	280	22,8	818	66,6	1195	97,4
HUÁNUCO	400	50,8	552	70,2	753	95,8
ICA	546	87,4	588	94,2	693	111,0
JUNÍN	716	62,6	934	81,7	991	86,6
LA LIBERTAD	486	39,1	624	50,1	642	51,6
LAMBAYEQUE	363	77,7	447	95,6	451	96,4
LIMA	1000	69,9	1142	79,8	1226	85,7
LORETO	43	49,0	43	49,0	88	100,0
MADRE DE DIOS	398	99,6	399	100	399	100,0
MOQUEGUA	441	92,6	470	98,8	470	98,8
PASCO	137	24,2	273	48,4	365	64,6
PIURA	908	74,7	1103	90,8	1489	122,5
PUNO	1153	63,1	1396	76,4	1459	79,8
SAN MARTÍN	510	60,1	697	82,1	750	88,4
TACNA	455	71,9	471	76,4	544	86,1
TUMBES	138	100,0	138	100,0	138	100,0
UCAYALI	212	95,8	221	99,8	222	100,0
PERÚ	12 358 km	53,6%	17 411 km	75,5%	20 235 km	87,7%

(*) Los porcentajes mayores a 100% obedecen a que en este periodo (julio 2011 a la fecha) se han reclasificado nuevas rutas, de departamentales a nacionales.

Nota: porcentaje de la RVN pavimentada a la fecha = Km RVN pavimentada a la fecha / Km RVN existente a julio de 2011.

MTC

Datos sobre la cantidad de infraestructura vial que falta en el Perú

Fuente: MTC

Si bien el país ha crecido económicamente en los últimos años y en consecuencia a esto se fue incrementando la construcción de proyectos de infraestructura a nivel nacional, existe una brecha de desarrollo en los diferentes rubros, de los cuales el que presenta un mayor porcentaje viene a ser el transporte, principalmente el área de carreteras. Según el estudio elaborado por la Universidad del Pacífico hace falta \$ 57,499.00 M para regular la brecha existente en transporte entre el 2016 al 2025, del cual la suma de \$31,850.00 M se enfoca al sector de carreteras con un 15% del monto total. En relación a esto existe una falta de vías de comunicación en zonas rurales, pero lo cual la presente investigación busca brindar una opción en base a la utilización de residuos siderúrgicos.

Tabla 2

Distribución de la brecha de infraestructura 2016-2025. Plan Nacional de Infraestructura 2016-2025.

**Distribución de la brecha de infraestructura
2016-2025
(En millones de dólares)**

Rubro	Monto	%
Agua y saneamiento	12,252.00	7.68%
Telecomunicaciones	27,036.00	16.95%
Transporte	57,499.00	36.04%
Energía	30,775.00	19.29%
Salud	18,944.00	11.87%
Educación	4,568.00	2.86%
Infraestructura Hidráulica	8,477.00	5.31%
Total	159,551.00	100.00%

Brecha del sector Transportes

Sector	monto de la brecha (U.S. mill)
Ferrocarriles	16,983.00
Carreteras	31,850.00
Aeropuertos	2,378.00
Puertos	6,287.00
Total	57,498.00

Datos sobre la brecha en la infraestructura del Perú

Fuente: AFIN

Al tener presente la importancia de la reutilización y reciclaje de residuos de las diferentes industrias en nuestro caso de estudio, de la industria siderúrgica ya que, como se mencionó anteriormente, anualmente se producen grandes cantidades de acero de las cuales el 20% aproximadamente desembocan en residuos que terminan siendo almacenados sin ningún uso productivo, es necesario proponer alternativas que presentan soluciones al desuso de las escorias negras para ello nos basamos en soluciones extranjeras, las cuales proponen soluciones a esta problemática de manera concisa y realizable, por ello la presente tesis sustenta la problemática de la acumulación de las escorias negras producto de la fabricación de acero de construcción y propone su uso como agregado o material de construcción para la realización de afirmados en zonas rurales en donde no existan caminos de calidad. (Ver anexo 1)

Tabla 3

Producción de acero crudo a nivel mundial.

EL PERU EN EL MUNDO								
PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2015								
Miles de Toneladas Métricas								
	Pais	Miles TM		Pais	Miles TM		Pais	Miles TM
1	China	803,830	21	Sudáfrica	7,614	41	Colombia	1,224
2	Japón	105,152	22	Bélgica	7,219	42	Chile	1,110
3	India	89,582	23	Holanda	6,995	43	Perú	1,086
4	EEUU	78,916	24	Arabia Saudi	5,662	44	Grecia	1,067
5	Rusia	71,114	25	Egipto	5,506	45	Serbia	955
6	Corea	69,673	26	Rep. Checa	5,262	46	Bosnia-Herzeg.	819
7	Alemania	42,678	27	Argentina	5,028	47	Nueva Zelanda	793
8	Brasil	33,245	28	Australia	4,925	48	Ecuador	723
9	Turquia	31,517	29	Eslovaquia	4,562	49	Uzbekistán	637
10	Ucrania	22,933	30	Suecia	4,376	50	Bulgaria	623
11	Italia	22,022	31	Finlandia	3,988	51	Eslovenia	604
12	Taiwán	21,482	32	Tailandia	3,673	52	Noruega	578
13	México	18,261	33	Kazajstán	3,554	53	Marruecos	516
14	Irán	16,110	34	Emir. Arabes	3,006	54	Moldavia	445
15	Francia	14,984	35	Pakistán	2,907	55	Guatemala	398
16	España	14,875	36	Bielorrusia	2,615	56	Libia	352
17	Canadá	12,453	37	Qatar	2,593	57	Trin. Tobago	311
18	Reino Unido	10,860	38	Luxemburgo	2,129	58	Cuba	275
19	Polonia	9,106	39	Hungria	1,675	59	Croacia	127
20	Austria	7,691	40	Venezuela	1,346	60	Macedonia	121
Fuente: World Steel Association				Elaboración: Desarrollo Peruano				

Producción de Acero por miles de toneladas, el Perú tiene un 43° lugar

Fuente: World Steel Association

- En promedio el Perú presenta una producción un total de 973.57 miles de toneladas métricas de acero al año
- En valores de escoria se presenta un promedio de 15%, equivalente a 146.04 miles de toneladas métricas de EAFS al año.

En la Siguiende Grafica se presentará la producción anual de acero en el Perú desde el 2009 al 2015, según registro del World Steel Association.

Figura 1. Producción anual de acero en el Perú.

Fuente: Elaboración Propia, según datos del WSA.

Por otro lado, con el fin de respaldar la investigación se tienen antecedentes del uso de las escorias en aplicaciones de ingeniería. Dichas aplicaciones son enfocadas en un entorno internacional y con un contexto para cada caso que serán citadas de la sección “Antecedentes” de la presente tesis.

En la tesis doctoral de Vanesa Ortega enfocada a la aplicación de los residuos de la industria del acero en estabilización de suelos y capas firmes de caminos rurales, para Burgos España. Una aplicación referida al tema de tesis planteada por Ortega.

Se ha estudiado las propiedades de la escoria negra de horno eléctrico de arco EAFS y se ha comprobado que se trata de un subproducto con muchas semejanzas a una zahorra artificial. Se plantean en la Tesis diferentes opciones para que EAFS sean utilizadas con éxito en las formaciones de capas del firme. (ORTEGA, 2011)

Además, en el artículo de “Valorización de escorias de acería en la construcción de pistas forestales”, se menciona que el uso de concreto u otros materiales similares de construcción resulta inviable en vías forestales por motivos de presupuesto, por dicha práctica se recurre al aprovechamiento de subproductos y residuos procedentes de otros sectores. Por otro lado, los aspectos medioambientales que se mencionan dentro del artículo, sobre las EAFS, indica que estas se clasifican como residuos no tóxicos ni peligrosos. Dentro de los estándares de entidades como el Catálogo Europeo de Residuos o la legislación estatal de la CAPV las

escorias de acería están clasificadas como residuo industrial inerte. Esta clasificación es respetada los términos de definición de residuo inerte de la Directiva 1999/31 relativa al vertido de residuos, debido a que las escorias de acería presentan las siguientes cualidades:

- No experimentar transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.
- No ser solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables.
- No presentan un impacto negativo a otras materias que se encuentren en contacto, de manera que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana.

2.5 Hipótesis.

El número de vías de comunicación terrestres y calidad de las mismas, en zonas rurales, no satisfacen la demanda que requiere la población residente, frente a tal dilema se plantea usar las escorias negras, producto residual de la fabricación de acero, como material sustituto del agregado grueso en la construcción de vías afirmadas. Para esta finalidad, se quiere plantear un diseño experimental de espesor de una capa de rodadura afirmada tipo I, en zonas rurales de bajo tránsito mediante los parámetros establecidos por el MTC y normativas peruanas. Este diseño permitirá incrementar la construcción de carreteras afirmadas con material reciclado.

2.6 Objetivos.

Investigar la viabilidad del uso de escorias negras como un material más para el uso en la construcción de afirmado, mediante la propuesta de un diseño de pavimento con escorias negras como parte de sus materiales de construcción. Para ello los objetivos de la tesis se dividen en un objetivo general, desarrollado por objetivos específicos que forman el antes mencionado y son los siguientes:

2.6.1 Objetivo General.

Con la finalidad de incrementar el número de carreteras afirmadas, para zonas rurales del Perú, se busca proponer un diseño de afirmado en base a escorias negras como material sustituto, provenientes de la planta de CAASA, y comprobar que dicho diseño se encuentre dentro de los parámetros requeridos por la norma E0.50 del R.N.E. y manuales del MTC.

2.6.2 Objetivos Específicos.

- Encontrar información sobre las características físicas y químicas de las escorias negras, con la finalidad de tener definiciones y antecedentes de investigaciones relacionadas.
- Verificar que las cantidades de elementos químicos que componen las EAFS se encuentren dentro de los estándares del MINAM para zonas rurales, mediante el ensayo de espectrofotometría de absorción atómica. Más si se encuentran cantidades de elementos que superen los parámetros establecidos se procederá con soluciones prácticas que minimicen estas cifras, de ser necesario.
- Comprobar que la escoria negra se encuentre dentro los requerimientos del MTC, para la construcción de vías afirmadas mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado tipo B, valor de impacto sobre el agregado, CBR y densidad de campo.
- Modelar un diseño experimental de afirmado según los métodos de diseño de espesor de afirmado de la norma AASHTO 1993 como Dakota del sur. Así mismo, que los resultados se encuentren bajo los parámetros que impone el MTC como mínimos requeridos para la construcción de vías afirmadas de bajo tránsito en zonas rurales.
- Estimar el costo de utilizar escorias negras en reemplazo de gravas convencionales para la construcción de vías afirmadas en zonas rurales, y cuántos km de vía afirmada se pueden construir con el modelo propuesto y el material disponible en la planta n°2 de CAASA.

2.7 Propuesta de solución.

El aporte de la tesis va de la mano con la propuesta de solución al diseñar una carretera afirmada con uso de escoria negra, para incrementar la construcción de vías.

Además, por la falta de carreteras que enlacen comunidades y por la existencia de escoria negra como material, se quiere promover la construcción de vías terrestres con uso de las mismas escorias negras como agregado.

Por otro lado, se quiere plantear un diseño viable de carretera afirmada con el uso de escorias negras como agregado, al proponer:

- Un considerable impacto ambiental positivo.
- Promover el uso de estos materiales como sustitutos de los diferentes agregados tradicionales.

- Mejorar la comunicación con diversas localidades.

Así mismo aplicar el planteamiento y aplicación de las 3R's

- Reducir el uso de agregados y explotación de canteras; reducir el impacto ambiental negativo que produce la explotación de canteras.
- Reusar las escorias negras (residuo de la industria siderúrgica del acero de construcción).
- Reciclar las escorias negras mediante la realización de un diseño viable de carretera afirmada para ser usada en zonas rurales.

2.8 Solución.

El nuevo diseño planteado servirá para construir más carreteras afirmadas que puedan no solo emplear las escorias negras, si no también generar una mayor comunicación a localidades alejadas y con pocos accesos, lo que a su vez disminuiría el impacto ambiental negativo, generado por las canteras de agregados con la aplicación de las 3R's.

2.9 Justificación.

El Perú al ser un país turístico se toma mucha importancia en brindar siempre una imagen integra y de emprendimiento al mundo, para ello las ciudades que poseen centros turísticos o son capitales del país, en su mayoría, cuentan con todos los elementos estructurales de una sociedad moderna; por otro lado las comunidades alejadas de todas estas localidades de gran concurrencia nacional como internacional, han sido dejadas de lado por el gobierno y la sociedad moderna, estas comunidades tienen muy difícil el progresar especialmente porque todos los centros comunitarios como hospitales, escuelas, entre otros se encuentran muy alejadas de sus localidades y por sobre todo el acceso hacia ellas es muy limitado, con extremos hasta de no contar con una ruta terrestre de tránsito bien definida entre sus hogares y los diferentes institutos básicos.

Se quiere proponer una solución hacia este problema, comprobar que se puede hacer uso de mermas industriales de acero para la construcción de afirmados duraderos y de calidad para conectar a las diferentes localidades y a su vez reducir el impacto ambiental de la industria del acero, ya que La industria del acero genera entre 100 a 300 kg de escoria negra por tonelada de acero trabajado. Parte de ella no tiene un uso alternativo y se dispone en vertederos. Si a esto se une la creciente necesidad social de buscar un desarrollo sostenible y cuidar el medio ambiente, se plantea la cuestión de cómo reutilizar este subproducto del

acero. Como ejemplo en promedio la empresa “Aceros Arequipa” genera 160 000 TM de escoria negra para el 2012 y se espera un incremento a 270 000 TM de escoria negra para el 2021 (CENTRUM PUCP). La escoria es un producto que se obtiene de la fabricación del acero, cuyas características son apropiadas para la construcción de vías y carreteras.

El uso de la Escoria presenta una serie de ventajas como la disminución del consumo de recursos naturales al reducir la explotación de canteras a cambio del uso de un residuo. (RSE, 2012).

2.10 Metodología.

La investigación planteada en esta tesis es netamente experimental, por ende, se realizará mediante pruebas en laboratorios especializados en la rama estudiada. Esto nos dará la seguridad de que los resultados serán de calidad y confianza y, de ser positivos, podrían abrir las puertas a su uso práctico.

Para poder lograr el objetivo y los subobjetivos planteados en esta tesis se realizarán los siguientes pasos:

- Se analizarán los diferentes componentes de un afirmado convencional con el fin de tener todos los datos “base” posibles.
- Se recompilará información sobre las escorias negras, uso y composición, apoyándonos en experiencia internacional.
- Con los datos ya obtenidos se procederá a realizar un modelo de diseño del afirmado incluyendo las escorias negras.
- Con el diseño propuesto, se procederá a realizar las pruebas pertinentes sobre las escorias negras.
- Con los resultados obtenidos se procederá a realizar el diseño del afirmado con uso de escorias negras y la viabilidad de hacer uso de este material.
- Con los análisis en laboratorio realizados se procederá a realizar las conclusiones de los resultados obtenidos y se sabrá si este método constructivo de afirmados es viable, en cuanto a los aspectos antes mencionados, o si no lo es.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Definiciones.

3.1.1 Mermas de la industria del acero.

Las diferentes corporaciones productoras de acero en el Perú, tienen en almacén grandes cantidades de escoria negra, como residuo de su producción continua, en sus diferentes plantas. Con el fin de aprovechar este mineral, y brindar obras de ingeniería civil mucho más eficaces, eficientes y económicas, se plantea usar las escorias negras como sustituto de las gravas convencionales para la construcción de vías afirmadas de bajo tránsito en zonas rurales. Para lograr esta meta se tiene que corroborar las bondades de la escoria negra mediante la aplicación de diversos ensayos físicos y químicos, continuamente verificar sus resultados en primera instancia con normas locales y posteriormente con normas internacionales.

- Describir el proceso de obtención de las Escorias Negras (EAFS) producto de la industria siderúrgica.
- Recopilar información sobre las características físicas de la EAFS en investigaciones pasadas, se procuró investigaciones en el ámbito nacional.
- Posteriormente se recopilará información sobre la composición química que presentan las escorias negras, del mismo modo que en el punto anterior se busca un contexto nacional.

Los residuos de la industria del acero se dividen en 2, los que vienen a ser las escorias blancas y negras: El primer residuo se utiliza generalmente para la compactación de suelos y la escoria negra en caminos, este último fue agregado por el MTC como material para caminos, esta se plantea utilizar en carreteras afirmadas de caminos rurales, en sustitución de zahorras. Por ello, en el texto se compararán las características de EAFS (escoria negra de horno eléctrico de arco) con las de las zahorras artificiales. Para el dimensionamiento de carreteras afirmadas se tienen en cuenta otras consideraciones establecidas en el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Al finalizarse la etapa de fusión y oxidación de la carga en horno eléctrico de arco, que en promedio tienen una duración de 1 hora, se lleva a la siguiente etapa del proceso que es el colado y vaciado del material. Una vez hecho el caldo de acero pasa al horno de cuchara, en el cual será desoxidado, desulfurado y con requerimientos de la composición final del acero.

En consecuencia, la escoria del horno eléctrico de arco (EAFS) es depositada en un contenedor con características adecuadas por la cantidad producida de acero, con respecto al tamaño, este sirve a su vez para el transporte de la merma a un depósito de almacenamiento, en el cual es vertida de manera ordenada.

Por otro lado, las características químicas, físicas y de estructura que presenta la escoria negra como tal, nos permitirá obtener los resultados requeridos en los objetivos de la presente tesis. Para ello, se tuvo en cuenta las caracterizaciones de escoria presentadas por Aceros Arequipa (Geomaster, 2006):

3.1.1.1 Caracterización Física de Escorias Negras.

Tabla 4

Resultados de ensayos según normas ASTM en escorias negras.

PROMEDIOS DE MUESTRAS ANALIZADAS	
ENSAYOS SEGUN NORMAS ASTM	ESCORIAS
Granulometría:	
Fracción Gruesa	96,39
Fracción Fina	3,61
Agregado Grueso	57,10
Agregado Fino	42,90
S.U.C.S	GW
A.A.S.H.T.O	A 1a
Max Densidad Seca gr/cc	2,17
Optimo Cont de Humedad %	5,64
Humedad Natural % :	3,67
Peso Especifico gr/cm3 :	2,67
Absorción % :	4,70
Gravedad Especifica Finos:	3,24
Equivalente de Arena % :	57,62
Limite Líquido	NP
Limite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP
CBR al 95 %	80,56
Abrasión %	31,33
Durabilidad Fino (perdidas%)	1,694
Durabilidad Gruesos (perdidas%)	1,172
pH	10,8
C.E. (dS/m)	7,275
SST (ppm)	4656
Cloruros (ppm)	1331,5
Sulfatos (ppm)	975

Resumen de ensayos realizados sobre las EAFS

Fuente: GEOMASTER a cargo de Aceros Arequipa, 2006.

Según los resultados de la investigación las EAFS son clasificadas como un material de tipo grava arenosa bien gradada tipo GW, con bajo porcentaje de fino, no contiene límites de consistencia, alta resistencia a la penetración, CBR entre 55% a 120%, peso específico de

sus gruesos variables desde escorias blandas a escorias muy duras, las que presentan alto porcentaje de absorción y sin problemas de ataque de sales totales cloruros y sulfatos.

La escoria negra presenta un bajo porcentaje que pasa por el tamiz N° 200, cuyo valor en promedio es menor al 4%, por tal característica el material no presenta una buena compactación entre sus agregados.

En los ensayos se determinó una máxima densidad seca de 2.17 gr/cm³, así como una humedad óptima de 4.6% para una energía de compactación equivalente a su Proctor Modificado, el material presenta una buena resistencia.

Los valores de CBR calculados al 95% de su máxima densidad seca han determinado que el material compactado y en condiciones extremas de saturación alcanza un valor promedio de 80.5% para una penetración de 0.2”.

El suelo no disminuiría su resistencia, ya que las EAFS ante fenómenos de saturación no presentan problemas de expansión.

El peso específico saturado del agregado grueso es muy variable y como promedio se tiene un valor de 2.67 gr/cm³, frente a este resultado el material es calificado como duro.

La gravedad específica del agregado fino es en promedio de 3.24 muy por encima del promedio para cualquier tipo de suelo,

Las EAFS presentan un equivalente de arena promedio que llega a un valor de 57.6%.

No existe riesgo de reducción de resistencia del suelo o ataques al concreto y al acero, ya que los ensayos de sales totales, cloruros, sulfatos, salinidad y PH han dado valores muy por debajo de máximos permisibles para uso como materiales en obras.

El material no llega a presentar límites de consistencia, límite líquido ni límite plástico, esta característica es una deficiencia para la compactación.

3.1.1.2 Caracterización química de las EAFS

Tabla 5

Concentración de elementos metálicos en las escorias (LAB. JRAMON).

Parámetros	Símbolo	Unidad	L.D.	Resultados
Aluminio	Al	mg/Kg	0.9	25.534
Antimonio	Sb	mg/Kg	0.6	4.5
Arsénico	As	mg/Kg	0.54	8.13
Bario	Ba	mg/Kg	0.06	961
Berilio	Be	mg/Kg	0.02	0.95
Bismuto (*)	Bi	mg/Kg	0.8	4.9
Boro	B	mg/Kg	0.2	225.1
Cadmio	Cd	mg/Kg	0.07	9.15
Calcio	Ca	mg/Kg	3	207654
Cerio	Ce	mg/Kg	0.4	17.82
Cobalto	Co	mg/Kg	0.16	11.08
Cobre	Cu	mg/Kg	0.08	260.9
Cromo	Cr	mg/Kg	0.09	1106
Estaño	Sn	mg/Kg	0.3	<1.4
Estroncio	Sr	mg/Kg	0.13	472.7
Fosforo	P	mg/Kg	1.4	1124
Hierro	Fe	mg/Kg	0.6	208713
Litio	Li	mg/Kg	0.7	21.6
Magnesio	Mg	mg/Kg	0.2	49.565
Manganeso	Mn	mg/Kg	0.1	23157
Molibdeno	Mo	mg/Kg	0.75	11.49
Níquel	Ni	mg/Kg	0.29	56.89
Plata	Ag	mg/Kg	0.09	2.5
Plomo	Pb	mg/Kg	0.5	52
Potasio	K	mg/Kg	3.9	465
Selenio	Se	mg/Kg	0.6	<1
Sodio	Na	mg/Kg	3	1825
Talio	Tl	mg/Kg	0.73	10.5

Titania	Ti	mg/Kg	0.2	1780
Vanadio	V	mg/Kg	0.09	504.2
Zinc	Zn	mg/Kg	0.1	1250

Cantidades de elementos encontrados en las EAFS

Fuente: Análisis de metales pesados en EAFS por Aceros Arequipa.

En el anterior cuadro se pueden observar las diferentes cantidades de elementos que componen la escoria negra producto de la industria siderúrgica. Una fracción de los componentes encontrados es denominada como metales pesados, que son característicos por su esencialidad o su toxicidad. La investigación enfocó un subcapítulo al análisis de estos elementos.

En conclusión, del subcapítulo las investigaciones que se hicieron con la escoria negra ayudan a determinar su posible uso en diferentes ámbitos ya sea para el uso en afirmados, pavimentos, concreto, cimentación, entre otros. Además, estos ensayos permiten conocer el comportamiento que presenta el material y poder compararlo con normas nacionales e internacionales. Por otro lado, el determinar las características químicas muestra la realidad del material al indicar las posibles irregularidades que podría ocasionar en el entorno en donde se aplique, de esta forma evitar sobrecostos por negligencia.

3.1.2 Afirmado y Normativas.

3.1.2.1 Norma técnica E.050 suelos y cimentaciones

La norma técnica E. 050 diseñada para suelos y cimentaciones busca dar con los requisitos para la ejecución de EMS (Estudios de Mecánica de Suelos), esto involucra cimentaciones de edificaciones y diversas obras que son indicadas en el desarrollo de la norma. Así mismo los EMS se proceden a ejecutar para asegurar la permanencia de las obras, así como la estabilidad de las mismas y estimular el uso racional de los recursos.

Únicamente se aplicarán al terreno a elaborar y edificaciones del rubro, los resultados e investigaciones de campo y laboratorio, tanto como el análisis y posteriores conclusiones y recomendaciones del EMS. Esta información no podrá emplearse en otros contextos con respecto al terreno y edificaciones para otro tipo de obra.

3.1.2.2 Manual de Ensayo de Materiales

El Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial incluyen el Manual de Ensayo de Materiales, se procede como un documento técnico esencial con respecto a la normativa,

que se promueve a nivel nacional y es a su vez de cumplimiento obligatorio por los responsables a gestionar la infraestructura vial a niveles gubernamentales:

- Nacional
- Regional
- Local

El “Manual de Ensayo de Materiales” tiene por finalidad estandarizar el método y procedimientos, para la ejecución de los ensayos de laboratorio y de campo, de los materiales que se utilizan en los proyectos de infraestructura vial, con el fin de asegurar que sus comportamientos correspondan a los estándares de calidad propuestos en los estudios, para las obras y actividades de mantenimiento vial.

El “Manual de Ensayo de Materiales”, se referencia en las normas presentadas por diversas instituciones técnicas las cuales son reconocidas internacionalmente. Estas vienen a ser la normativa AASHTO, ASTM, ACI, NTP, Instituto del Asfalto, otros.

3.1.2.3 Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Existen vías que son recorridas por un tráfico de 50 vehículos por día y en ocasiones pueden llegar a los 200 vehículos diarios, frente a estos criterios específicos se busca tener que proporcionar datos técnicos, coherentes y solidos que sean de gran utilidad para el diseño de este tipo de carreteras con bajo tráfico vehicular , frente a esto se dio la necesidad de elaborar el “Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de transito” con vías que son caracterizadas por presentar una superficie de rodadura conformada principalmente por material granular.

El Manual tiene aplicación obligatoria por las diferentes autoridades que lo componen a nivel nacional, con respecto a proyectos de vialidad de uso público. Esto se da en cuanto a seguridad vial, los proyectos viales de uso privado tienen que usar como mínimo esta norma.

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001) del MTC rige en todo aquello, aplicable, que no es considerado en el Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. (MTC, 2008)

3.1.2.4 Manual de Carreteras de Conservación Vial

Este manual busca la preservación del patrimonio vial del país, la cual presenta variaciones presupuestales diferente a inversiones en construcción o de mejoramiento de carreteras.

Se puede decir que, la conservación vial se define como el grupo de actividades de obras ingenieriles embarcadas al rubro vial, que buscan realizarse inmediatamente al detectarse un deterioro en los caminos viales, este sea resuelto en el menor tiempo posible desde el instante en el que fue detectado. Dicho esto, el monitoreo de las redes viales es esencial para la conservación vial.

El monitoreo diario del camino en forma visual, es la actividad de rutina básica de la conservación vial; y da su nombre de “conservación rutinaria” al conjunto de actividades de corrección inmediata de defectos (MTC, 2014).

El segundo aspecto denominado conservación periódica, se produce por obras viales que son visibles y en base a la experiencia y demanda del tráfico, pero estas presentan aspectos que no puedan tener una reparación inmediata, son programables para ser realizadas por tramos viales, cuya prioridad se certifica en el campo en función de los registros de estado del camino.

3.1.2.5 Ensayos a realizar según métodos de ensayo ASTM

Tabla 6

Ensayos de mecánica de suelos y método de ensayo.

Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM D422
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 Proctor Modificado	ASTM D1557
Ensayo CBR de los Suelos	ASTM D1883
Ensayo de Corte Directo	ASTM D3080

Ensayos requeridos para el estudio de un afirmado.

Fuente ASTM

Una información más detallada y general está ubicada en la página 11 del informe de escorias de aceros Arequipa (Ver anexo 5).

3.1.3 Contexto de obras viales rurales.

Las vías terrestres son infraestructuras elementales para el desarrollo del entorno de comunidades rurales, tanto porque cumplen las funciones de comunicar a los diferentes poblados, entre ellos como con las ciudades importantes, como también por su función de medio por el cual se conecta la economía de las mismas al permitir el transporte de mercancías que fomenten el comercio entre las diferentes comunidades y ciudades. Por otro lado, también cumplen una función de conexión cultural al permitir la interacción entre las diferentes comunidades en cuanto a actividades recreativas (excursiones, paseos, viajes) como en el turismo.

Por otro lado, estas vías terrestres son de baja utilización, es decir, son vías que reciben intensidades de tráfico bajas y por consiguiente son consideradas como carreteras de tráfico de baja intensidad.

Las vías terrestres que poseen un bajo volumen de tránsito bajo, se consideran como vías de bajo costo; como consecuencia, en su diseño se plantea evitar el movimiento de tierras innecesario o de gran escala mediante obras y estructuras diseñadas generalmente para brindar un servicio a corto y mediano plazo de vida útil; estas carreteras en su mayoría están conformadas por capas de revestimiento granular afirmado, por lo general se hace uso de zahorras y/o gravas para este fin, y a su vez se trata de modificar lo menos posible las características y naturaleza del terreno (Ortega, 2011).

3.2 Investigaciones relacionadas al uso de escorias negras.

3.2.1 Uso en suelos agrícolas.

Según el estudio de “Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la región pampeana – Argentina” presentado por Daniel Damalso Las escorias negras (EAFS) presentan una fuente de componentes artificiales de bajo costo que pueden reemplazar a materias primas naturales, lo que brindara ahorros energéticos, así como transporte en su área de influencia.

Tabla 7

Composición química porcentual típica de los principales componentes de escorias.

CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	S	Zn	Na ₂ O	K ₂ O	Cu	Cr	Ni
16,2	14,7	22,2	7,9	5,4	2,1	8,7	0,25	0,01	0,03	0,6	0,005	0,13	0,007

En su mayoría la distribución de componentes de las EAFS son metales pesados.

Fuente: Damalso

La investigación muestra que las escorias presentan dos de los principales componentes en los suelos que son el calcio y magnesio, además de nutrientes y macronutrientes, estas cantidades hacen apta a la escoria para ser implementada en la agricultura. Por otro lado, se hallaron elementos menores (cromo y níquel), sin embargo, no presentan riesgo de toxicidad debido a su baja concentración.

La problemática en la que se basó la investigación radica cuando el pH de los suelos disminuye por debajo de 6,2 se libera hierro y aluminio, los que reaccionan con el fósforo del suelo y genera así fosfatos insolubles, en consecuencia, la disponibilidad del fósforo sea menor.

Con la finalidad de redimir la acidificación del suelo eleva el pH promoviendo la movilización de los fosfatos y otros nutrientes, lo que incrementa los rendimientos significativamente. Además, las escorias siderúrgicas (encalantes tipo silicatos) son portadoras de silicatos de calcio, magnesio y otros elementos. Por tal motivo son adecuadas para corregir el pH de la producción agrícola, de manera eficiente.

Según datos internacionales la aplicación de EAFS en suelos dio resultados favorables como:

- En España se confirmó que adicionar EAFS al suelo produce un incremento en la microporosidad, que favorece el transporte hídrico.
- En Francia, las EAFS se consideran como «reparadoras» por su contenido de calcio y magnesio (al mejorar la estructura del suelo), además de ser nutritivas por los oligoelementos que disponen como manganeso, zinc, cobre y molibdeno.
- En Europa, las EAFS se aplican al suelo como su forma granulada, enfocándose en la superioridad de los encalantes de acería sobre los naturales que se basan en rocas carbonáticas.

Los resultados sobre los sembríos de maíz y trigo en la campaña 2001-2002 se registraron diferencias notables de rendimiento con respecto al testigo.

Tabla 8

Incremento porcentual de producción de maíz con adiciones de escorias negras.

Maíz: % incremento de rendimiento			
Campaña	1.000 kg/ha de cps	2.000 kg/ha de cps	3.000 kg/ha de cps
2000-2001	19%	23%	25%
2001-2002	15%	76%	89%

Porcentajes de incremento de rendimiento en Maíz a 1, 2 y 3 kg/ha de CPS.

Fuente: Damalso)

Tabla 9

Incremento porcentual de producción de trigo con adiciones de escorias negras.

Trigo: % incremento de rendimiento			
Campaña	1.000 kg/ha de cps	2.000 kg/ha de cps	3.000 kg/ha de cps
2001-2002	19%	46%	52%

Porcentajes de incremento de rendimiento en trigo a 1, 2 y 3 kg/ha de CPS.

Fuente: Damalso

Por los resultados, se ha podido apreciar que las EAFS se comportan como una enmienda-fertilizante, lo que ratifica un efecto ascendente en los valores del pH y una mejor estructuración medida indirectamente a través de una mejora en la infiltración de agua del perfil, y así favorece la disponibilidad de nutrientes. En conclusión, existe un incremento en la producción de los cultivos.

3.2.2 Uso de EAFS como material de construcción.

Para la investigación “Utilización de las escorias de acería como material de construcción”, del autor Maile Boza, se investiga la alternativa de usar las EAFS como material aglomerante además de árido. Por otro lado, el estudio realizó una valoración económica sobre el impacto que brindaría su empleo.

El estudio con el fin de demostrar la posibilidad del uso de EAFS como material de construcción busca:

- Analizar los antecedentes de la utilización de la escoria como material de construcción.
- Verificar si la escoria resultante del proceso industrial de la planta de aceros inoxidables de Las Tunas es similar a los patrones de escoria a nivel internacional.
- Especificar los requisitos que debe cumplir este residuo para ser utilizado en la construcción.
- Realizar un estudio de factibilidad para su empleo en el territorio. (Boza, 2011)

Según experiencias internacionales se puede observar que las EAFS pueden aplicarse en diferentes áreas como sustitución en proporciones de cemento, agregado fino o grueso. Tal reciclaje generaría un significativo ahorro económico para los interesados.

Tabla 10

Factibilidad económica con usos de EAFS en cemento.

Aspectos	U / M	Por ciento de escoria a sustituir por cemento				
		0	5	10	20	30
Cantidad de escoria a utilizar	ton	0	44.18	88.36	176.72	265.08
Cantidad de cemento a utilizar	ton	883.6	839.42	795.24	706.88	618.52
Gastos en cemento	pesos	75106.00	71350.7	67595.40	60084.8	52574.20
Dinero que puede ahorrarse	pesos	0	3755.30	7510.60	15021.2	22531.80
Escoria que quedaría en la planta	ton	2172.72	2128.54	2084.36	1996	1907.64
Empresas que pudieran utilizarla	u		49	24	12	8
Ahorro en valores por uso de escoria	peso	184 681				
Ahorro en cantidad por uso de escoria	ton	1 847				

Nota: Estudio de factibilidad económica en función de los usos que pueden tener las EAFS como sustituto de algunas proporciones de cemento.

Fuente: Boza, 2011.

Tabla 11

Factibilidad económica con usos de EAFS en arena.

Aspectos	U/ M	Por ciento de escoria a sustituir por arena				
		0	5	10	20	30
Cantidad de escoria a	m ³	0	99.6	199.2	398.4	597.6
Cantidad de arena a utilizar	m ³	1992	1892.4	1792.8	1593.6	1394.4
Nuevos gastos en cemento	peso	23704.8	22519.	21334.32	18963.	16593.36
Dinero que puede ahorrarse	peso	0	1185.2	2370.48	4740.9	7111.44
Escoria que quedaría en la planta	m ³	4526.5	4426.9	4327.3	4128.1	3928.9
Empresas que pudieran	u	0	45	23	11	7
Ahorro en valores por uso de escoria	peso	53865.35				
Ahorro en cantidad por uso de escoria	m ³	4526.50				

Estudio de factibilidad económica en función de los usos que pueden tener las EAFS como sustituto de algunas proporciones de arena.

Fuente: Boza, 2011

Tabla 12

Factibilidad económica con usos de EAFS en gravilla.

Aspectos	U/M	Por ciento de escoria a sustituir por gravilla				
		0	5	10	20	30
Cantidad de escoria a utilizar	m ³	0	31.3	62.6	125.2	187.8
Cantidad de arena a utilizar	m ³	626	594.7	563.4	500.8	438.2
Nuevos gastos en cemento	peso	5903.18	5608.0	5312.862	4722.5	4132.226
Dinero que puede ahorrarse	peso	0	295.16	590.32	1180.6	1770.95
Escoria que quedaría en la planta	m ³	4526.5	4495.2	4463.9	4401.3	4338.7
Empresas que pudieran utilizarla	u	0	145	72	36	24
Ahorro en valores por uso de escoria	peso	42 685				
Ahorro en cantidad por uso de escoria	m ³	4 432				

Nota: Estudio de factibilidad económica en función de los usos que pueden tener las EAFS como sustituto de algunas proporciones de gravilla.

Fuente: Boza, 2011

Por la composición que presentan las escorias blancas pueden ser sustitutos de agregado fino o cemento. Por otro lado, las EAFS pueden sustituir el uso de agregados gruesos y parte de finos, posterior a su trituración.

En conclusión, del estudio de factibilidad económica, basado en el análisis económico realizado, se estima que, es posible ahorrar un aproximado de 1 800 toneladas de cemento, además de 4 500 m³ de agregado fino y 4 400 m³ de agregado grueso. Emplear las escorias siderúrgicas como material de construcción tienen un impacto potencialmente favorable, por lo que promueve un desarrollo sostenible por el reciclaje de los residuos y reducir el uso de recursos naturales.

3.2.3 Producción de cemento portland en base a EAFS.

Dentro de la investigación “Comportamiento científico técnico del cemento portland I-R elaborado con escoria negra de acero tipo vesicular proveniente de la siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro SIDOR” presentado por Pompeyo Maldonado, busca examinar la viabilidad del uso y reciclaje de escoria siderúrgica como adición activa del cemento portland I-R. Con la finalidad de adicionar nuevas tecnologías en el cemento, mortero y concreto, mediante el uso de materiales sustitutos a los convencionales en el sector de la construcción.

En el estudio se determinó la resistencia a la compresión que presentara el cemento con adiciones porcentuales de EAFS, mientras que se rige en la normativa de COVEIN 3134 1994. Además, se buscó establecer el tiempo de fraguado para un mortero que tiene adición de escorias negras. Los ensayos ejercidos en la investigación muestran las bondades de reciclar los residuos siderúrgicos en la producción de cemento. A continuación, se evidenciarán los resultados que obtuvo el autor.

Figura 2. Tiempo de fraguado en morteros con escorias negras. Estudios mecánicos en morteros con adiciones de escoria negra.

Fuente: P. Maldonado 2013.

Para los estudios mecánicos en morteros se elaboró morteros con sustitutos parciales de EAFS en cemento en porcentajes de 5, 10, 15, 20 y 50%. Los ensayos fueron regidos bajo la normativa ASTM C 109 1999. Los morteros se ensayaron mecánicamente por compresión, a los tiempos de curado de 3, 7 y 28 días. Los resultados evidenciaron ser inferiores al promedio total para cada porcentaje utilizado.

Tabla 13

Resistencia la compresión en mortero con escorias negras.

Muestras	Resistencia a compresión $\pm$ Desviación estándar (kgf/cm ²)		
	3 días	7 días	28 días
PATRÓN	262 $\pm$ 29	314 $\pm$ 42	397 $\pm$ 46
E-N-A-5%	251 $\pm$ 33	319 $\pm$ 28	397 $\pm$ 32
E-N-A-10%	253 $\pm$ 24	317 $\pm$ 36	390 $\pm$ 48
E-N-A-15%	247 $\pm$ 18	327 $\pm$ 20	369 $\pm$ 44
E-N-A-20%	222 $\pm$ 22	303 $\pm$ 19	336 $\pm$ 37
E-N-A-50%	121 $\pm$ 25	151 $\pm$ 27	202 $\pm$ 44

Nota: Valores de Resistencia a Compresión de los morteros patrón y los morteros con adición de EAFS

Fuente: Maldonado, 2013.

Dentro del ensayo de resistencia a compresión de morteros con adición de EAFS en porcentajes de 5,10, 15% se pudo evidenciar una mayor resistencia que la mezcla convencional de diseño en referencia al trabajo elaborado se comparó con un diseño de mortero de 350 kg/cm². Por lo que se puede deducir que los resultados obtenidos fueron favorables.

En conclusión, de la investigación se puede decir que con un adicional del 20% de EAFS es factible su uso, ya que los resultados de los ensayos con adiciones de escoria se encuentran por encima del diseño de mezcla. Dicho material constituye residuos potencialmente reciclables y aprovechables, ya que presentan características de resistencia en su uso como adición de cemento portland tipo I. Esto convierte a las EAFS como alternativa para incrementar la producción de cemento, así mismo como consecuencia se reducirían los costos de fabricación de cemento y de explotación de canteras, los que generan impactos ambientales negativos tales como erosión, degradación de lechos de ríos y pérdida de cobertura vegetal.

3.2.4 Uso de EAFS como agregado de concreto.

Las escorias negras al tener una consistencia granular pueden ser aplicadas en muchas áreas de ingeniería civil, ya que puede ser presentado como material sustituto. En el plano internacional se ha investigado la “Validación de escorias de horno de arco eléctrico mediante su uso como adición en hormigón” de Francisco Contreras, quien busca establecer las EAFS como un aporte en sustituto del árido fino para la producción de concreto.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es buscar nuevas prestaciones al hormigón al que se le han incorporado EAFS, como sustitución de árido fino, procedentes de los residuos de la fabricación del acero inoxidable.

Respecto al material de partida, las EAFS, se pudo afirmar:

Las EAFS presenta una composición granulométrica que valida su uso en la producción de concreto, al ser considerado Filler Calizo. En segunda instancia, el material aporta el necesario contenido de finos para que pueda ser considerado como concreto autocompactante. Reemplazar escorias negras por Filler calizo reducirá la explotación del

árido y la consecuente disminución de huella de carbono en la fabricación de concreto. Además, es necesario priorizar el estudio de valores de absorción del material, debido a que en el caso del lodo se incrementa considerablemente. Por último, en consideración de la gran cantidad de sulfatos solubles en lodo, es necesario realizar estudios que evidencien los porcentajes máximos a sustituir en función del ambiente de exposición definido.

Tabla 14

Comparación entre HCE y HACE.

HCE (Hormigón Convencional con Escorias Negras)	HACE (Hormigón Autocompactante con adición de Escorias Negras)
Aporte de una vía de valorización a las EAFS que en la actualidad presentan una tasa nula de recuperación.	
Su uso disminuiría la producción y explotación de áridos.	
El hormigón HCE presenta una mejor trabajabilidad que el HC (hormigón convencional).	El hormigón HACE presenta una mejor trabajabilidad que el HAC (hormigón autocompactante convencional).
El hormigón HCE presenta una mejora en su robustez con respecto al HC (hormigón convencional).	El hormigón HACE presenta una mejora en su robustez con respecto al HAC (hormigón autocompactante convencional).
La densidad del concreto se aumenta, lo que puede generar beneficios en la producción de elementos que lo requieran.	
El producto no necesita ser reprocesado para su incorporación en el concreto.	
Aumento de la resistencia a compresión.	Prestaciones autocompactantes.

Nota: Ventajas comunes entre el concreto adicionado con EAFS y el convencional.

Fuente: Contreras 2017.

3.3 Espectrofotometría de absorción atómica.

El término espectroscopia o también llamado espectrofotometría significa la observación y el estudio del espectro, o registro que se tiene de una especie tal como un átomo, un ion o una molécula, cuando estas especies son excitadas por alguna fuente de energía que sea apropiada para el caso.

En 1859 Busen y Kirschhoff se sumergieron dentro del conocimiento de la naturaleza de este fenómeno, cuando el metal en la flama produjo una luz colorida que la hizo incidir en un

depósito óptico que separa la radiación emitida por el metal, de la luz solar. En éste instrumento que fue denominado espectroscopio que observa que cada metal que emite radiación de diferente color, brinda líneas que aparecen en diferentes posiciones en la pantalla o campo de observación, y esto es independientemente de las condiciones en que se realiza el experimento así como de la naturaleza de la sal metálica y únicamente depende del metal. Adicionalmente, la concentración del elemento en solución se encuentra directamente relacionada con la intensidad de la línea.

Mediante la posición de las líneas se tiene una forma inequívoca de identificar el elemento, así como una manera de identificar éste (por la intensidad de las líneas producidas).

A principios del siglo XX no se conocían todos los elementos de la tabla periódica y frecuentemente se incurría en errores, al dar por descubiertos elementos nuevos cuando en realidad eran elementos ya conocidos.

Mediante de la espectroscopia cuando se daba la noticia de haber encontrado algún elemento nuevo, se observaba su espectro. Si este ya coincidía con los elementos ya conocidos se descartaba la novedad del elemento, si caso contrario no coincidía con ninguno de los espectros de elementos ya conocidos la prueba era inobjetable por lo que se consideraba uno más de la lista de elementos químicos.

La espectroscopia atómica se puede dividir en tres clases:

- Espectroscopia de Emisión Atómica (EEA)
- Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA)
- Espectroscopia de Fluorescencia Atómica (EFA)

Para la determinación de ppm de metales pesados en las escorias negras se empleará la espectroscopia de absorción atómica (EAA).

La espectroscopia de absorción atómica (EAA), tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. La radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona esta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores.

Los componentes instrumentales de un equipo de fotómetro o espectrofotómetro de flama son los similares a los empleados en la espectrofotometría de absorción atómica, con excepción que en EAA para excitar los átomos de analito se requiere de una fuente de radiación. Estos componentes se representan en la siguiente figura.

Figura 3. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica.

Fuente: UACH.

- Una fuente de radiación que emita una línea específica correspondiente a la necesaria para efectuar una transición en los átomos del elemento analizado.
- Un nebulizador, que por aspiración de la muestra líquida, forme pequeñas gotas para una atomización más eficiente.
- Un Quemador, en el cual por efecto de la temperatura alcanzada en la combustión y por la reacción de combustión misma, se favorezca la formación de átomos a partir de los componentes en solución.
- Un sistema óptico que separe la radiación de longitud de onda de interés, de todas las demás radiaciones que entran ha dicho sistema.
- Un detector o transductor, que sea capaz de transformar, en relación proporcional, las señales de intensidad de radiación electromagnética, en señales eléctricas o de intensidad de corriente.
- Un amplificador o sistema electrónico, que como su nombre lo indica amplifica la señal eléctrica producida, para que en el siguiente paso pueda ser procesada con circuitos
- Un sistema de lectura en el cual la señal de intensidad de corriente, sea convertida a una señal que el operario pueda interpretar.

Descripción del ensayo de Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)

- la muestra analizar en forma líquida es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido.
- Las gotas formadas son conducidas a una flama, en donde se produce una serie de eventos que en consecuencia originan la formación de átomos.
- Los átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración.
- La señal de la lámpara una vez que pasa por la flama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés.
- Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura.

[illegible]

Fuente: UACH.

35

fotometría de flama es en la detección de Sodio y Potasio. Sin embargo, mediante la EAA es posible determinar más de 70 elementos. La espectroscopia de fluorescencia atómica es más sensible que estas dos técnicas espectroscópicas, más requiere de fuentes de radiación con mayor intensidad. Esta técnica produce mayores efectos de interferencia y este es otro factor limitante de la fluorescencia atómica.

3.4 Pruebas de laboratorio en afirmados.

Para demostrar que un material puede ser sustituto de un agregado conocido es necesario verificar sus propiedades físicas y su capacidad de asimilarse en contextos de uso, en este ámbito las escorias negras tienen que demostrar sus bondades frente a los reglamentos que propone el ministerio de transportes y comunicaciones, para los materiales que se planteen usar en las diferentes obras de infraestructura vial.

Para el desarrollo de la investigación sobre las propiedades físicas de las EAFS, se iniciará con el ensayo granulométrico, cuyo fin es obtener la distribución granulométrica del material a estudiar. Así mismo, saber si dicha composición cumple con los rangos establecidos por el MTC, para carreteras afirmadas.

En segunda instancia se realizarán los límites de consistencia o límites de Atterberg, con la finalidad de conocer los rangos de humedad, para que el material se mantenga en estado plástico. Por otro lado, mediante esta información se puede clasificar al material según los parámetros USCS.

Posterior al segundo punto se desarrolla el ensayo de Proctor modificado tipo B, con el fin de obtener la densidad seca máxima del material y el contenido óptimo de humedad.

Como cuarto ensayo se realizará el valor de impacto al agregado (VIA), el cual busca determinar el desgaste de un material sometido a fuerzas de golpe externas.

Como quinto punto se realizará el ensayo de densidad de campo, con el fin de determinar el índice de compactación.

Para culminar con el procedimiento se realizará el ensayo de CBR (MTC E132), el cual busca determinar un índice de resistencia para el material a ensayar.

Es importante realizar ensayos de laboratorio sobre las muestras recogidas ya que con ellos podremos encontrar parámetros físicos, mecánicos y de resistencia que nos ayudaran a poder

definir la utilidad de las escorias negras como material agregado en afirmados en zonas rurales.

La importancia de estos ensayos recae sobre la gran cantidad de escorias sin uso almacenadas en las acerías, en este caso tomaremos como material de ensayo a muestras de escorias negras recogidas de los depósitos de las mismas en la planta de acería de Aceros Arequipa en Pisco, que actualmente cuentan con 250 000 toneladas de escorias negras almacenadas y sin uso productivo. Los ensayos de laboratorio definirán si estas escorias son apropiadas para su uso en la ingeniería civil, para ello se comprobarán que cumplan con las especificaciones técnicas del MTC y el RNE para su uso como material agregado en pavimentos rurales (afirmados), por otro lado se comprobará que estas escorias son óptimas para su uso en combinación con materiales de otras canteras (materiales finos) en las que se mejoren sus propiedades y que esto repercuta en un aumento de capacidad portante y resistencia a la penetración disminuyendo los espesores de los afirmados dando paso, a su vez, a una considerable reducción en el costo de construcción de estas estructuras o permitiendo su uso extendido a localidades alejadas de la planta de producción de acería.

Para la realización de las pruebas en el laboratorio de suelos se tomaron 5 muestras en costales con un peso aproximado de 30 kg cada uno, las muestras fueron recogidas de diferentes zonas en donde se encuentra acumulado el material, esto permitió tener información general de todo el material almacenado en estudio. El material fue el suficiente para poder realizar los ensayos requeridos siguiendo las normas técnicas peruanas y las normas de la ASTM.

3.4.1 Análisis granulométrico por tamizado.

Definición:

Este ensayo permite determinar la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño. Se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de serie gruesa y fina de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 de diámetro 0.074 mm.

El análisis granulométrico genera una curva granulométrica en donde se grafica el diámetro en mm de tamiz versus el porcentaje acumulado que pasa por cada malla del ensayo.

Equipos y Herramientas:

- Horno de secado.

- Balanza de 0.1g.
- Bandejas, cepillo y brocha.
- Serie de tamices según Tabla 15.
- Pipeta, vasijas.
- Tamiz N°200.

Tabla 15

Tabla de tamices necesarios para el ensayo de análisis granulométrico.

TAMICES	
3 in (75.0 mm)	N°4 (4.75 mm)
2 in (50.0 mm)	N°10 (2.00 mm)
1 ½ in (37.5 mm)	N°20 (0.85 mm)
1 in (25.0 mm)	N°30 (0.60 mm)
¾ in (19.0 mm)	N°40 (0.425 mm)
½ in (12.5 mm)	N°60 (0.25 mm)
3/8 in (9.5 mm)	N°100 (0.15 mm)
¼ in (6.3 mm)	N°200 (0.075 mm)

Tabla de tamices necesarios para el ensayo de análisis granulométrico

Fuente: ASTM

Muestra a ensayar:

De acuerdo a los materiales finos de la muestra, el análisis por tamices se realiza bien con la muestra completa o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar de manera visual, se procede a secar en horno una pequeña porción húmeda del material a ensayar y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola con los dedos. Si la muestra se rompe con facilidad y el material fino se pulveriza bajo la presión de los dedos, entonces podemos asumir que el análisis con tamices se puede efectuar sin realizar un lavado previo (UNI, 2014).

Para obtener la muestra a ensayar se debe obtener dos fracciones que la conformara, estas deben ser primero una retenida sobre el tamiz de 4.56 mm (N°4) y otra que pasa por ese tamiz, ambas fracciones se ensayan por separado.

El peso de la muestra secada al aire y seleccionada para el ensayo deberá ser suficiente para las cantidades requeridas para desarrollar el análisis mecánico, como las siguientes:

Para obtener el tamaño de la fracción retenida en el tamiz N°4 dependerá en gran medida del tamaño máximo de las partículas y se dará de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 16

Tamaño máximo de partículas.

Diámetro Nominal de Partículas más grandes. In (mm)	Porción Aproximada de Masa Mínima. g
3/8 (9.5)	500
¾ (19.0)	1000
1 (25.4)	2000
1 ½ (38.1)	3000
2 (50.8)	4000
3 (76.2)	5000

Fuente: ASTM

El tamaño de la fracción que pasa por el tamiz N°4 será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos y arcillosos. (UNI, 2014)

Procedimiento:

- Después de tener una muestra uniforme obtenida mediante cuarteo, pesar la muestra seleccionada y llevarla al horno durante 24 horas o hasta obtener una masa constante.
- Una vez secada la muestra y enfriada, se procede a tomar el peso de la muestra secada al horno.
- Tomar el peso del material requerido de acuerdo a la Tabla (2-4), y lavarlo a través del tamiz N°200, luego el material retenido debe secarse en el horno por 24 horas.
- Luego se debe separar la porción de muestra retenida en el tamiz N° 4 en una serie de fracciones usando los tamices mostrados en la Tabla (2-3), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material a ensayar.

En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla.

- Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1%. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.
- Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para limosos, pesándolo con exactitud de 0.1 g.
- El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4.76 mm (N°4) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información que se requiera.
- Finalmente esta parte de la porción se procede a analizar de la misma forma que la anterior para el material retenido en el tamiz N°200, con los tamices mostrados en la tabla (2-3). (UNI, 2014)

Cálculos:

Una vez obtenidos los pesos retenidos en cada uno de los tamices, se procede a calcular el porcentaje retenido en cada tamiz para ello se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\%Retenido = \frac{W_{Tamiz}}{W_1} \times 100$$

Donde:

W tamiz: Peso retenido en cada tamiz.

W1: Peso de la muestra secada al horno.

3.4.2 Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg también conocidos como límites de consistencia se desarrollan sobre el concepto de que los suelos finos presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, esto dependerá de su propia naturaleza y de la cantidad de agua que contengan. Tomando en cuenta esto un suelo se puede encontrar en un estado sólido, estado semisólido, estado plástico, y estado líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si esta seca se encuentra muy suelta o en terrones, si se le añade agua adquiere una consistencia similar

a la de una pasta, y si se le añade más agua adquiere una consistencia fluida. El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía según el tipo de suelo y para los ensayos de mecánica de suelos lo más importante es conocer los rangos de humedad en las cuales los suelos tienen un comportamiento plástico, es decir que soporta deformaciones sin romperse, esto se resume en la propiedad que presenta cada suelo hasta llegar a cierto límite.

Hoy en día, los límites de Atterberg son los ensayos que se practican con más frecuencia en laboratorios de mecánica de suelos, Su utilidad recae sobre que gracias a la experiencia recolectada de miles de determinaciones basta con conocer sus valores de límites de consistencia para poder darse una idea bastante concisa del tipo de suelo analizado y sus propiedades. Por otra parte, estos tipos de ensayos son bastante sencillos y rápidos, permiten una rápida identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras apropiadas para ser sometidas a ensayos más complicados y demandantes.

3.4.2.1 Limite líquido.

El Limite Liquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje en relación al peso seco de la muestra, esto da paso al suelo de cambiar de estado líquido a estado plástico. De acuerdo a esta definición, los suelos tienen en el Limite Liquido una resistencia diminuta al esfuerzo cortante, siendo la cohesión del suelo en el Limite Liquido prácticamente nula.

Instrumentos

- Mortero de porcelana o de madera con pistón revestido con goma, de medidas corrientes.
- Tamiz IRAM de 420 micrones (N°40)
- Capsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm de diámetro.
- Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. De largo y 20 mm. De ancho, con mango de madera.
- Aparato Casagrande.
- Acanalador de bronce o de acero inoxidable
- Pasafiltros de vidrio o de aluminio de 40 mm, de diámetro y de 30 mm. de altura aproximadamente.
- Probetas de vidrio.

- Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- Horno para secado de muestras.
- Elementos varios de uso corriente en laboratorios de suelos.

Preparación de la muestra

El ensayo se realiza sobre la muestra de suelo que pasa por la malla N°40

Para suelos finos se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 g de suelo secado al aire y se lo hace pasar por la malla N°40. La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se tritura con el pistón de goma, luego se tamiza nuevamente y se repite la operación hasta lograr que toda la muestra pase por la malla N°40 o hasta notar partículas individuales de mayor tamaño a la maya que no pasan. Se debe tener en cuenta que la operación de triturar con el mortero tiene como finalidad deshacer los grumos de suelos formados naturalmente y no la rotura de partículas de arena, una vez terminado este proceso se reúnen las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente para obtener un material homogéneo que nos permita realizar el ensayo con facilidad.

Para suelo con material granular se separa la muestra por un proceso de tamizado a través de la malla IRAM de 2 mm. (N°10). Con la parte final se procede como se indicó para suelos con material fino. Si a pesar del proceso de desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se deben poner en maceración con la menor cantidad de agua posible y se hace pasar por el tamiz N°40. Se recoge el líquido que pasa y el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor a 50°C. El residuo se desmenuza y se incorpora a las fracciones ya obtenidas mezclándose cuidadosamente para obtener un material homogéneo.

Procedimiento

- Se toma una muestra representativa de 50 o 60g. del material obtenido luego de haber sido tamizado y se coloca dentro de una capsula de porcelana o hierro
- Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora.
- Consecuentemente se sigue agregando agua en pequeñas porciones y mezclando cuidadosamente con la espátula después de cada agregado teniendo el debido cuidado

para obtener una distribución homogénea de la humedad y procurando deshacer todo grumo que se valla formando durante el proceso.

- Cuando la muestra adquiera una consistencia que, al ser dividida en dos porciones, estas empiecen a fluir cuando se golpea la capsula con la palma de la mano; luego se transfiere una porción de esta muestra a la capsula del aparato Casagrande y se la amasa bien y se la distribuye de manera uniforme de tal manera que el espesor en el centro de la capsula sea de aproximadamente 1 cm.
- Con el acanalador se hace una división por la parte central de la capsula del aparato Casagrande de tal manera que quede limpio el fondo de la capsula en un ancho mínimo de 2 mm., la división debe ser recta y homogénea, sin curvaturas.
- Luego se procede a accionar la manivela del aparato Casagrande a razón de 2 vueltas por segundo y se cuenta el número de golpes necesarios para que, por fluencia, se cierren los bordes inferiores de la muestra, en una longitud aproximada de 12 mm.
- Se debe verificar que la unión de la muestra sea por fluencia y no por corrimiento de toda la masa. Para ello se procura separar con la espátula los bordes unidos. Si es que ha habido un corrimiento de toda la masa, la separación de la misma mediante espátula se logra fácilmente quedando limpio el fondo de la capsula, en caso contrario si ha habido unión por fluencia, la espátula mueve únicamente la muestra en contacto con ella y el resto queda adherido al fondo de la capsula.
- Se retira una porción de la muestra de un peso aproximado a 10 g. de la parte en donde se realizó la unión de la muestra y se coloca en un pesafiltros previamente cribar, luego se pesa y se toma nota de ello, también tomara nota del peso de pesafiltros, el número de identificación de este y el número de golpes requeridos para lograr la unión de la pasta.
- Se repiten estas operaciones dos o más veces, con contenidos mayores de agua procurando que el número de golpes requeridos para que la pasta en la capsula se unan con 1 menos y 1 más de 25 golpes.
- Finalmente, las muestras colocadas en los pesafiltros serán llevadas al horno hasta lograr un peso constante.

Cálculos

La humedad en términos de porcentaje se calcula con la siguiente formula:

$$H = \frac{P1 - P2}{P2 - Pf}$$

Donde:

P1= peso del pesafiltros más la porción de pasta de suelo húmedo.

P2= peso del pesafiltros más la porción de pasta de suelo seco.

Pf= peso del pesafiltros.

3.4.2.2 Limite plástico.

El Limite Plástico es el grado de humedad, en un suelo, representado en porcentaje frente al peso seco de la muestra de suelo secada en horno, en este proceso los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico, esto gracias a la elaboración de filamentos cilíndricos de diámetro 3mm en los cuales el suelo se fisura o agrieta y se separa en trozos.

Los ensayos de límite de consistencia que se utilizaron para los ensayos de laboratorio sobre las muestras de escoria negra fueron los de Limite Liquido y Limite Plástico según las normativas de la ASTM.

Instrumentos:

- Mortero de porcelana o de madera con pistón revestido de goma, de medidas comunes.
- Tamiz Iram de 420 micrones (N°40)
- Espátula de acero flexible con hoja de 75 a 80 mm. De largo y 20 mm. de ancho.
- Capsula de porcelana o hierro enlozado de 10 a 12 cm. de diámetro,
- Vidrio plano de 30 cm. x 30 cm. o un trozo de mármol de las mismas dimensiones.
- Trozos de alambre galvanizado redondos de 3 mm. de diámetro para ser utilizados como elemento de comparación.
- Pesafiltros de vidrio o de aluminio de 40 mm. de diámetro y de 40 mm. de altura, aproximadamente.
- Probetas de vidrio.
- Balanza de precisión con sensibilidad de 1 centigramo.
- Horno termo regulado de 110 °C ±5 °C.
- Elementos varios de uso corriente en laboratorio de suelos.

Preparación de la muestra.

El ensayo se realiza sobre la muestra de suelo que pasa la malla N°40

Para suelos finos se toma por cuarteo una porción de 400 a 500 g de suelo secado al aire y se lo hace pasar por la malla N°40. La porción retenida por este tamiz se coloca en el mortero y se tritura con el pistón de goma, luego se tamiza nuevamente y se repite la operación hasta lograr que toda la muestra pase por la malla N°40 o hasta notar partículas individuales de mayor tamaño a la maya que no pasan. Se debe tener en cuenta que la operación de triturar con el mortero tiene como finalidad deshacer los grumos de suelos formados naturalmente y no la rotura de partículas de arena, una vez terminado este proceso se reúnen las porciones obtenidas y se mezclan cuidadosamente para obtener un material homogéneo que nos permita realizar el ensayo con facilidad.

Para suelo con material granular se separa la muestra por un proceso de tamizado a través de la malla IRAM de 2 mm. (N°10). Con la parte final se procede como se indicó para suelos con material fino. Si a pesar del proceso de desmenuzado se observa que queda material fino adherido a las partículas gruesas, estas se deben poner en maceración con la menor cantidad de agua posible y se hace pasar por el tamiz N°40. Se recoge el líquido que pasa y el que será evaporado a sequedad, a temperatura no mayor a 50°C. El residuo se desmenuza y se incorpora a las fracciones ya obtenidas mezclándose cuidadosamente para obtener un material homogéneo.

Procedimiento:

- Se toma 15 o 20 g. del material obtenido de acuerdo a como se indicó en la preparación de la muestra y se coloca en la capsula de porcelana o hierro.
- Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, para luego dejarlo reposar por lo menos 1 hora.
- Luego se continúa agregando agua en pequeñas porciones, se mezcla de manera cuidadosa con la espátula después de cada adición, procurando obtener una distribución homogénea de humedad en toda la muestra y se debe tener una gran consideración y especial cuidado al momento de deshacer todos los grumos que se vayan formando.

- Se continúa el mezclado hasta obtener que la muestra en pasta presente una consistencia plástica que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos de quien realice la tarea.
- Una porción de la parte así preparada se hace rodar con la palma de la mano sobre la lámina de vidrio esto generara que la esfera adopte una forma cilíndrica.
- La presión aplicada para hacer rodar la esfera de la muestra debe ser suficiente como para poder obtener de 60 a 70 impulsos por minuto, entendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia delante y hacia atrás.
- Si el diámetro de los cilindros es menor a 3 mm. y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se unen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario. La operación se repite si las varillas cilíndricas se fisuran y/o agrietan antes de llegar al diámetro de 3 mm. en caso de que suceda esto se reúnen los trozos y se amasan nuevamente agregando agua hasta lograr una completa uniformidad.
- El ensayo se considerará concluido cuando las varillas cilíndricas comiencen a fisurarse y agrietarse al alcanzar los 3 mm. de diámetro, punto que resulta sencillo al comparar el tamaño de las muestras cilíndricas con los trozos de alambre.
- Las varillas cilíndricas colocadas en los pesafiltros serán llevadas al horno termo controlado hasta lograr un peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cálculos

El porcentaje de humedad correspondiente al Limite Plástico de un suelo se calcula con la siguiente formula:

$$H = \frac{P1 - P2}{P2 - Pf}$$

Donde:

P1= Peso del pesafiltros más las varillas de suelo húmedo.

P2= Peso del pesafiltros con las varillas de suelo seco.

P3= Peso del pesafiltros.

3.4.2.3 Índice de plasticidad.

El Índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre los valores del Limite Liquido y el Limite Plástico de la misma muestra. Se representa con la siguiente ecuación:

$$I_p = LL - LP$$

Algunas consideraciones:

- Si el suelo presenta características de plasticidad bien definidas, se amasará el suelo con un contenido de humedad que satisfaga las condiciones establecidas en el ensayo de límite plástico para luego dar paso a la ejecución de este. Seguidamente, se agrega más agua a la muestra restante en la capsula y se realiza el ensayo de límite líquido.
- Si el suelo posee poca plasticidad, se realizará previamente al ensayo de límite líquido y de inmediato con la muestra restante se ejecutará el ensayo de límite líquido.
- Si el suelo tiene poca plasticidad, se realiza en primer lugar el ensayo de límite líquido y de inmediato con la muestra sobrante se realizará el ensayo de límite plástico.
- Si es que el suelo no tiene plasticidad, pero si límite líquido, se determinará este último y se indicará que el índice de plasticidad será igual a cero. Este caso puede ocurrir cuando al intentar formar la varilla cilíndrica, esta se rompe antes de alcanzar el diámetro de 3 mm.
- Si el suelo no posee plasticidad ni tampoco puede determinársele un valor para el límite líquido, se indicará entonces sin límite líquido, NP.

3.4.3 Contenido de humedad natural.

La humedad natural de un suelo es simplemente la relación o el cociente que existe entre el peso de agua de una partícula de suelo y el peso sólido de esta partícula, el valor de la humedad está expresado como un porcentaje. Es muy importante determinar la humedad al momento de requerir realizar cualquier obra civil en el suelo ya que por medio de este ensayo podremos saber cuál será la resistencia del suelo y cómo se comportará el suelo donde se construye. El proceso de obtención de la humedad se hace pesando una cantidad de muestra de suelo, luego se coloca dentro de un horno por 24 horas a una temperatura a más de 100°C, se coloca a una mayor temperatura para que el agua dentro de la muestra se evapore después de que pase el tiempo se saca la muestra del horno y se vuelve a pesar, ya teniendo los dos pesos se pueden obtener el peso del agua y del sólido, podemos decir que:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde

W_w = Peso del agua de la muestra.

W_s = Peso solido de la muestra.

Instrumentos:

- Porta muestras.
- Estufa eléctrica.
- Balanza.
- Recipientes para secar la muestra.
- Panolas.

Procedimiento:

- Se pesaron los porta muestras sin muestra en su interior.
- Se homogenizo la muestra obtenida y se extrajeron dos porciones que fueron depositadas en los porta muestras.
- Se pesaron nuevamente cada uno de los porta muestras con una cantidad de suelo húmedo determinada.
- Se sometieron las muestras pesadas a un secado directo por medio de una estufa eléctrica durante un periodo aproximado de 15 minutos a media hora.
- Se pesaron los porta muestras junto con el suelo ya seco y se tabularon los datos.

3.4.4 Ensayo de valor de impacto en el agregado (VIA).

Normas: BS 812-110 / NTP 400-038

Este ensayo nos proporciona el valor de impacto que sufre un material al ser sometido a fuerzas de impacto externas a grandes rasgos el ensayo comienza con la compactación de la muestra de manera normalizada dentro del recipiente de acero tipo copa abierta. Luego la muestra es sometida a un número determinado de impactos mediante una masa que cae. Este proceso rompe el agregado a un rango que depende de su resistencia al impacto. Este grado de resistencia es evaluado mediante un tamizado de la muestra impactada y el valor hallado se considera como el valor de impacto agregado.

Máquina para ensayo de impacto: Consiste de un aparato metálico con un peso total entre 45 kg y 60 kg, dentro los componentes de este aparato encontramos: base circular metálica

con peso de 22 kg y 30 kg con superficie inferior plana, un diámetro no menor de 30 cm; un recipiente cilíndrico de acero (tipo copa abierta) el cual tiene un diámetro interno de 102 ± 0.5 mm y una profundidad de 50 ± 0.25 mm con paredes de por lo menos 6 mm de espesor con superficie endurecida, La copa estará rígidamente sujeta al centro de la base pero podrá ser retirada fácilmente para i descarga; martillo metálico endurecido con un peso de 13.5 kg y 14.0 kg. Con acabado final en forma cilíndrica con diámetro de 100 ± 0.54 mm y longitud de 50 ± 1.15 mm con bisel de 1.5 mm en el extremo final, el martillo se deslizará libremente entre las guías verticales y orientadas en forma concéntrica con el recipiente cilíndrico inferior.

- Tamices: 3/8", 1/2" Y N°8.
- Varilla compactadora:
- La varilla es de acero liso, de 60 cm de longitud y 5/8" de diámetro con una punta tipo bala o semiesférica.
- Balanza: De capacidad no menor a 500 g y con aproximación de lectura de 0.1 g.
- Horno eléctrico con capacidad de mantener temperaturas a $110\pm5^{\circ}\text{C}$
- Martillo de Goma
- Recipientes y herramientas varias.

Procedimiento:

Primero se debe tamizar la muestra seca entre los tamices de 1/2" y el tamiza de 3/8" hasta obtener una muestra simple la cual pueda llenar el recipiente de ensayo. Utilizar para el ensayo material retenido en el tamiz 3/8", realizar este procedimiento para tres muestras iguales para poder obtener un promedio de resultados.

Llenar la medida por exceso, comprimiendo a la muestra con ayuda de una cuchara. Apisonar el agregado con 25 golpes del extremo redondeado de la varilla apisonadora, dejándola caer libremente desde una altura de aproximadamente 50 mm sobre la superficie y uniformemente repartidos sobre la misma. Golpear los costados del molde con un martillo de goma de 10 a 15 veces para cerrar algunos vacíos.

Remover el exceso del agregado enrazando mediante la varilla compactadora, haciéndola desplazar por los bordes del recipiente. Retirar a mano algún agregado que impida esta acción y rellene luego la depresión ocurrida adicionando agregado. Registrar el peso neto del agregado en la medida y utilice el mismo peso para la segunda muestra.

Situar el equipo en una superficie nivelada y rígida, fijar la copa fijamente a la base del equipo, colocar la muestra de ensayo, ajustar la altura del martillo a 380 ± 5 mm encima de la superficie superior del agregado en la copa. Dejar caer el martillo libremente sobre el agregado por un total de 15 golpes cada uno a un intervalo no menor a 1 segundo.

Retirar el contenedor y verter el material en una bandeja limpia y seca, golpear por fuera con el martillo de goma para que las partículas no sean disturbadas y caigan con su propio peso. Limpiar las partículas finas con ayuda de una brocha de cerda firme.

Tamizar todo el contenido sobre la malla N°8 hasta que no pase cantidad significativa durante un periodo no mayor de 1 minuto.

Cálculos.

Para calcular el porcentaje de VIA% se tiene la siguiente formula.

$$\%VIA = \frac{M1 - M2}{M2} * 100$$

Donde:

M1: Es el peso inicial de la muestra en gramos sin contenedor.

M2: Es el peso final de la muestra en gramos sin contenedor.

3.4.5 Ensayo de Proctor modificado.

Este ensayo busca la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)). Existen 3 métodos:

MÉTODO A, B y C

Cada uno presenta diferentes materiales,

El presente ensayo es referenciado por las siguientes normas, NTP 339.141: Suelos Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)).

ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ((2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)).

Equipo

- Ensamblaje del molde.
- Molde de 4”.
- Molde de 6”.
- Pisón o martillo.
- Pisón manual.
- Pisón mecánico circular.
- Pisón mecánico.
- Extractor de Muestras(opcional).
- Balanza con una aproximación de 1g.
- Horno de secado.

Materiales

Regla metálica no menor de 10”

Tamices de 3/4”, 3/8”, N°4 (mayor descripción en ASTM E11)

Herramientas de mezcla; cucharas, morteros, mezcladoras, paleta, espátula, botella de spray, Etc.

Muestra

La masa de la muestra requerida para el método A y B es de 1600 g, con respecto al método C es de 2900g, ambos de suelo seco, por lo que la muestra húmeda debe contener 2300 g 4500g respectivamente.

Consecutivamente obtener el porcentaje retenido en la malla N°4, 3/8” o 3/4” para poder escoger el método a seguir ya sea A, B o C, para esto se tienen que separar una muestra del total y establecer los porcentajes que pasan las mallas por tamizado de agregado grueso y fino (NTP 339.128 o AST C 136).

Procedimiento

Preparar los equipos de acuerdo a las indicaciones que presenta la norma del MTC E-115

Es necesario utilizar el método de preparación húmeda cuando se ensaye con suelos que presenten hallosita hidratada o donde se extienda la determinación de suelos.

Método de Preparación Húmeda

La muestra se pasa por el tamiz N°4, 3/8" o 3/4" y posteriormente determinar el contenido de agua, esto depende del método en el que el suelo se encuentre.

Prepare mínimo cuatro especímenes con contenidos de agua de modo que estos tengan un contenido de agua lo más estimado al óptimo. Seleccionar al menos 2 especímenes húmedos y 2 secos de acuerdo al contenido óptimo de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario. Los incrementos de contenido de agua no deberán exceder del 4%.

Usar un promedio de 2.3 kg del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el método A o B Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.2.2.2 de este ensayo, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C.

3.4.6 Ensayo de densidad de campo por el método de cono de arena.

El ensayo de densidad IN SITU por el método del cono de arena permite obtener la densidad de terreno al cual sea aplicado el mismo, y de esta manera verificar los resultados obtenidos en trabajos de compactación de suelos, y compararlos con las especificaciones técnicas en cuanto a la humedad, la densidad y el grado de compactación del suelo evaluado, con ello poder determinar la calidad del suelo donde se vayan o se estén ejecutando proyectos de ingeniería.

Los ensayos en el campo pueden ser destructivos o no destructivos. Los ensayos destructivos comprenden la excavación y remoción de parte del material de relleno (dejando un hueco para ser rellenado y compactado posteriormente por el constructor), mientras que los ensayos no destructivos determinan indirectamente el peso unitario y el contenido de agua del relleno y tan solo dejan un pequeño agujero en el terreno.

Describiendo el procedimiento se sabe que primero se excava un agujero manualmente en el suelo a ser ensayado y todo el material que se extraiga del hueco es depositado en un recipiente. El hueco luego se llena con arena gradada de densidad conocida que cae libremente a través de un cono, de esta manera se determina el volumen del agujero.

La densidad húmeda in situ se determina dividiendo la masa húmeda del material removido entre el volumen del hueco. La humedad del material se determina mediante los métodos usuales (secado al horno) y con estos datos se calculan la densidad seca del material.

Equipos Utilizados

Para este ensayo se emplean los siguientes materiales:

- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanza con aproximación al 0.1 g.
- Cono metálico, de dimensiones estándar, se emplea para asegurar el flujo constante y reproducible de arena.
- Contenedor de área, con capacidad para un volumen mayor que la cantidad de arena que se va a utilizar. Debe poseer un dispositivo tipo válvula de control para iniciar y finalizar el flujo de arena hacia el cono.
- Plato base, para realizar la calibración previa de la arena que se va a utilizar.
- Arena de Ottawa, debe ser arena limpia, seca, uniforme en densidad y gradación, durable y de flujo libre.
- Procedimiento del ensayo.
- Control de densidad del terreno
- Pesar 5 kg de arena limpia y seca. Vaciar la arena en la botella. Atornillar el cono a la botella.
- Ubicar el lugar en donde se va a realizar la determinación de la densidad y, en un cuadrado de 60 cm de lado nivelar la superficie lo mejor posible.
- Colocar la placa base sobre la superficie de suelo nivelado y enrasado.
- Excavar el suelo a través de la perforación de la placa base. La cavidad debe tener aproximadamente, la misma profundidad que el molde utilizado para calibrar la arena (10 a 15 cm aproximadamente). El material que va extrayendo de la perforación se deposita en una bolsa. El volumen mínimo de la excavación dependerá del tamaño máximo de la partícula.

Tabla 17

Tabla de volumen y profundidad mínima a excavar según tamaño de partícula en el ensayo de densidad por método de cono de arena.

Tamaño mínimo (mm)	Volumen mínimo (cm ³)	Profundidad mínima Equivalente (cm)
12.5	1420	6.2
25.0	2120	9.2
50.0	2830	12.3

Fuente: ASTM

- Colocar la botella con el cono invertido en la perforación de la placa base. Abrir rápidamente la válvula del cono y dejar que la arena llene la cavidad del suelo, la perforación en la placa y el cono.
- Cerrar la válvula e invertir el recipiente.
- Extraer la arena de la cavidad. Recuperar la porción de arena que no se haya ensuciado (después de usar varias veces la arena, se tiene que volver a lavar, secar y tamizar, para que su peso volumétrico permanezca más o menos constante).
- Depositar la arena que quede en la botella en una bolsa.
- Pesar el suelo de la perforación contenido en la bolsa. Tomar 100 g de material húmedo para determinar el contenido de humedad.
- Pasar el material por el tamiz #4, 3/8" o 3/4", lavar la fracción retenida y determinar su peso seco. Emplear el valor de Gs que se indique en el momento de la práctica.

3.4.7 Ensayo CBR.

Busca determinar el índice de resistencia de los suelos denominado valor de relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio) el suelo presenta condiciones de humedad y densidad y es el que se tomara en cuenta en este ensayo.

La normativa necesaria que referencia este ensayo se da en ASTM D 1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

Equipos necesarios para el ensayo:

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, con respecto a la penetración de un pistón en el espécimen.
- Molde de metal cilíndrico de 152.4 mm de ϕ interior y 177.8 mm de altura.
- Disco Espaciador de metal y forma circular de 150.8 mm de ϕ exterior, con un espesor de 61.37 mm.
- Pisón de compactación descrito en el ensayo de Proctor modificado.
- Aparato medidor de expansión.
- Pesas anales de metal que presenten una masa de 4.54 kg.
- Pesas ranuradas con masa de 2.27 kg.
- Pistón de penetración.
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm.
- Tanque de agua.
- Estufa, termostáticamente controlada.
- Balanzas con sensibilidades de 1g.
- Tamices N°4, $\frac{3}{4}$ " y 2".
- Misceláneos.

Muestra:

La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos de prueba NTP 339.141 o NTP 339.142 para la compactación de un molde de 152,4mm (6").

Procedimiento

Los especímenes tienen que estar sumergidos en agua por 4 días confinados en el molde se sobrecarga igual al peso del pavimento que actuara sobre el material.

Preparación de la Muestra.

- En el momento en el que más del 75% del peso de la muestra pase por el tamiz $\frac{3}{4}$ " esta se utilizara como material para el ensayo, apenas la muestra presente en el tamiz $\frac{3}{4}$ " presente un 25% del peso, se procede a separar el material retenido y este se sustituye por una proporción igual de material, el cual este comprendido entre los tamices de $\frac{3}{4}$ " y N°4.

- Una vez tomada la muestra preparada, se toman pesos de 5kg por molde de CBR y se determina la humedad óptima y la densidad máxima. Se procede a compactar los especímenes con variación en su contenido de agua, para poder establecer la humedad óptima y el peso unitario máxima. Los resultados se muestran en un diagrama de contenido de agua y se puede determinar la humedad del suelo mediante el secado de estufa, una vez conocida la humedad del suelo se le agrega o resta la suficiente cantidad de agua para el ensayo.

Se prepara el molde con las especificaciones que brinda la norma MTC E-115, y se compacta el espécimen en su interior de acuerdo al ensayo mencionado de Proctor modificado o Estándar, pero así mismo se utilizara en cada ensayo la proporción adecuada de agua y energía necesarias para que el suelo quede con humedad y las densidades que se desea.

Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Con respecto a la inmersión se tiene que colocar sobre la superficie de la muestra invertida la placa con vástago, una vez hecho esto se tienen que ubicar sobre esta superficie los anillos para completar una sobrecarga que produzca una presión equivalente a la originada por las capas de materiales presentes sobre el suelo.

Por otro lado, para la penetración se aplica una sobre carga para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento no menos a 4.54 kg. Es necesario asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga, para evitar el empuje producido por el suelo dentro del agujero. Estos conjuntos tienen que ser procesado en la prensa. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón aplicándole una carga de 50N para que el pistón llegue a asentarse. Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde. Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto.

3.4.8 Ensayo de corte directo en condiciones consolidado drenado.

Método basado en las normas ASTM D 3080 y AASHTO T 236 (MTC E 123 -2000)

Objetivo

Determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada drenada, mediante el ensayo de corte directo. Este método se puede ejercer en todo tipo de suelos que no hayan sido alterados o remodelados.

- El ensayo se desarrolla
- Colocación de la muestra en el dispositivo de corte
- Aplicación de una carga normal
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra
- Consolidación de la muestra
- Liberación de los marcos que sostiene la muestra
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra

Equipo

- Dispositivo de carga.
- Piedras porosas
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte
- Cuarto húmedo
- Equipo para el corte de la muestra
- Balanza
- Deformímetros o diales
- Estufa y u horno de secado
- Recipientes para muestras de humedad
- Equipo para el remoldeo o compactación de probetas
- Misceláneos (cronometro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada)

Preparación de la muestra

La pérdida de humedad en la muestra debe de ser insignificante al momento de preparar la muestra. Posterior a ello, la muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo y se determina su peso inicial para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad. El espesor mínimo de la muestra a ensayar debe ser menor a $\frac{1}{2}$ " mas no menor a un sexto del tamaño máximo de las partículas del suelo. La relación mínima diámetro/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.

Procedimiento de ensayo

- Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados se bloquea y se le aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación.
- La muestra se introduce y se conecta el dispositivo de carga para posteriormente ajustar el dial y poder medir la deformación durante el corte, el cambio de espesor.
- Una consolidación inicial de la muestra debe ser permitida, bajo una fuerza normal adecuada, para posteriormente aplicar una fuerza predeterminada. Se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra y permitir el drenaje, así como una nueva consolidación de la muestra.
- La fuerza normal aplicada a las muestras dependerá la información requerida. La fuerza no debe ser tan grande que haga fluir el material constitutivo de la muestra por fuera del dispositivo de corte.
- En el proceso de consolidación se deben de registrar las lecturas de deformación normal en sus tiempos apropiados antes de aplicar un nuevo incremento de fuerza
- Los incrementos de fuerza normales deben de durar hasta la finalización de la consolidación primaria, así mismo el último incremento debe completar la fuerza especificada.
- Representación gráfica de la deformación normal vs el tiempo.
- Corte de la muestra. Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos al separarlos aproximadamente 0.25 mm, para así permitir el corte de la muestra.

Conclusiones del capítulo

La escoria negra no presenta la cantidad necesaria de finaos en su granulometría para componer un afirmado tipo 1, por tal motivo es necesario agregar un 10% de material fino del total.

Con los resultados del segundo ensayo se determinó que el material no presenta límite líquido ni límite plástico, según la normativa del MTC E110, el material no debe presentar más del 35% con respecto al límite líquido, ya que las EAFS no presentan límite líquido, esta se encuentra dentro de los rangos estipulados.

Mediante el ensayo de Proctor modificado tipo B se pudo determinar una densidad máxima seca de 1.924 gr/cm² y un contenido óptimo de humedad de 9.20%.

Las EAFS después de ser sometidas por el aparato de prueba de VIA, mostraron un desgaste de 18.04%. La normativa del MTC 207 busca un desgaste máximo de 50%, por lo que las escorias negras no tienen un desgaste rápido.

Mediante el ensayo de densidad de campo se obtuvo un promedio de 87.09% de nivel de compactación, la normativa del MTC requiere un porcentaje mínimo de 85%.

La norma presentada por el MTC E 132 busca un CBR (100% M.D.S.) 0.1% con un mínimo del 40%, la escoria negra presenta un promedio de 50.03% lo que está dentro del porcentaje admitido por la norma y por consiguiente el material es óptimo para su uso en afirmado.

3.5 Métodos de diseño de espesor de capa para afirmados.

3.5.1 Método AASHTO 1993.

El método AASHTO se basa en hallar el espesor de la capa de rodadura de afirmado en base a tres parámetros importantes.

Primero analiza la región climática sobre la cual se quiere realizar el proyecto de vía terrestre tipo afirmado, para ello clasifica las regiones, sobre las cuales trabaja esta norma, en 6 tomando en cuenta si es una región húmeda o seca y si es susceptible a heladas o no siguiendo la clasificación de la siguiente tabla.

Tabla 18

Cuadro de regiones climáticas para espesor de afirmado método AASHTO.

Región	Características
I	Húmeda, sin heladas.
II	Húmeda, con ciclos de congelamiento y deshielo.

III	Húmeda, con alta penetración de la helada.
IV	Seca, sin helada.
V	Seca, con ciclos de congelamiento y deshielo.
VI	Seca, con alta penetración de la helada.

Fuente: ASTM

El segundo parámetro a tomar en consideración es la calidad relativa del suelo de subrasante, de acuerdo a la calidad del tipo de suelo con la que se trabajara para realizar el afirmado y a su vez con la región climática en donde se ejecutara el proyecto, este parámetro toma en cuenta las seis regiones climáticas del primer parámetro como la clasificación de la calidad relativa del suelo a trabajar ya sea muy pobre, pobre, regular, buena y muy buena en donde se tomó como dato el módulo resiliente efectivo en lb/in² o psi.

Tabla 19

Calidad relativa del suelo de subrasante método AASHTO.

Región Climática	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy buena
I	2800	3700	5000	6800	9500
II	2700	3400	4500	5500	7300
III	2700	300	4500	4400	5700
IV	3200	4100	5600	7900	11700
V	3100	3700	500	6000	8200
VI	2800	3100	4100	4500	5700

Fuente: ASTM

Para hallar el módulo resiliente efectivo en psi del material a analizar se hace uso de la ecuación:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

Por último, el tercer parámetro a tomar en consideración es el nivel de tránsito para el cual se diseñará la vía de afirmado, este parámetro se basa en tres niveles de transito; bajo, medio y alto, se considera para definir el nivel de transito el número de ejes equivalentes de 80 kN para lo cual se rige con la siguiente tabla.

Tabla 20

Nivel de transito AASHTO

Nivel	Numero de ejes equivalentes de 80 kN
Alto	60000 – 100000
Medio	30000 – 60000
Bajo	10000 - 30000

Fuente:AASHTO

Una vez que se tienen los resultados de las muestras ensayadas se procede a clasificar los resultados e interpretarlos en la tabla para poder hallar el espesor que debe tener la capa de afirmado teniendo en cuenta todo lo que se pudo hallar con los 3 parámetros anteriores.

Tabla 21

Tabla de espesor de capa de afirmado método AASHTO.

Calidad relativa del suelo de subrasante	Nivel de tránsito	Región Climática					
		I	II	III	IV	V	VI
		Espesor de afirmado en pulgadas					
Muy Buena	Alto	8	10	15	7	9	15
		6	8	11	5	7	11
	Medio						
		4	4	6	4	4	6
Buena	Alto	11	12	17	10	11	17
		8	9	12	7	9	12
	Medio						
		4	5	7	4	5	7
Regular	Alto	13	14	17	12	13	17
		11	11	12	10	10	12
	Medio						
		6	6	7	5	5	7
Pobre	Alto	**	**	**	**	**	**
		**	**	**	15	15	**
	Medio						
		9	10	9	8	8	9
Muy Pobre	Alto	**	**	**	**	**	**
		**	**	**	**	**	**
	Medio						
		11	11	1	8	8	9

** Nota: Se recomienda la construcción de un pavimento.

Fuente: AASHTO

3.5.2 Método de Dakota del Sur.

Este método se basa en dos parámetros los cuales son el numero diario estimado de vehículos pesados que fuesen a transitar por la obra vial de afirmado, los rangos que se ven afectados por este método son de 0 a 5 vehículos por día, asimismo de 5 a 10, de 10 a 25 y finalmente de 25 a 60 y el segundo parámetro se basa en la condición de soporte de la subrasante que pueden ser suelo con CBR; alto, medio o baja, con los datos de estos dos datos se puede coger un estimado de espesor de capa de rodadura afirmada.

Para determinar la condición de soporte de la subrasante se debe ver los resultados de CBR hallados, e interpretarlos según los siguientes parámetros:

- Capacidad baja $CBR \leq 3$
- Capacidad media $3 < CBR \leq 10$
- Capacidad alta $CBR > 10$

Ya sabiendo el número de vehículos pesados que circularan aproximadamente por la obra de arte y también al saber la condición de soporte del suelo se plasma lo encontrado sobre los cuadros de los respectivos métodos y se halla nuestras respuestas finales.

Tabla 22

Cuadro para calcular el espesor, método AASHTO.

Numero diario estimado de vehículos pesados	Condición de soporte de la subrasante	Espesor mínimo sugerido de afirmado, mm (in).
De 0 a 5	Baja	165 (6.5)
	Media	140 (5.5)
	Alta	115 (4.5)
De 5 a 10	Baja	215 (8.5)
	Media	180 (7.0)
	Alta	140 (5.5)
De 10 a 25	Baja	290 (11.5)
	Media	230 (9.0)
	Alta	180 (7.0)
De 25 a 50	Baja	370 (14.5)

Media	290 (11.5)
Alta	215 (8.5)

Fuente: AASHTO

3.5.3 Parámetros mínimos establecidos por el MTC para espesores de capa, para vías afirmadas de bajo tránsito.

Proyectando los métodos internacionales mencionados deben ser comparados con las normativas peruanas en cuanto a los parámetros que deben poseer las vías afirmadas de bajo tránsito dentro de nuestro país, por ello se recurre a la siguiente tabla proporcionada por el MTC dentro de sus normas de diseño de vías.

Tabla 23

Características Básicas para la superficie de rodadura de los caminos de bajo volumen de tránsito.

CAMINO DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO CALZADA (m)	ESTRUCTURA Y SUPERFICIE DE RODADURA – ALTERNATIVAS (**)
T4	201 - 400	2 carriles 6.00 – 7.00	Afirmado (material granular, grava, homogenizado natural o por chancado tamaño máximo 5 cm) con superficie de rodadura (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T3	101 - 200	2 carriles 5.50 – 6.60	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51 - 100	2 carriles 5.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16 - 50	1 carril(*) ó 2 carriles 3.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o a mano, tamaño máximo 5 cm). perfilada y compactada, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3.50 – 4.50	Afirmado (tierra). En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana los caminos puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento ó cal ó productos químicos u otros.

Fuente: MTC

3.5.4 Capacidad de carga por Brinch Hansen 1970.

En esta parte de la investigación se busca establecer las medidas para hallar la capacidad portante del afirmado, la presión que se puede ejercer sobre el terreno sin peligro alguno, en base a cálculos por medio de las teorías planteadas por Brinch Hansen

Considera la formula general planteada por Terzagui así como los factores de capacidad de Prandt y Reissner (UPC 2016) .

Con la formula general:

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Factores de capacidad planteados:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) e^{\pi \tan \phi} N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Hasen plantea los factores de corrección por:

- Forma (s)
- Profundidad (d)
- Inclinación de carga (i)
- Talud Próximo a cimentación (g)
- Inclinación de base (b)

Debido a que la presente investigación es enfocada al diseño de un afirmado en zonas rurales, se tomara por conveniente desarrollar únicamente los factores de corrección por forma y profundidad, ya que estos son en mayoría los casos típicos que se presentaran.

Se omitirán los factores de corrección por inclinación, talud próximo a cimentación e inclinación de base, ya que estos al no ser considerados tienen el valor de la unidad (1) y no alteran el resultado final.

Los Factores de corrección dependen de la cohesión y el ángulo de fricción del suelo, en este caso la escoria negra, para lo cual es necesario realizar el ensayo de corte directo y así obtener dichos valores.

Factores de corrección por forma.

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c} S_q = 1 + \frac{B}{L} \operatorname{tg} \phi S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} \operatorname{Si} \frac{Df}{B} > 1$$

Factores de corrección por profundidad.

$$d_c = 1 + 0.4 \operatorname{arctg} \left(\frac{Df}{B} \right)$$

$$d_q = 1 + 2(\operatorname{tg} \phi)(1 - \operatorname{sen} \phi)^2 \operatorname{arctg} \left(\frac{Df}{B} \right) d_\gamma = 1 \quad \operatorname{Si} \frac{Df}{B} \leq$$

$$d_c = 1 + 0.4 \frac{Df}{B} d_q = 1 + 2(\operatorname{tg} \phi)(1 - \operatorname{sen} \phi)^2 \frac{Df}{B} d_\gamma = 1$$

Factores de corrección por inclinación.

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\beta}{90} \right)^2 i_\gamma = \left(1 + \frac{\beta}{\phi} \right)^2$$

4 ESTADOS DEL ARTE DEL USO DE RESIDUOS DE ACERO EN OBRAS VIALES

4.1 Estados del arte de parámetros de reciclaje de las mermas de acero.

La escoria siderúrgica al salir del horno requiere de un tratamiento que modifique sus características para que las propiedades técnicas sean plenamente satisfactorias. La concienciación sobre este aspecto a nivel mundial, hace que las posibilidades de uso del árido siderúrgico estén aumentando (Fernández, 2015).

La problemática de reutilizar las escorias de acería en el sector de la construcción se basa en su posible inestabilidad volumétrica debido a la presencia de ciertos compuestos no deseados. Por lo tanto, resulta de especial interés estudiar los fenómenos que producen expansiones, a continuación, se presentan los cuatro más importantes (Fernández, 2015).

- Conversión de fases del silicato bicálcico
- Hidratación y carbonatación de la cal libre
- Hidratación del óxido de magnesio libre
- Oxidación de Fe^{+2} a Fe^{+3}

Conversión de fase del silicato bicálcico:

Durante el proceso de enfriamiento de las escorias, desde las temperaturas de 500°C y 400°C, la forma cristalina beta se transforma en la forma gamma con un incremento de volumen del 10 o 12 %. Este proceso del cambio alotrópico del silicato bicálcico, se traduce en una roca cuarteada. Dicha transformación finaliza una vez se ha enfriado la escoria a la temperatura ambiente (Fernández, 2015).

Hidratación y carbonatación de la cal libre:

La presencia de cal en las escorias se debe a la necesidad de producir aceros de alta calidad. La cal de las escorias enfriadas está ligada principalmente en forma de silicatos (C_3S , C_2S), ferritos y aluminatos; pero según el desarrollo del proceso metalúrgico pueden contener cantidades apreciables de cal libre no ligada en las escorias. Esta cal libre, en presencia de humedad, se hidrata y produce un aumento de volumen (Fernández, 2015).

La porosidad de las escorias negras juega un papel importante, ya que cuanto más porosidad más factible será la hidratación y el consiguiente aumento de volumen. Estudiando de forma aislada la hidratación de la cal libre, las reacciones son las siguientes (Fernández, 2015).

La reacción de hidratación de la cal se describe según la ecuación:

Es decir, la hidratación de 1 cm³ de CaO produce 1.97 cm³ de Ca(OH)₂.

Como consecuencia de la hidratación anterior, se produce la reacción de carbonatación según la ecuación:

Es decir, la hidratación y la carbonatación de 1 cm³ de Ca(OH)₂ produce 1.11 cm³ de CaCO₃.

Entonces el proceso de hidratación de la cal y la posterior carbonatación se traduce en una expansión del 119% respecto el volumen inicial, 1 cm³ de cal se transforma en 2,19 cm³ de carbonato cálcico (Fernández, 2015).

Hidratación del óxido de magnesio libre

Se conoce como magnesio libre a los óxidos de magnesio no ligados químicamente que se encuentran en forma cristalina (denominada periclase), las wustitas (Fe₂MgO) con más del 70% en peso de MgO (menor reactividad que la primera) y los óxidos de magnesio no ligados químicamente dentro de la fase vítrea (reactividad prácticamente nula) (Fernández, 2015).

Se traduce en que la hidratación de 1 cm³ de MgO produce 2.19 cm³ de Mg(OH)₂, representando un aumento de 119%. (En escorias blancas la hidratación será más rápida debido a la mayor superficie específica).

Oxidación de Fe⁺² a Fe⁺³

En general, la mayor parte de escorias poseen óxidos de hierro totalmente estables. No obstante, cuando hay la presencia de escamas finas o de granulados, se pueden asociar por la oxidación de Fe⁺² a Fe⁺³. Cuando sucede este fenómeno este material no es susceptible de ser usado como material de construcción. El conjunto de reacciones que lleva el aumento de volumen, se halla a partir del hierro metálico FeO sufriendo los procesos de oxidación y corrosión. Las principales ecuaciones de oxidación y de corrosión se presentan a continuación (Fernández, 2015).

Reacciones de oxidación:

Reacciones de corrosión:

Puede Observarse que el aumento de volumen del hierro debido a estas reacciones varía según el tipo de reacción que se produzca.

Existen otros factores de influencia sobre la resistencia al hinchamiento, aunque son de menor importancia también se deben tener en cuenta como son la porosidad de la escoria, el tamaño de grano de la cal libre y el tamaño granulométrico de la escoria.

En resumen, la expansividad de las escorias de acería es resultado del proceso de hidratación del óxido de calcio libre y del óxido de magnesio reactivo. Además, también pueden causar reacciones expansivas la transformación de fase β -silicato dicálcico, los procesos de corrosión y oxidación del hierro, y la carbonatación del hidróxido cálcico (Fernández, 2015).

La siguiente tabla recoge las distintas especies químicas susceptibles a producir expansión, así como los parámetros que intervienen y los mecanismos por los cuales se produce dicha expansión.

Tabla 24

Especies químicas susceptibles a producir expansión.

Especies químicas	Parámetros que influyen en la expansión	Mecanismo
CaO, MgO y C2S	↑Valor de la especie en estado libre	Hidratación
	↑Humedad	
	↑Temperatura	

	↑Valor de CO ₂	
	↓Tamaño de los granos de escoria	
	↑ Valor de Fe ₀	
	↑Humedad	
	↑Tiempo de exposición al aire	Corrosión y
Fe ₀ , Fe ₊₂ y Fe ₊₃	↓Valor de oxígeno en el enfriamiento	oxidación
	↓ Tamaño de los granos de escoria	
	↑Valor de CO ₂	
	↑Humedad	
Ca(OH) ₂	↑Temperatura	Carbonatación
	↓ Tamaño de los granos de escoria	

Fuente: Fernández

Se presentan a continuación métodos para el tratamiento de la escoria con el fin de dar estabilidad volumétrica, destacando los siguientes (Fernández, 2015):

- Envejecimiento de la escoria en pilas expuestas a la intemperie durante un cierto periodo de tiempo, con la finalidad de hidratar el calcio libre y la magnesia, formando hidróxidos. En algunos casos se esparce agua en las pilas para acelerar la hidratación del MgO.
- Envejecimiento acelerado de la escoria a través de la cura al vapor. Teniendo un aumento significativo de los costes de curado.
- Tratamiento de la escoria líquida a través de la adición de materiales silíceos e inyección de oxígeno en una cuchara de escoria separada del proceso de fabricación de acero, de modo que no influya la calidad del producto de acero.
- Adición de arena y oxígeno a la escoria líquida generando un calor adicional que mantiene líquida la escoria y disuelve la arena. La reacción es que la relación CaO / SiO₂ se reduce y la cal libre reacciona químicamente estabilizándose. La composición química de la escoria también puede alterarse a través de fragmentos de vidrio en combinación con la inyección de oxígeno.

4.2 Estados del arte de parámetros Preliminares de diseño según MTC.

Este tipo de afirmado corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica y aprobación del supervisor. Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito, clases T0 y T1, con IMD proyectado menor a 50 vehículos día ya que en zonas rurales las vías terrestres poseen bajo tránsito vehicular. (MTC 2008)

Materiales

Los agregados para la construcción del afirmado deberán ajustarse de acuerdo a la siguiente franja granulométrica: (MTC 2008)

Tabla 25

Franja granulométrica para afirmado tipo 1.

Tamiz	Porcentaje que pasa por el tamiz. Afirmado Tipo 1
50 mm (2")	100
37.5 mm (1 ½")	100
25 mm (1")	90 – 100
19 mm (¾")	65 – 100
9.5 mm (3/8")	45 - 80
4.75 mm (N°4)	30 - 65
2.00 mm (N°10)	22 - 52
425 um (N°40)	15 - 35
75 um (N°200)	5 - 20
Índice de plasticidad	4 – 9

Fuente: MTC

Para el caso del porcentaje que pasa el tamiz 75 um (N° 200), se tendrá en cuenta las condiciones ambientales locales (temperatura y lluvia), especialmente para prevenir el daño por la acción de las heladas. En este caso será necesario tener porcentajes más bajos al especificado que pasa el tamiz 75 um (N° 200).

Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- CBR¹: 40% mín. (MTC E 132)

Calidad de los agregados:

Los agregados deberán cumplir los requerimientos de los ensayos mostrados en la siguiente tabla y deberán cumplir con las especificaciones anteriormente mencionadas.

Tabla 26

Ensayos para afirmado según MTC, ASTM y AASHTO.

Material Producto	o Propiedades Características	y Método Ensayo	de Norma ASTM	Norma AASHTO
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 27
	Límites de consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89
	Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193
	Densidad - humedad	MTC E 115	D 1557	T 180
	Compactación	MTC E 117	D 1556	T 191
		MTC E 124	D 2922	T 238

Fuente: MTC

Valorización de escorias de acería en la construcción de pistas forestales

Las especiales condiciones orográficas y climatológicas de Gipuzkoa, caracterizada por las fuertes pendientes y una elevada pluviometría, hacen inevitable la estabilización de los caminos y pistas forestales mediante áridos, hormigón u otros materiales que impidan su deterioro y los fenómenos de erosión derivados del arrastre por escorrentía de la capa de suelo. La aportación procedente del exterior de materiales inadecuados para mejorar el afirmado y/o la rodadura puede provocar la contaminación del medio físico, que ha de evitarse desde el principio de sostenibilidad, teniendo en cuenta tanto los aspectos socioeconómicos como los ambientales, legales y técnicos de las diferentes alternativas posibles. (Sustrai, 2004)

¹ Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm) (MTC 2008)

Aspectos socioeconómicos

El empleo generalizado de hormigón u otros materiales habituales de construcción resulta inviable en vías de afirmado por razones de coste, que en la práctica obligan a recurrir al aprovechamiento de subproductos y residuos procedentes de otros sectores. Así, en Gipuzkoa existe una amplia tradición muy arraigada en el sector forestalista, y que se remonta a más de cuarenta años, por la que se han venido afirmando las pistas a partir de escorias de acería procedentes del sector siderúrgico. La mayoría de las pistas afirmadas con escorias de la red existente satisfacen plenamente los requerimientos de la actividad forestal, sin que a lo largo de los años se hayan observado síntomas de afección a los suelos, las aguas, la fauna o la flora. (Sustrai 2004)

Aspectos medioambientales

Las escorias de acería de horno de arco eléctrico se clasifican como Residuos no Tóxicos ni Peligrosos, tanto en el Catálogo Europeo de Residuos como en la legislación estatal. Por otro lado, en la legislación de la CAPV, las escorias de acería están clasificadas como residuo industrial inerte. Esta clasificación es coherente con la definición de residuo inerte de la Directiva 1999/31 relativa al vertido de residuos, ya que las escorias de acería “...no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas... no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana”. (Sustrai, 2004)

Aspectos técnicos

En Gipuzkoa se construyen pistas forestales de una única capa (“de rodadura”, según la propia definición del Decreto), constituida por el material procedente de la excavación del propio monte, sin más acabado, o con aportaciones de material de cantera, o de escoria negra, escoria blanca o de una mezcla de ambas, generalmente en proporciones de 3:1 o 4:1. Los dos tipos de escorias presentan una composición y propiedades totalmente diferentes, pero que se complementan de forma muy satisfactoria cuando se emplean como mezcla, tanto desde el punto de vista forestal como medioambiental. En contraste con la escoria negra, que es un material granular de elevada dureza, con alto contenido en algunos metales pesados, la escoria blanca es blanda, apenas contiene metales pesados y posee una elevada basicidad,

debida a su alto contenido en cal libre. Esta última, al hidratarse realiza una función cementante, lo que hace que la capa de rodadura construida con una mezcla de escoria negra y blanca adquiera unas propiedades, en términos de resistencia mecánica y de impermeabilidad, que la hacen adecuada para satisfacer las necesidades del sector forestal. Es decir, la escoria blanca efectúa una función “ligante” de la escoria negra (que actúa como árido), análoga a la del cemento o de cualquier betún asfáltico, de manera que, en la capa de rodadura así construida, la escoria negra (originariamente en un estado físico granular, de elevada superficie específica y sometida, por tanto, a un elevado potencial de lixiviación) se incorpora a una mezcla que adopta la forma de un bloque sólido. La protección de la escoria negra que proporciona este aislamiento equivale, al menos en apariencia, a la de los betunes asfálticos en capas de rodadura o a la de la propia capa de rodadura sobre las escorias utilizadas en forma granular como explanadas, bases y subbases de carretera. De hecho, en la práctica no se ha observado ningún efecto fitotóxico que limite el crecimiento de las plantas en el entorno inmediato a las pistas, hasta el punto de que incluso los bordes de las mismas, en que el tráfico rodado es mínimo o inexistente, acaban siendo colonizados por la vegetación arbustiva autóctona. (Sustrai, 2004)

4.3 Estados del arte sobre la experiencia internacional con el uso de escorias negras.

Tomar en cuenta el reciclaje de los desechos de diversas industrias es algo común en diversos países y es a lo que se plantea enfocar como un objetivo específico ,para la siguiente tesis, con respecto al uso de escorias estas se están promoviendo con el uso en la industria cementera , como aporte de hierro en la fabricación del Clinker; con su uso en capas de rodadura, la escoria se presenta como ligamento bituminoso en las capas asfálticas de carreteras; así mismo presenta un uso en terraplenes, bases y subbases en carreteras(relleno de terrenos y restauración de espacios degradados).

Para el presenta caso se tienen en cuenta las propuestas como fuentes de apoyo enfocadas en su uso para carreteras afirmadas.

Se tiene la fuente “Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno eléctrico de arco eléctrico”, el cual fue elaborado por Frías, Sánchez y Uría en el año 2012, esta fuente de investigación procede del país de España y data de la siguiente información:

Los profesionales a cargo de la investigación estudiaron 2 tipos de escorias provenientes de plantas de acería, para poder determinar químicamente los principales compuestos que las contiene y que causan los posibles efectos expansivos. De la investigación se pudo resaltar que las escorias presentan compuestos perjudiciales en muy baja cantidad, por lo que no habría problema con la inestabilidad en presencia de agua. Se investigó los 2 tipos de residuos que produce la industria siderúrgica (negra y blanca), de las cuales se dedujo que la escoria de acería es un material utilizable en caminos forestales y cumple los requisitos para las normativas del país. Además, la escoria de arco eléctrico al presentar MgO muestra una capacidad como material de agregado e capas de afirmado de carreteras y capas de rodadura bituminosa, esta información fue obtenida gracias al ensayo “steam test”.

Por otro lado, se presenta la tesis doctoral correspondiente al “Aprovechamiento de escorias blancas (LFS) y negras (EAFS) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales, esta tesis fue elaborada por Vanesa Ortega en el año 2011, en Burgos Madrid del país España y data de la siguiente información:

La PhD. Ortega afirma que los subproductos de la industria del acero pueden ser utilizados en obras de ingeniería, las escorias de horno cuchara (LFS) presentan un comportamiento similar con respecto a las mezclas de suelo y cal y registrar así una mejora de las propiedades para el suelo por su expansividad y su capacidad portante. La siguiente área de estudio son las escorias de horno eléctrico de arco (EFAS) con respecto a su uso en capas de firme para carreteras, ya que presenta propiedades similares a las zahorras artificiales.

En continuación al estado del arte se tiene la fuente del “Empleo de agregado siderúrgico (escoria de acería) en base y revestimiento de pavimento en calles de la municipalidad de la ciudad de rio de janeiro”, esta fuente de investigación fue elaborada por Machado en el año 2009, en Brasil. Para la universidad de Bello Horizonte.

El contexto brasileño ha tenido avances constructivos en las últimas décadas, los cuales se aprecian por un lado en la evaluación de escorias negras para tramos de carretera de 1.3, 1.7, y 4.5 km de una avenida con altos volúmenes de tránsito. Para las capas de base granular y carpeta asfáltica la escoria de horno de arco eléctrico, la que presento buenas características con el coeficiente de desgaste y un índice CBR superior al 100%.

“Los porcentajes de uso para la capa binder de 56.9% de escoria. 37.9% de agregado natural y 5.2% de cemento asfáltico y para la carpeta asfáltica se usó 42.4% de escoria, 51.9% de agregado natural y 5.7% de cemento asfáltico.” (Machado, 2009)

Por otro lado, se tiene la investigación involucrada con el uso de escorias negras, con el título de “Utilización de las escorias de acería como material de construcción”, desarrollado por Maile Boza, en el año 2001. El país involucrado con este estudio es Cuba. Referenciado por la universidad de Holguín.

Para esta investigación se realizó una recopilación de fuentes a nivel internacional, de las cuales se buscaba las características fisicoquímicas de las escorias de horno de arco eléctrico y su respectivo uso como agregado en la construcción. Posteriormente se estudió la posibilidad de emplear este residuo, para lo que se tuvo que realizar diferentes ensayos, como espectroscopia de absorción infrarroja, con lo que se pudo identificar la existencia de reacción hidráulica; hecho esto se procedió a evaluar el comportamiento del residuo como un agregado, con respecto al tiempo de fraguado, estabilidad volumétrica y su capacidad portante. En conclusión, del estudio se pudo observar que las escorias negras son buenas como materiales para sub-base, base y mezclas asfálticas.

Para terminar, se encontró la fuente siguiente con el título “Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco municipio de Tuta Boyacá”, la cual es una tesis pregrado

Las autoras de la tesis mencionada estudiaron el aprovechamiento de las escorias negras (EAFS) como agregado para el concreto evaluando de forma técnica, financiera y la factibilidad de su uso, y se pudo concluir su uso como agregado grueso, para mejorar la resistencia al desgaste, incrementar el peso específico y dureza y en conjunto un mayor resultado con respecto a la resistencia a la compresión. Además, las tesis tuvieron la oportunidad de dirigir trabajos de grado con el uso de escorias negras en carreteras afirmadas.

“Se evaluó de manera experimental las posibilidades de uso de las escorias negras de horno de arco eléctrico en bases y subbases granulares, mezclas asfálticas en caliente (para unas cuantas dosificaciones) y mezclas asfálticas en frío, obteniendo resultados favorables en muchos casos.” (Parra y Sánchez, 2010)

Las escorias negras presentan estudios desde hace años atrás específicamente desde 1956, y en la mayoría de estudios se puede observar (por importancia de esta investigación) que la

EAFS poseen propiedades de resistencia al desgaste por abrasión (inferior al 35%) y CBR superiores al 100%.

4.4 Estado del Arte del impacto ambiental sobre escorias negras.

Podemos mejorar la mayoría de estudios enfocados a la construcción, con diversos métodos, aplicaciones, o materiales. Pero estos, así como tienen mejores fundamentos en el marco teórico y experimental también lo deben de tener en el aspecto ambiental, ya que se podría empeorar la situación del estudio en caso de no seguir con los parámetros respectivos. Dicho esto, se realizó una búsqueda con respecto de distintas fuentes que puedan servir de ayuda para establecer un estado del arte del impacto ambiental ejercido por escorias negras.

En primer lugar, tenemos la tesis “Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco, Municipio Tuta Bocaya, la cual fue presentada con anterioridad en el estado del arte de experiencia internacional, para este caso se buscan sus características de impacto ambiental.

La tesis presenta 2 sub capítulos dedicados a la Gestión Ambiental y a un análisis del impacto ambiental producido por las escorias negras. El primer título nombrado incluye Características de la Empresa que brindo el material (Planta de Diaco Tuta), la cual obtuvo una certificación ISO 14001-SGA que refleja la implementación de un sistema efectivo en gestión ambiental que reduce la potencia riesgo ambiental². Así como la gestión del recurso aire, con el fin de dar control a las emisiones y en conocimiento que el sistema de depuración es incapaz de procesar la totalidad del flujo de gases generados por la operación e los hornos en la acería, La gestión de residuos industriales, divididos en:

- Escoria negra
- Escoria blanca
- Polvo depurador
- Cascarilla
- Tierra de Chatarra de la fragmentadora
- Aceites Usados
- Mangas usadas, EPP contaminados y otros

² Parra Y Sánchez, 2010, tesis. página 36

- Residuos Hospitalarios

Por última instancia de la subunidad se puede apreciar la gestión del recurso hídrico con las siguientes características:

La producción del acero no requiere un alto consumo del recurso hídrico, su uso se presenta en la refrigeración de ductos, cámara de combustión y moldes de la máquina de colada continua con el objeto de bajar la temperatura y proteger las estructuras. Debido a que el agua no entra en contacto con el material lo anterior se hace mediante circuitos cerrados. (Parra y Sanchez, 2010. pag45)

El segundo Subcapítulo muestra el análisis del impacto ambiental generado por las escorias negras, por lo que se identificaron los aspectos ambientales con respecto a las actividades comprendidas en el procesamiento de escorias, el impacto como frecuencia del suceso gravedad, extensión y según el tipo de incidencia o periodo en el que ocurre un suceso, para hacer esto posible se establecieron los siguientes criterios.

Criterios cualitativos.

Dentro de este grupo se encuentra la incidencia, la cual depende de los actores que se ven involucrados en la actividad; la temporalidad, esta clasifica las actividades con el tiempo en las que ocurren; la situación, busca valorar los impactos ambientales de las actividades que contempla.

Criterios cuantitativos

Dentro de este grupo podemos observar como criterios la frecuencia, la cual establece las cantidades de veces que ocurre algún evento; la Gravedad, este criterio está relacionado con la severidad del impacto; La Extensión, está relacionada con el área que impacto la actividad; el resultado, es el valor promedio de los valores de los criterios cuantitativos por un factor que permita evaluar la calificación en una escala del 1 al 100.

La siguiente tabla muestra la valoración de los impactos ambientales por gestión de escorias negras con respecto a la empresa evaluada por las tesisas:

En segundo lugar, tenemos el “estudio de la emisión de contaminantes de la escoria negra de acería en suelos naturales”, Elaborado por Alejandro Morales Caparros. Para la universidad Politécnica de Catalunya, en España, en el año 2014.

Tabla 27

Aspectos e impactos ambientales.

ASPECTOS E IMPACTOS			CRITERIO DE EVALUACION				Resultado	Significancia
Item	Actividades/ Instalaciones / Equipos	Aspecto Ambiental (Causa)	Impacto Ambiental (Efecto)	Incidencia	Temporalidad	Situación		
1	Vaciado de escoria del horno eléctrico	Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
		Escoria sobre suelo	Contaminación del Suelo	D	A	N	5	3
2	Transporte bóveda -patio de Coproductos	Emisión de material particulado y gases vehiculares	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	3
3	Almacenamiento temporal en patio de acopio	Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	3
		Escoria sobre suelo	Contaminación del Suelo	D	A	N	5	3
		Arrastre de material por precipitación	Contaminación del Suelo	D	A	N	5	3
4	Trituración primaria	Ruido	Contaminación sonora	D	A	N	5	1
		Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
		Emisión de gases vehiculares	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
5	Cargue de escoria a la tolva de alimentación de la planta de Coproductos	Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
		Emisión de gases vehiculares	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
		Ruido	Contaminación sonora	D	A	N	5	1
6	Trituración secundario	Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
		Ruido	Contaminación sonora	D	A	N	5	1
		Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
7	Separación magnética	Ruido	Contaminación sonora	D	A	N	5	1
		Escoria sobre suelo	Contaminación del Suelo	D	A	N	5	3
		Material ferroso sobre suelo	Contaminación del Suelo	D	A	N	5	3
8	Aplamamiento de materiales	Emisión de material particulado	Contaminación Atmosférica	D	A	N	5	1
				D	A	N	5	1
				D	A	N	5	1

Fuente: Parra y Sanchez

El trabajo busca estudiar la opción de utilizar un residuo procedente de la industria siderúrgica escoria negra, como capa de subastro para un tramo ferroviario, desde una perspectiva ambiental. El estudio comparo los resultados con valores de legislación catalana, y así determinar el impacto ambiental por lixiviación de las escorias negras. Por otro lado, de qué manera influye la superficie específica de partícula en la liberación de los distintos metales pesados, así como la posible retención por el suelo de algunos metales pesados al estar en contacto con la muestra masa. Por lo consiguiente se llegó a

La conclusión de que la aplicación de la escoria siderúrgica, como material para capas de sub - balasto, desde una perspectiva ambiental, es correcta.

En continuación al estado del arte se encuentra el “Estudio de Evaluación Conjunta de Impacto Ambiental de la Modificación Puntual de las Normas Subsidiarias de Zumárraga referida al Sector Z.1.2. Acería 2 y Ámbito Z.0.3. Monte Forestal” en cual fue elaborado en mayo del 2010 por el planteamiento Municipal del Zumárraga.

El estudio presenta un Capítulo destinado a un plan de prevención y gestión de residuos no peligrosos de la CAPV, en la cual señalan que las escorias de la industria del hierro y el acero constituyen el residuo más importante en términos de generación, debido a que presentan un tercio de total de residuos inventariados, por lo que priorizan las iniciativas para la construcción de plantas de tratamiento de escorias que permitan mejorar sus propiedades y de esta forma se establezca su utilización en carreteras y otras construcciones.

Línea de actuación

- 1: Establecer los parámetros de calidad básicos.
- 2: Adquirir un compromiso para el uso preferente, de las escorias negras frente al material de cantera para aquellas aplicaciones cuyo uso este validado.
- 3: Favorecer la implantación de infraestructuras de pretratamiento de escorias negras de acería, por el que se establecen las normas básicas para la concesión de subvenciones a Empresas en materia de Medio Ambiente y/u otros instrumentos económicos.

4: Establecer el año a partir del cual se incluya en las Autorizaciones Ambientales Integradas de los vertederos la prohibición de vertido de las escorias negras de acería procedentes de la fabricación del acero común.

Para concluir esta sección del estado del arte, se encontró la ficha técnica “escorias de Acería de Horno de Arco eléctrico”, la cual fue elaborada por el Ministerio de Medio ambiente, medio rural y marino, en España. Esta investigación fue elaborada en diciembre del 2011.

Según estudios previos con respecto al uso de la escoria negra se pudo concluir que no presenta ninguna limitación desde el punto de vista técnico ni medioambiental. Dicho esto, el control de calidad medioambiental de las escorias se da con la determinación de metales presentes en el Clinker elaborado y las partículas de suspensión emitidas. Esto para su utilización el cemento. En consideraciones medioambientales para las escorias negras, la ficha técnica se promulgo desde los siguientes puntos de vista:

- Una disminución de costes de vertido, como ahorro de materia prima natural al reutilizar los subproductos de la acería.
- Reducción del impacto medioambiental y beneficio espacial para mantener los vertederos sin ocupar, sin depositar los residuos en un vertedero,}.
- Generar un incremento de vida en los alrededores mediante estas industrias.

Las escorias negras pueden ser utilizadas en capas granulares si es que los resultados del ensayo de lixiviación sobre las escorias permanezcan por debajo de los límites fijados. Los lixiviados pueden corroer las tuberías de aluminio y acero que permanezcan en contacto con las escorias. Así mismo, al emplear las escorias como áridos en mezclas bituminosas para capas de rodadura de firmes se tiene que comprobar el ensayo antes mencionado.

5 ANÁLISIS DE DISEÑO Y ENSAYOS CON EL USO DE ESCORIAS NEGRAS PARA AFIRMADOS EN CAMINOS RURALES

5.1 Descripción del caso de estudio.

Hoy en día existen diversos procesos metalúrgicos utilizados para obtener y recuperar metales encontrados en la naturaleza; todos estos diferentes procesos producen residuos inevitables, entre estos residuos podemos encontrar a las escorias negras, estas escorias contienen las mermas de los minerales que se encuentran presentes durante los procesos que involucran la fundición de chatarra y otros materiales en el proceso de fabricación de acero de construcción. Sabiendo que las industrias metalúrgicas producen escorias negras, como producto de la obtención de minerales en estado natural, existe la posibilidad de aprovechar estas grandes cantidades de residuos como materiales para la realización de obras de ingeniería civil.

Como bien se sabe siempre se busca la eficacia de una obra civil, así como también que esta sea económica en lo posible, es decir que las obras deben satisfacer las metas tanto de costo de construcción, el mantenimiento del mismo y su operación.

Para el desarrollo de esta tesis se tomó como muestras representativas de escorias negras a las existentes, producto de la industria de Aceros Arequipa, el cual actualmente posee 300 toneladas de escorias almacenadas sin uso. La tesis propone una alternativa de uso para estas escorias, que es su uso como material agregado para la construcción de afirmados en zonas rurales o donde se necesite.

Este trabajo de investigación se ha realizado con la finalidad de proporcionar un diseño de afirmado que contenga escorias negras, para ello se estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de las escorias negras ubicadas en la planta de la empresa Aceros Arequipa, localizada en la ciudad de Pisco, con el propósito de brindar un aprovechamiento útil dentro de las obras de ingeniería como material de afirmados.

Este trabajo de investigación se desarrollara en las siguientes etapas: primero en gabinete, reuniremos información sobre el tema de estudio y se propondrá un diseño para poder pasar a la segunda etapa que será de laboratorio, en esta etapa de procederá a realizar los diferentes ensayos para analizar las propiedades del material estudiado y finalmente en la segunda etapa de gabinete, con los resultados obtenidos de la etapa de laboratorio se procederá a definir un diseño final que pueda ser aplicado como la tesis lo requiere.

Cabe recalcar que la importancia del desarrollo de esta tesis, es que actualmente existe una gran cantidad de escorias negras almacenadas, en la planta de Aceros Arequipa, que no tienen ningún uso para obras de ingeniería, los ensayos de laboratorio como el ensayo granulométrico, el ensayo de límites de consistencia, el ensayo de compactación Proctor modificado, ensayo de valor relativo de soporte CBR, ensayo de abrasión tipo Los Ángeles, nos ayudaran definir si el material cumple con las especificaciones técnicas para su uso con fines de capa de afirmado, por otro lado este material también puede ser mezclado en diferentes proporciones dependiendo de los diseños de mezclas en las canteras, que también al combinarla con otros agregados provenientes de otras canteras pueda mejorar sus propiedades físicas y mecánicas lo que ocasionaría a su vez a aumentar su capacidad portante y resistencia a la penetración disminuyéndose también las dimensiones de las estructuras utilizadas en los espesores de los afirmados significando esto, una reducción considerable reducción en el costo de construcción de estas estructuras.

Para la realización de los ensayos de laboratorio se tomaron 5 muestras, de escoria negra de 30 kg aproximadamente cada una, provenientes de la planta de Aceros Arequipa en Pisco, dichas muestras se tomaron de diferentes puntos de la Planta para obtener los resultados más representativos posibles con respecto a todo el material almacenado, esta cantidad de material será suficiente para poder desarrollar todos los ensayos necesarios según el MTC y el ASTM.

5.2 Resultados de Ensayos Químicos sobre las escorias negras para obtener las cantidades en ppm de elementos metálicos que componen la escoria de acuerdo a rangos admisibles para su uso en vías afirmadas.

Ensayo requerido:

Espectrofotometría de absorción atómica, es un ensayo que tiene por finalidad determinar cuantitativamente las partículas por millón de metales, encontrados en un material. Este método se puede aplicar para elementos tales como: antimonio, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, oro, plomo, níquel, etc. Su empleo se puede dar para análisis toxicológicos, bioquímicos, análisis de suelos, análisis de aguas, industria petroquímica, industria alimenticia, entre otros.

El ensayo tiene por procedimiento la medición de especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. Por atomización de la muestra se logra la especie atómica (Morral, 2003).

La aplicación del ensayo nos brindara el análisis químico adecuado para las EAFS. Por un lado, la espectrofotometría de absorción atómica nos ayudara a saber la concentración de un determinado elemento metálico en una fracción demuestra.

1. Realizar el ensayo de espectrofotometría, para determinar las cantidades por ppm de elementos contenidos en las EAFS, dicho ensayo se realizó en las instalaciones de LABICER (Laboratorio N°12 de la UNI). Con muestra de escorias procedentes de la planta de CAASA, en Pisco. Los elementos a verificar son clasificados por ser metales pesados y por su toxicidad.
2. Proseguir con la comparación de resultados entre la investigación hecha por Aceros Arequipa S.A., a cargo del laboratorio JRamon, sobre su propio material y los resultados obtenidos a partir de esta investigación. Para un resultado eficiente, se promedian los resultados de ambas investigaciones.
3. Posteriormente, se necesita comparar los promedios con los rangos establecidos por el MINAM para zonas rurales. Del mismo modo se verifican los promedios con rangos de autores internaciones, con el fin de tener una mayor confianza en los resultados.
4. En caso de encontrar alguna irregularidad en los resultados, plantear el tipo de fitorremediación a usar para cada tipo de metal pesado y de esta manera regular las cantidades. Se propone usar el método de fitorremediación, ya que reduce las cantidades de ppm de metales pesados en los suelos.

En continuación de la estructura de esta fracción de la investigación se desarrollara cada punto antes mencionado.

En primer lugar, se tiene que establecer la composición química del material, hecho esto se procede a analizar sus fases y se lleva a cabo estudios mineralógicos y cristalinos.

Tabla 28

Concentración de elementos metálicos en EAFS.

Parámetros	Símbolo	Unidad	L.D	Resultados
Aluminio	Al	mg/kg	0.9	25.534

Antimonio	Sb	mg/kg	0.6	4.5
Arsénico	As	mg/kg	0.54	8.13
Bario	Ba	mg/kg	0.06	961
Berilio	Be	mg/kg	0.02	0.95
Bismuto(*)	Bi	mg/kg	0.8	4.9
Boro	B	mg/kg	0.2	225.1
Cadmio	Cd	mg/kg	0.07	9.15
Calcio	Ca	mg/kg	3	207654
Cerio	Ce	mg/kg	0.4	17.82
Cobalto	Co	mg/kg	0.16	11.08
Cobre	Cu	mg/kg	0.08	260.9
Cromo	Cr	mg/kg	0.09	1106
Estaño	sn	mg/kg	0.3	<1.4
Estroncio	Sr	mg/kg	0.13	472.7
Fosforo	P	mg/kg	1.4	1124
Hierro	Fe	mg/kg	0.6	208713
Litio	Li	mg/kg	0.7	21.6
Magnesio	Mg	mg/kg	0.2	49.565
Manganeso	MN	mg/kg	0.1	23157
Molibdeno	Mo	mg/kg	0.75	11.49
Níquel	Ni	mg/kg	0.29	56.89
Plata	Ag	mg/kg	0.09	2.5
Plomo	Pb	mg/kg	0.5	52
Potasio	K	mg/kg	3.9	465
Selenio	Se	mg/kg	0.6	<1
Sodio	Na	mg/kg	3	1852
Talio	Tl	mg/kg	0.73	10.5
Titanio	Ti	mg/kg	0.2	1780
Vanadio	V	mg/kg	0.09	504.2
Zinc	Zn	mg/kg	0.1	1250

Elementos químicos encontrados en las escorias negras.

Fuente: CAASA

Tabla 29

Concentración de elementos metálicos.

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO DE REFERENCIA
Aluminio, ppm	26.345	ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
Antimonio, ppm	4.102	
Arsénico, ppm	7.115	
Bario, ppm	879.654	
Bismuto, ppm	3.397	
Cadmio, ppm	9.007	
Calcio, ppm	200245.216	
Cobalto, ppm	14.523	
Cobre, ppm	274.506	
Cromo, ppm	1168.478	
Estaño, ppm	0.974	
Hierro, ppm	223005.551	
Litio, ppm	19.004	
Magnesio, ppm	89.504	
Manganeso, ppm	24001.354	
Níquel, ppm	50.269	
Plata, ppm	2.687	
Plomo, ppm	50.231	
Potasio, ppm	501.210	
Selenio, ppm	0.689	
Sodio, ppm	1899.565	
Zinc, ppm	1268.500	
Fosforo, ppm	1199.507	AOAC 958.01

Ensayos realizador en escorias metálicas en el laboratorio de Labicer

Fuente: Elaboración propia

Comparación entre los resultados por Aceros Arequipa y LABICER (Laboratorio N°12, UNI).

No hay gran diferencia entre los resultados de aceros Arequipa y los resultados obtenidos en LABICER (UNI), la comparación se realiza en la siguiente tabla:

Tabla 30

Comparación de elementos metálicos presentes en las escorias negras.

ANALISIS	SIMBOLO	UND	Jramon	LABICER	variación absoluta	Promedio	Variación %
Aluminio	Al	ppm	25.534	26.345	0.811	25.9395	1.56%
Antimonio	Sb	ppm	4.5	4.102	0.398	4.301	4.63%
Arsénico	As	ppm	8.13	7.115	1.015	7.6225	6.66%
Bario	Ba	ppm	961	879.654	81.346	920.327	4.42%
Bismuto	Bi	ppm	4.9	3.397	1.503	4.1485	18.11%
Cadmio	Cd	ppm	9.15	9.007	0.143	9.0785	0.79%
Calcio	Ca	ppm	207654	200245.216	7408.784	203949.608	1.82%
Cobalto	Co	ppm	11.08	14.523	3.443	12.8015	13.45%
Cobre	Cu	ppm	260.9	274.506	13.606	267.703	2.54%
Cromo	Cr	ppm	1106	1168.478	62.478	1137.239	2.75%
Estaño	Sn	ppm	1.4	0.974	0.426	1.187	17.94%
Hierro	Fe	ppm	208713	223005.551	14292.551	215859.276	3.31%
Litio	Li	ppm	21.6	19.004	2.596	20.302	6.39%
Magnesio	Mg	ppm	49.565	89.504	39.939	69.5345	28.72%
Manganeso	Mn	ppm	23157	24001.354	844.354	23579.177	1.79%
Níquel	Ni	ppm	56.89	50.269	6.621	53.5795	6.18%
Plata	Ag	ppm	2.5	2.687	0.187	2.5935	3.61%
Plomo	Pb	ppm	52	50.231	1.769	51.1155	1.73%
Potasio	K	ppm	465	501.21	36.21	483.105	3.75%
Selenio	Se	ppm	1	0.689	0.311	0.8445	18.41%
Sodio	Na	ppm	1852	1899.565	47.565	1875.7825	1.27%
Zinc	Zn	ppm	1250	1268.5	18.5	1259.25	0.73%
Fosforo	P	ppm	1124	1199.507	75.507	1161.7535	3.25%

Comparación de resultados químicos entre JRamon por Aceros Arequipa & LABICER.

Fuente: Elaboración Propia

En esta parte de la investigación se busca sustentar que el material a utilizar, escoria negra, no es contaminante en relación a la salud de las personas y en zonas agrícolas y ganaderas.

Efectos de los principales metales pesados en la salud Humana

Los componentes que conforman las escorias negras se pueden clasificar en diferentes grupos, como los esenciales y los no esenciales, así como los tóxicos y no tóxicos.

Tabla 31

Función biología y toxicidad de metales pesados. Hagedorn, 1996.

ANÁLISIS	ESENCIAL	TOXICIDAD
Aluminio	No	Solo en suelos áridos
Arsénico	No	No
Cadmio	No	Si, digerir plantas con este compuesto
Cromo	No	Solo en su estado Hexavalente
Cobre	Para organismos	Si, en suelos ácidos
Hierro	Esencial para todos los organismos	No
Molibdeno	Esencial para casi todos los organismos	Baja toxicidad en algunas plantas
Níquel	Esencial para las plantas	Baja Fitotoxicidad
Plomo	No	Si solo cuando se digiere
Selenio	Esencial para los mamíferos y algunas plantas	Si, en niveles altos en el suelo
Zinc	Esencial para los mamíferos	La fitotoxicidad es más prevalente en suelos ácidos

Metales pesados divididos por su esencialidad y su toxicidad.

Fuente: Hagedorn

Tabla 32

Rangos de contenidos de metales pesados en los suelos.

Análisis	Símbolo	Autores	Rango Normal ppm	Resultados ppm
Aluminio	Al	Hagedorn 1996	50-200	25.9395
Arsénico	As	Hagedorn 1996	5-20	7.6225
Cadmio	Cd	Hagedorn 1996	5-30	9.0785
Cromo	Cr	Linsay 1979	1-1000	1137.239
Cobre	Cu	Kabata- Pendias y Pendias 1995	20-100	267.703
Hierro	Fe	Hagedorn 1996	>1000	215859.2755
Molibdeno	Mo	Bowie &Thornton 1985	10-100	11.49
Níquel	Ni	Hagedorn 1996	10-100	53.5795
Plomo	Pb	Hagedorn 1996	10-100	51.1155
Selenio	Se	Bowie &Thornton 1985	<1-2	0.8445
Zinc	Zn	Kabata- Pendias y Pendias 1995	150-2500	1259.25

Rangos admisibles de metales pesados para suelos agrícolas.

Fuente: Recopilación Propia

Los resultados fueron comparados con las investigaciones de diversos autores que experimentaron con las concentraciones geoquímicas normales de los elementos en la traza de suelos. En tal medida, los componentes evaluados en la escoria negra con respecto al rango normal que deben presentar, para su uso en zona agrícolas, está dentro de lo regular salvo el componente de cromo y cobre. El primero de los antes mencionados supera el rango presentado por Linsay(1979) en un 10% del valor máximo, sin embargo el cromo es más dañino en su estado de oxidación +6 (Cr-VI, Cromo Hexavalente) el cual proviene de la fabricación de productos químicos. El cromo presentado en las escorias es de tipo III, el cual es mucho más estable y menos contaminante (Albert A., 2002). Por otro lado, el segundo metal pesado que presenta un exceso es el cobre, el cual es esencial para organismos y su exceso por encima del rango establecido por Kabata- Pendias y Pendias 1995 puede ser

mitigado mediante la fitorremediación acumulada³. Este método se puede implementar para controlar las cantidades de metales pesados en una zona afectada.

Debido al exceso de partículas por millón (ppm) presentado en el metal pesado cromo VI, excediendo en 137.239 ppm un 13.72% del límite presentado por Linsay, en 1979. Al ser este elemento considerado como no esencial y tóxico en su estado hexavalente, es necesario determinar la cantidad de cromo VI que presentan las escorias negras. Si bien en investigaciones (internacionales) relacionadas a las EAFS se determinó que no presentan niveles críticos de cromo VI y su uso es permitido en diversas aplicaciones de ingeniería, es necesario corroborar que las escorias nacionales no contengan altas cantidades de este elemento. Para este fin se recurrió nuevamente a las instalaciones LABICER (Universidad Nacional de Ingeniería) en donde se usaron normas nacionales para cuantificar el componente. Se solicitó la determinación de Cromo VI a temperatura de 25°C y humedad relativa de 62%, con uso de la NTP 214.053:2015 (determinación de cromo hexavalente, Cr VI en agua. Método colorimétrico), debido a que no hay una norma relacionada directamente con las escorias negras se tomó como referencia una norma con la que el material pueda adaptarse.

Se obtuvieron los siguientes resultados: (Ver anexo 6)

Tabla 33

Cromo IV presente en escorias

ANÁLISIS	RESULTADO (ppm)
Cromo (VI)	11.348 ppm

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro. Resultados de Cromo VI encontrados en las muestras de EAFS, planta de Aceros Arequipa.

³Fitorremediación acumulada consiste en la cosecha de plantas en los suelos afectados que absorben los metales pesados al reducir sus porcentajes. Una vez que las plantas hayan cumplido su función son tomadas como residuos peligrosos, por lo que son incineradas. La fitorremediación es un proceso cíclico en el que se siembran y cosechan plantas hasta alcanzar niveles óptimos en el suelo. Las ventajas de esta aplicación son el bajo costo, la sencillez, la mejora de calidad en suelos y genera un paisaje amigable con la implementación de las plantas. (TSA, 2011)

Como se puede observar existe un 11.348 de partículas por millón (ppm) de cromo VI de un total de 1137.239 ppm de contenido de cromo, lo que representa un 0.99786% del total. Sin embargo, a pesar que la cantidad de cromo VI no llegue al 1%, es necesario validar esta cantidad encontrada con un rango establecido. Para ello se comparó el resultado con los estándares de calidad ambiental para el suelo, elaborado por el ministerio del ambiente (MINAM).

Tabla 34

Estándares de Calidad ambiental para el suelo.

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
II	Inorgánicos				
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg MS) ₍₂₎	50	50	140	EPA 3050-E EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS) ₍₂₎	750	500	2 000	EPA 3050-E EPA 3051
18	Cádmio total (mg/kg MS) ₍₂₎	1,4	10	22	EPA 3050-E EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg MS) ₍₂₎	6,6	6,6	24	EPA 7471-E
21	Plomo total (mg/kg MS) ₍₂₎	70	140	1 200	EPA 3050-E EPA 3051

Rango de principales metales pesados para 3 tipos de suelos.

Fuente: MINAM

Se puede apreciar que el cromo VI no llega a exceder drásticamente los estándares nacionales para suelos, ya que la norma peruana establecida por el ministerio del ambiente referida a los estándares de calidad ambiental para el suelo limita a 1.4 ppm el contenido de cromo VI en suelos industriales. Frente a estos resultados y para salvaguardar la integridad de los usuarios del proyecto este componente tiene que ser reducido, por lo que se plantea dos posibles alternativas altamente ecológicas y naturales,

La primera viene a ser la implementación de la fitorremediación, la cual mediante la siembra, cosecha y quema de plantas reductoras de metales pesados, se puede reducir el Cromo VI en

eficiencias y tiempos presentados en el siguiente cuadro encontrado en la investigación de Remediación natural para completar la depuración del cromo (VI), fuente argentina. Además de su función altamente ecológica, esta alternativa genera un valor agregado en mejorar el entorno con la flora incrementada.

Tabla 35

Fitorremediación de Cromo IV, Diferentes eficiencias según especie.

Especie	Nivel de cromo inicial mg/L	Tiempo	% de Remoción de Cromo	Hábitat en Argentina
<i>Nymphacea alba L</i>	10	21 días	50	Sin Registro
<i>Paecilomyces sp (Hongo)</i>	1000	3 h	100	Noreste
<i>Tagetes sp</i>	20		75	Centro y Norte
<i>Prosopis Laevigata</i>		50 días	Biosorción: 5461 mg/kg en tallos y 8090 mg/kg en raíz	Sin Registro
<i>Canna Glauca y Canna indica</i>	1000	15 días	100	Centro y Norte
<i>Scenedesmus Obliquus</i>	85,6	40 h	92,4	Norte
<i>Vetiveria Zizarioides</i>	21000	15 días	30	Sin Registro
<i>Helianthus annuus</i>	40	15 días	Biosorción: 200 mg/kg en tallos y 7400 mg/kg en raíz	Centro

Especies que reducen los porcentajes de cromo 6 por fitorremediación

Fuente: Quezada y otros

La optima opción a la cual acudir para la reducción de Cr VI, es la planta *HelianthusAnnuus* (comúnmente denominada girasol). Esta planta puede llegar a reducir hasta 7400 ppm en un tiempo de 15 días. Esta aplicación es de cultivo fácil y por sus bondades de crecer en zonas calurosas, es una opción a tomar en cuenta.

Existe una segunda aplicación, la que basa la reducción del cromo VI en el uso de *MyrciariaDubia* (comúnmente denominada camucamu), planta que crece en territorio peruano, mediante esta aplicación se estaría impulsando un aumento en el mercado del

camucamu. Este fruto demostró contener ácido ascórbico, el cual presenta la propiedad de reducir el cromo VI.

Se hicieron pruebas de laboratorio para determinar el efecto reductor del ácido ascórbico, ácido cítrico y camu camu (*Myrcianadubia*). Las pruebas con ácido ascórbico y ácido cítrico se hicieron usando 2, 3.5 y 7 equivalentes de ácido, a 100 rpm y pH inicial de 10. El contenido de ácido ascórbico y cítrico se determinó en 2 y 1.9 gramos, respectivamente, por cada 100 gramos de fruta fresca de camucamu. Los resultados indican que el ácido ascórbico reduce el cromo (VI) hasta un 98% en 90 segundos. El ácido cítrico no muestra ninguna actividad. (Rivera y otros, 2010)

Figura 5. Reducción porcentual de cromo IV a pH inicial = 10 y con camucamu de 2 equivalentes de a. ascórbico. Cuadro. % reducción de cromo VI vs Tiempo en minutos.

Fuente: Armijo y otros.

Se pudo observar que las cantidades de cromo VI, encontradas en las EAFS, para ambos procedimientos pueden ser reducidas exitosamente, de esta manera llegar al contenido mínimo que requiere la norma peruana.

En el desarrollo del ensayo se pudo evidenciar la alta composición metálica que presentan las EAFS, las cuales se encuentran dentro de los rangos requeridos por el MINAM y rangos de autores extranjeros, exceptuando al elemento cromo, que en su forma de cromo hexavalente llegó a exceder los rangos presentados. Sin embargo, mediante el proceso de fitorremediación por medio del cultivo de la planta *HelianthusAnnuus* (girasol) se puede llegar a reducir hasta 7400 ppm de cromo VI en un tiempo de 15 días. Además, se puede

llegar a un resultado similar mediante el uso del ácido ascórbico que puede reducir el cromo VI en un 98%, dicho ácido se encuentra presente en el fruto camucamu, el cual crece en territorio peruano.

Si bien se contó con los resultados de pruebas químicas por parte de Aceros Arequipa, es fundamental establecer resultados actualizados y así poder corroborar la calidad del material.

5.3 Modelo de diseño experimental de espesor de capa de una vía afirmada en zonas rurales usando la escoria negra.

Con el fin de realizar el diseño del espesor para el afirmado se tomará como guía de cálculo el método propuesto por Departamento Central del Ejército de los Estados Unidos de Norte América, este método nos proporciona una forma de calcular el espesor del afirmado tomando en cuenta los resultados del ensayo CRB y el nivel de tránsito que soportaran el afirmado en las zonas de estudio.

Diseño de espesor de afirmado

Para realizar el diseño del espesor de la capa de afirmado de una vía terrestre existen diversos métodos empíricos que nos ayudan a calcular el espesor de esta capa de rodadura entre estos métodos tenemos los implementados en las normas AASHTO 1993 y el método de Dakota del sur.

Método AASHTO 1993

El método AASHTO se basa en hallar el espesor de la capa de rodadura de afirmado en base a tres parámetros importantes.

Primero analiza la región climática sobre la cual se quiere realizar el proyecto de vía terrestre tipo afirmado, para ello clasifica las regiones, sobre las cuales trabaja esta norma, en 6 tomando en cuenta si es una región húmeda o seca y si es susceptible a heladas o no siguiendo la clasificación de la siguiente tabla.

Tabla 36

Cuadro de regiones climáticas para espesor de afirmado método AASHTO.

Región	Características
I	Húmeda, sin heladas.
II	Húmeda, con ciclos de congelamiento y deshielo.
III	Húmeda, con alta penetración de la helada.
IV	Seca, sin helada.
V	Seca, con ciclos de congelamiento y deshielo.
VI	Seca, con alta penetración de la helada.

Fuente: AASHTO

El segundo parámetro a tomar en consideración es la calidad relativa del suelo de subrasante, de acuerdo a la calidad del tipo de suelo con la que se trabajara para realizar el afirmado y a su vez con la región climática en donde se ejecutara el proyecto, este parámetro toma en cuenta las seis regiones climáticas del primer parámetro como la clasificación de la calidad relativa del suelo a trabajar ya sea muy pobre, pobre, regular, buena y muy buena en donde se tomó como dato el módulo resiliente efectivo en lb/in² o psi.

Tabla 37

Calidad relativa del suelo de subrasante método AASHTO

Región Climática	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy buena
I	2800	3700	5000	6800	9500
II	2700	3400	4500	5500	7300
III	2700	300	4500	4400	5700
IV	3200	4100	5600	7900	11700
V	3100	3700	500	6000	8200
VI	2800	3100	4100	4500	5700

Fuente: AASHTO

Para hallar el módulo resiliente efectivo en psi del material a analizar se hace uso de la ecuación:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

Por último, el tercer parámetro a tomar en consideración es el nivel de tránsito para el cual se diseñará la vía de afirmado, este parámetro se basa en tres niveles de tránsito; bajo, medio y alto, se considera para definir el nivel de tránsito el número de ejes equivalentes de 80 kN para lo cual se rige con la siguiente tabla.

Tabla 38

Nivel de transito método AASHTO

Nivel	Numero de ejes equivalentes de 80 kN
Alto	60000 – 100000
Medio	30000 – 60000
Bajo	10000 - 30000

Fuente: AASHTO

Una vez que se tienen los resultados de las muestras ensayadas se procede a clasificar los resultados e interpretarlos en la tabla para poder hallar el espesor que debe tener la capa de afirmado teniendo en cuenta todo lo que se pudo hallar con los 3 parámetros anteriores.

Tabla 39

Tabla de espesor de capa de afirmado método AASHTO

Calidad relativa del suelo de subrasante	Nivel de transito	Región Climática					
		I	II	III	IV	V	VI
		Espesor de afirmado en pulgadas					
Muy Buena	Alto	8	10	15	7	9	15
	Medio	6	8	11	5	7	11
		4	4	6	4	4	6
Buena	Alto	11	12	17	10	11	17
	Medio	8	9	12	7	9	12
		4	5	7	4	5	7
Regular	Alto	13	14	17	12	13	17
	Medio	11	11	12	10	10	12
		6	6	7	5	5	7
Pobre		**	**	**	**	**	**

	Alto	**	**	**	15	15	**
	Medio	9	10	9	8	8	9
	Bajo						
Muy Pobre	Alto	**	**	**	**	**	**
	Medio	**	**	**	**	**	**
	Bajo	11	11	1	8	8	9

** Se recomienda la construcción de un pavimento.

Fuente: AASHTO

Método de Dakota del sur.

Este método se basa en dos parámetros los cuales son el número diario estimado de vehículos pesados que fuesen a transitar por la obra vial de afirmado, los rangos que se ven afectados por este método son de 0 a 5 vehículos por día, asimismo de 5 a 10, de 10 a 25 y finalmente de 25 a 60 y el segundo parámetro se basa en la condición de soporte de la subrasante que pueden ser suelo con CBR; alto, medio o baja, con los datos de estos dos datos se puede coger un estimado de espesor de capa de rodadura afirmada.

Para determinar la condición de soporte de la subrasante se debe ver los resultados de CBR hallados, e interpretarlos según los siguientes parámetros:

- Capacidad baja $CBR \leq 3$
- Capacidad media $3 < CBR \leq 10$
- Capacidad alta $CBR > 10$

Ya sabiendo el número de vehículos pesados que circularan aproximadamente por la obra de arte y también al saber la condición de soporte del suelo se plasma lo encontrado sobre los cuadros de los respectivos métodos y se halla nuestras respuestas finales.

Tabla 40

Cuadro para calcular el espesor, método Dakota del Sur.

Numero diario estimado de vehículos pesados	Condición de soporte de la subrasante	Espesor mínimo sugerido de afirmado, mm (in).
De 0 a 5	Baja	165 (6.5)
	Media	140 (5.5)
	Alta	115 (4.5)
De 5 a 10	Baja	215 (8.5)
	Media	180 (7.0)
	Alta	140 (5.5)
De 10 a 25	Baja	290 (11.5)
	Media	230 (9.0)
	Alta	180 (7.0)
De 25 a 50	Baja	370 (14.5)
	Media	290 (11.5)
	Alta	215 (8.5)

Fuente: AASHTO

De acuerdo a los métodos mencionados se optó por seguir la siguiente estructura de trabajo para poder hallar el espesor mínimo que debe tener nuestro modelo de diseño experimental de espesor de capa para una vía afirmada de bajo tránsito y en zonas rurales, a continuación, se resumen los pasos que se tomaron en cuenta para realizar dicho modelo de diseño.

1. Recapitular los resultados de los ensayos físicos realizados sobre las escorias negras y verificar que las propiedades físicas que estos nos indican sobre las escorias negras están dentro de los parámetros del MTC para la construcción de vías afirmadas en zonas rurales de bajo tránsito.
- 2.- Calcular el espesor mínimo que debería tener el afirmado de acuerdo a las condiciones propuestas para las zonas rurales, ya sean clima, nivel de tránsito y capacidad portante brindada por el ensayo de CBR. Para ello se realizará el diseño utilizando el método AASHTO y Dakota del sur independientemente y luego se comparara con los parámetros mínimos del MTC para este caso.

3.- A fin de cerciorarnos de que el afirmado, de ser el caso, pueda soportar grandes cargas de vehículos pesados se utilizara el método de Meyerhof 1963 utilizando su fórmula de capacidad de carga aplicada sobre la vía afirmada con un espesor ya delimitado por los métodos anteriormente mencionados y viendo el escenario de que un camión de 30 toneladas transite por la vía.

4.- Finalmente se darán las conclusiones del capítulo de acuerdo a los resultados obtenidos en la sección de diseño de espesor de afirmado y del cálculo de la capacidad portante del modelo de diseño propuesto.

Conforme a lo expuesto en los puntos anteriores se tienen los resultados y cálculos siguientes:

5.4 Resultados de los ensayos físicos realizados sobre la escoria negra de acuerdo a los requerimientos del MTC para vías afirmadas.

5.4.1 Resultados de ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado para escorias negras. El ensayo granulométrico por tamizado se realiza mediante pruebas en el laboratorio con ayuda de tamices de diferente numeración, dependiendo este de la separación de los cuadros de la maya de cada tamiz. Los granos que pasen o se queden en un tamiz tienen sus características previamente determinadas. Este ensayo nos permite saber si la distribución granulométrica del material ensayado es el adecuado según el rango establecido por el MTC.

Muestra:

Se tomaron cinco muestras representativas de la zona de almacenamiento de escorias negras de la empresa Aceros Arequipa, empresa que se dedica a la fabricación y venta de acero para construcción, las muestras de escoria negra fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la UPC para realizar el ensayo granulométrico correspondiente, tomando muestras representativas de cada una de las muestras extraídas de la zona de almacenamiento de escorias negras de Aceros Arequipa.

La representación gráfica del ensayo y los datos obtenidos se representaron de acuerdo a las siguientes tablas:

Muestra 1

Figura 6. Muestra 1 de escoria negra ya tamizada.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 41

Análisis mecánico por tamizado muestra 1.

Análisis Mecánico por Tamizado					
Solicitado por:		Carlos Mamani		U201212854	
		Darient Figueroa		U201212857	
Proyecto	Análisis Mecánico por tamizado para escorias negras				
Muestra	1	Fecha	22 de noviembre del 2016		
Tamiz	Abertura	Peso Retenido(g)	%Parcial Retenido	%ACUMULADO	
				Retenido	Pasante
3"	75.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
2"	50.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
1 1/2"	37.500	0	0.000%	0.000%	100.000%
1"	25.000	264.9	3.629%	3.629%	96.371%
3/4"	19.000	238.5	3.267%	6.896%	93.104%
1/2"	12.500	518.8	7.107%	14.003%	85.997%
3/8"	9.500	420.6	5.762%	19.765%	80.235%
1/4"	6.250	703.2	9.633%	29.398%	70.602%
N°4	4.750	642.8	8.806%	38.204%	61.796%
N°10	2.000	3532	48.386%	86.590%	13.410%
N°20	0.850	593.2	8.126%	94.716%	5.284%
N°40	0.425	137.9	1.889%	96.605%	3.395%
N°80	0.250	167.5	2.295%	98.900%	1.100%
N°100	0.106	62.4	0.855%	99.755%	0.245%
N°200	0.075	17	0.233%	99.988%	0.012%
Fondo	0	0.9	0.012%	100.000%	0.000%
Peso muestra total		7299.7			

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 7. Curva granulométrica muestra 1.

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 2

Figura 8. Muestra 2 de escoria negra ya tamizada.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42

Análisis mecánico por tamizado muestra 2.

Analisis Mecanico por Tamizado					
Solicitado por:		Carlos Mamani		U201212854	
		Darient Figueroa		U201212857	
Proyecto	Analisis Mecanico por tamizado para escorias negras				
Muestra	2	Fecha	22 de noviembre del 2016		
Tamiz	Abertura	Peso Retenido(g)	%Parcial Retenido	%ACUMULADO	
				Retenido	Pasante
3"	75.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
2"	50.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
1 1/2"	37.500	0	0.000%	0.000%	100.000%
1"	25.000	58	1.939%	1.939%	98.061%
3/4"	19.000	107.6	3.598%	5.537%	94.463%
1/2"	12.500	293.1	9.800%	15.337%	84.663%
3/8"	9.500	233.3	7.801%	23.138%	76.862%
1/4"	6.250	331	11.067%	34.205%	65.795%
N°4	4.750	271.1	9.064%	43.269%	56.731%
N°10	2.000	1296.7	43.356%	86.626%	13.374%
N°20	0.850	185	6.186%	92.811%	7.189%
N°40	0.425	30.2	1.010%	93.821%	6.179%
N°80	0.250	34.1	1.140%	94.961%	5.039%
N°100	0.106	100	3.344%	98.305%	1.695%
N°200	0.075	50	1.672%	99.977%	0.023%
Fondo	0	0.7	0.023%	100.000%	0.000%
Peso muestra total		2990.8			

Fuente: Elaboración Propia

Figura 9. Curva granulométrica muestra 2

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 3

Figura 10. Muestra 3 de escoria negra ya tamizada.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis mecánico por tamizado muestra 3.

Análisis Mecánico por Tamizado					
Solicitado por:		Carlos Mamani		U201212854	
		Darient Figueroa		U201212857	
Proyecto	Análisis Mecánico por tamizado para escorias negras				
Muestra	3	Fecha	22 de noviembre del 2016		
Tamiz	Abertura	Peso Retenido(g)	%Parcial Retenido	%ACUMULADO	
				Retenido	Pasante
3"	75.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
2"	50.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
1 1/2"	37.500	0	0.000%	0.000%	100.000%
1"	25.000	145.9	4.993%	4.993%	95.007%
3/4"	19.000	167.7	5.739%	10.732%	89.268%
1/2"	12.500	208	7.118%	17.850%	82.150%
3/8"	9.500	195	6.673%	24.523%	75.477%
1/4"	6.250	302	10.335%	34.857%	65.143%
N°4	4.750	299	10.232%	45.089%	54.911%
N°10	2.000	1302.9	44.586%	89.676%	10.324%
N°20	0.850	202.3	6.923%	96.598%	3.402%
N°40	0.425	29.4	1.006%	97.605%	2.395%
N°80	0.250	26.2	0.897%	98.501%	1.499%
N°100	0.106	23.2	0.794%	99.295%	0.705%
N°200	0.075	18.8	0.643%	99.938%	0.062%
Fondo	0	1.8	0.062%	100.000%	0.000%
Peso muestra total		2922.2			

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 11. Curva granulométrica muestra 3.

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 4

Figura 12. Muestra 4 de escoria negra ya tamizada.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44

Análisis mecánico por tamizado muestra 4

Análisis Mecánico por Tamizado					
Solicitado por:		Carlos Mamani		U201212854	
		Darient Figueroa		U201212857	
Proyecto	Análisis Mecánico por tamizado para escorias negras				
Muestra	4	Fecha	22 de noviembre del 2016		
Tamiz	Abertura	Peso Retenido(g)	%Parcial Retenido	%ACUMULADO	
				Retenido	Pasante
3"	75.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
2"	50.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
1 1/2"	37.500	0	0.000%	0.000%	100.000%
1"	25.000	85.4	2.744%	2.744%	97.256%
3/4"	19.000	33.6	1.080%	3.824%	96.176%
1/2"	12.500	147	4.723%	8.547%	91.453%
3/8"	9.500	170.8	5.488%	14.036%	85.964%
1/4"	6.250	289.1	9.290%	23.325%	76.675%
N°4	4.750	275.2	8.843%	32.168%	67.832%
N°10	2.000	1541	49.516%	81.684%	18.316%
N°20	0.850	301.3	9.682%	91.366%	8.634%
N°40	0.425	95.3	3.062%	94.428%	5.572%
N°80	0.250	87.3	2.805%	97.233%	2.767%
N°100	0.106	55	1.767%	99.001%	0.999%
N°200	0.075	29.7	0.954%	99.955%	0.045%
Fondo	0	1.4	0.045%	100.000%	0.000%
Peso muestra total		3112.1			

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 13. Curva granulométrica muestra 4.

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 5

Figura 14. Muestra 5 de escoria negra ya tamizada.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45

Análisis mecánico por tamizado muestra 5

Análisis Mecánico por Tamizado					
Solicitado por:		Carlos Mamani		U201212854	
		Darient Figueroa		U201212857	
Proyecto	Análisis Mecánico por tamizado para escorias negras				
Muestra	5	Fecha	22 de noviembre del 2016		
Tamiz	Abertura	Peso Retenido(g)	%Parcial Retenido	%ACUMULADO	
				Retenido	Pasante
3"	75.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
2"	50.000	0	0.000%	0.000%	100.000%
1 1/2"	37.500	0	0.000%	0.000%	100.000%
1"	25.000	37.7	0.986%	0.986%	99.014%
3/4"	19.000	82.1	2.148%	3.134%	96.866%
1/2"	12.500	239.9	6.277%	9.411%	90.589%
3/8"	9.500	232.6	6.086%	15.497%	84.503%
1/4"	6.250	300.3	7.857%	23.354%	76.646%
N°4	4.750	396.4	10.372%	33.726%	66.274%
N°10	2.000	1878.8	49.158%	82.883%	17.117%
N°20	0.850	378.1	9.893%	92.776%	7.224%
N°40	0.425	95.1	2.488%	95.264%	4.736%
N°80	0.250	96.2	2.517%	97.781%	2.219%
N°100	0.106	54.5	1.426%	99.207%	0.793%
N°200	0.075	29.3	0.767%	99.974%	0.026%
Fondo	0	1	0.026%	100.000%	0.000%
Peso muestra total		3822			

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 15. Curva granulométrica muestra 5.

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo Granulométrico realizado con una relación de escoria material fino 9:1.

Figura 16. Curva granulométrica de escoria negra con agregado fino en relación 9:1.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46

Análisis granulométrico de escoria negra con agregado fino en relación de 9:1.

Granulometría por Tamizado (ASTM - D6913)		
N° Malla	Abertura (mm)	% Acum. que pasa
3 "	76.200	100.0
2 "	50.800	100.0
1 1/2 "	38.100	100.0
1 "	25.400	91.9
3/4"	19.100	90.8
3/8"	9.520	77.0
N° 4	4.760	71.7
N° 10	2.000	23.0
N° 20	0.840	11.9
N° 40	0.425	10.4
N° 60	0.250	9.9
N° 100	0.150	5.4
N° 200	0.075	2.8

Fuente: ASTM

Observaciones y conclusiones:

Observaciones del ensayo:

- Al momento de verter el material, aunque se realizó con extremo cuidado, algunas de las partículas se escapaban de los tamices, aunque no sucedió con frecuencia es una fuente de error.
- La primera muestra al ser una muestra grande se tuvo que realizar en varios tamizados ya que cabía la posibilidad de sobrecargar los tamices y esto ocasionaría errores importantes en los datos y en el proceso del ensayo.
- Los tamices se zarandearon o agitaron durante un tiempo mínimo de 5 minutos por cada fracción para asegurarnos de que todo el material pase por su respectivo tamiz sin quedarse en otros, esto ayudo a evitar errores en el ensayo.
- Nos aseguramos de que los tamices se encontraran en perfecto estado ya que cualquier rotura o malformación podría ocasionar errores graves durante los ensayos.

- En el caso de la fracción de finos se tiene una pérdida de material al momento de retirarlo de sus respectivos tamices aun cuando se utilizó la brocha sintética para limpiar excedentes.

Conclusiones del ensayo:

- Se puede apreciar que las granulometrías por debajo de la malla Nro. 10, obtenidas de las 5 muestras, no se encuentran en el rango de la franja granulométrica para afirmado tipo 1, establecido por el MTC⁴, por lo cual es necesario agregar un porcentaje menor al 10% de agregados finos, del total. Hecho esto, los porcentajes acumulados pasantes se encuentran dentro del rango de la tabla 3.2. con esto se tienen datos aceptables con los que se pueden empezar a trabajar.
- A simple vista la escoria, aunque la escoria negra no presente grandes cantidades de agregado fino, esta se encuentra asentada en la base, mientras que la escoria como agregado grueso parece dominante.
- La granulometría de la escoria depende mucho de las muestras a tomar en planta, debido a que algunas escorias de los diferentes depósitos, presentan en mayor medida agregados finos.
- Las escorias junto con un porcentaje de agregado fino conforman un componente capaz de ser usado en la construcción de carreteras afirmadas, con esta última aclaración nuestra hipótesis planteada es fundamentada parcialmente de manera práctica.

5.4.2 Resultado de ensayos por Límites de consistencia (Atterberg).

Introducción:

Los ensayos de límites de consistencia o límites de Atterberg son pruebas de laboratorio normalizadas que nos permiten definir los límites de los rangos de humedad sobre los cuales el suelo o material ensayado se mantiene en estado plástico, y por otro lado también nos permiten tener los datos necesarios para clasificar el material ensayado según los parámetros de la USCS.

Muestra:

⁴ Tabla 3.2 Franja granulométrica para afirmado tipo 1.

Se tomaron tres muestras representativas de la zona de almacenamiento de escorias negras de la empresa Aceros Arequipa, empresa que se dedica a la fabricación y venta de acero para construcción, las muestras de escoria negra fueron llevadas al laboratorio de mecánica de suelos de la UPC para realizar el ensayo granulométrico correspondiente, tomando muestras representativas de cada una de las muestras extraídas de la zona de almacenamiento de escorias negras de CAASA. De cada una de estas muestras realizadas se separó el material que pasaba la malla N°40 de cada una de ellas para ensayarlas por los límites de Atterberg.

Figura 17. Instrumentos para ensayo de límites de Atterberg.

(Elaboración Propia)

En esta fotografía, se puede observar los respectivos equipos como materiales a analizar, entre ellos se encuentran:

- El aparato de Casagrande con un contador digital en la parte superior izquierda
- Espátula para tener la mezcla homogénea
- Envase receptor de material.
- Agua destilada para humedecer el material
- Escoria negra pasante de la malla #40

Figura 18. Muestras de escoria para ensayo de límites de Atterberg.

(Elaboración Propia)

Como primer paso se colocó el material pasante de la malla #40 en un recipiente metálico limpio como se muestra en la figura, luego se procedió a humedecer el material hasta lo requerido para realizar el ensayo de laboratorio.

Figura 19. Colocación de muestra en aparato Casa Grande.

(Elaboración Propia)

Después de llegar al nivel de humedad deseado en el material el segundo paso fue colocar el material en el recipiente de la casa grande para poder realizar el ensayo de límites de consistencia.

Al momento de realizar el ensayo se pudo notar que el material se deslizaba con no más de 2 golpes por lo que se procedió a realizar un nuevo ensayo.

<p><i>Figura 20.</i> Muestra sobresaturada.</p> <p>(Elaboración Propia)</p>	<p>Como podemos ver en la imagen para la realización del siguiente ensayo de limite liquido se humedeció aún más la muestra de escoria negra, hasta el punto de sobresaturarla como se puede apreciar en la imagen, esto para brindarle un poco más de cohesión.</p>
<p><i>Figura 21.</i> Muestra ya ensayada en aparato Casa Grande.</p> <p>(Elaboración Propia)</p>	<p>Finalmente, al realizar nuevamente el ensayo con la escoria sobre saturada, se puede apreciar que esta se une en el corte a los 4 golpes utilizando el instrumento de Casagrande, y al ver el mismo resultado en todos los ensayos realizados se puede concluir que la escoria negra no posee límite líquido y por ende tampoco posee el límite plástico.</p>

Limite plástico:

El limite plástico de la muestra es el contenido de humedad para el cual el suelo se fractura al ser amasado en bastoncitos de 3mm de diámetro, cuando se amasa una pequeña cantidad de muestra entre la palma de la mano y a la superficie del vidrio.

Procedimiento:

- 1) Para realizar el ensayo sobre la muestra se debe coger el material necesario del restante de la prueba de limite líquido.
- 2) Se procede a amasar el material hasta hacerlo una esfera de 1 cm³ aproximadamente para luego ser extendido en la placa de vidrio y la palma de la mano hasta formar un cilindro de 3mm de diámetro.
- 3) SI no se quiebran los bastoncillos antes de llegar a las 3mm de diámetro se deberá pesar inmediatamente para saber su contenido de humedad.
- 4) Este ensayo se debe repetir 2 o 3 veces, para luego promediar los resultados y obtener un resultado final, las muestras no deben tener una diferencia de 2% entre sí.

Conclusiones del Ensayo

Como se pudo apreciar durante los ensayos de laboratorio el material ensayado, escoria negra, carece de límites de Atterberg ya que al ser ensayado con distintos niveles de humedad hasta la sobresaturación, se ve que el material cede con pocos golpes (4 en promedio), lo que nos indica que el material no posee limite líquido y por consiguiente también carece de limite plástico, siendo este último una conclusión ya que no se realizaron pruebas de limite plástico debido a que para poder realizar dichos ensayos sobre cualquier material es imprescindible que este posea limites líquidos en primer lugar.

Analizando los resultados de Atterberg se concluye que el material ensayado (escoria negra) no posee limite liquido o limite plástico por ende cumple con la normativa del MTC E110 en donde se estipula que el material ensayado no debe tener más del 35% con respecto al límite líquido y la escoria negra presenta 0%, por lo que cumple con lo establecido en la norma.

5.4.3 Proctor modificado tipo B.

Para realizar el ensayo tenemos que tener una muestra representativa sin un exceso de humedad y para ello, se seleccionan cuatro (4) muestras de 3 kg mediante el método del cuarteo, posteriormente obtenemos el peso y el volumen del molde que se utilizara para realizar el ensayo Proctor modificado, el método de Proctor a realizar es el “B” ya que

siguiendo la teoría se vio que más del 25% del material pasaba la malla 3/8" y esto nos determinaba el tipo de ensayo Proctor a realizar. Luego de haber obtenido el tipo de ensayo, se procedió a tomar muestras representativas de 3kg aproximadamente y agregarle diferentes porcentajes de humedad que varían de entre 6% del peso total al 12% del peso total, como se muestra en las figuras abajo.

Consideraciones para el % de agua

$$Volumen = \frac{Masa\ H_2O}{Densidad\ H_2O}$$

$$V_{H_2O} = \frac{1\ g}{1\ \frac{g}{cm^3}}$$

$$V_{H_2O} = 1\ cm^3 = 1\ mililitro$$

$$\therefore 1\ mililimetro\ H_2O \cong 1\ g\ H_2O$$

Como precaución para obtener la relación máxima en la curva entre la humedad y la densidad seca, esta se dejó curando por 30 minutos, totalmente cubiertas con una capa impermeabilizante (plástico). Tal y como indica la norma al empezar a con los ensayos, estos tienen que ser golpeados con el (aparato de pisón) 25 veces cada capa en 3 capas, ocupando 1/3 cada una. Se emplearán las siguientes operaciones:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + h}$$

Donde:

γ_d : Densidad Seca de campo.

γ_h : Densidad Húmeda

H : Contenido de humedad

Para poder hallar la densidad húmeda se hará uso de la siguiente formula

$$\gamma_h = \frac{P}{V}$$

Donde:

P : Peso total

V : Volumen

Muestra 1 ensayada en laboratorio

Tabla 47

Datos de ensayo de Proctor modificado tipo B.

DESCRIPCIÓN	Cant.	und
Peso de recipiente	4204.1	g
Diámetro del recipiente	10.16	cm
Alto del recipiente	11.64	cm
Volumen del recipiente	943.6920091	cm3
Volumen de muestra	943.6920091	cm3

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 48

Resumen de muestras usadas para los ensayos de proctor modificado tipo B.

	Símbolo	und	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Contenido de Humedad	H	%	1%	2%	3%	4%
Peso total 1	Wt	g	5860.1	5952.2	6011.2	5963.2
Peso muestra 1	W	g	1656	1748.1	1807.1	1759.1
Densidad Húmeda	Yh	g/cm3	1.754809815	1.852405216	1.914925614	1.864061561
Densidad Seca de campo	Yd	g/cm3	1.737435461	1.816083545	1.859151082	1.792366886

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 22. Curva de densidad máxima seca de las muestras ensayadas para Proctor modificado tipo B.

Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ Densidad máxima seca : 1.86 gr/cm³
- ✓ Contenido de humedad optimo : 2.85 %

Tabla 49

Resumen de datos obtenidos en el ensayo de Proctor modificado tipo B.

		Volumen Molde	2172	cm ³	
		Peso Molde	2787	gr.	
NUMERO DE ENSAYOS					
Peso Suelo + Molde	gr.	6,628	7,082	7,350	7,200
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	3,841	4,295	4,563	4,413
Peso Volumetrico Humedo	gr.	1.768	1.977	2.101	2.032
Recipiente Numero		A	B	C	D
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	322.1	336.9	345.8	295.0
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	307.7	317.6	321.1	269.5
Peso de la Tara	gr.	64.0	52.9	52.7	43.9
Peso del agua	gr.	14.4	19.3	24.7	25.5
Peso del suelo seco	gr.	244	265	268	226
Contenido de agua	%	5.9	7.3	9.2	11.3
Densidad Seca	gr/cc	1.670	1.843	1.924	1.825

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 23. Curva de máxima densidad seca de acuerdo a ensayo de Proctor modificado tipo B en laboratorio.

Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ Densidad máxima seca : 1.924 gr/cm³
- ✓ Contenido de humedad optimo : 9.20 %

Evidencias Fotográficas:

Figura 24 .Escoria respectivamente cuarteada para ensayo Proctor

Fuente: Elaboración Propia.

<p><i>Figura 25. Molde de Proctor con muestra 1</i> (Elaboración Propia)</p>	<p><i>Figura 26. Molde de Proctor con muestra 2</i> (Elaboración Propia)</p>
<p><i>Figura 27. Molde de Proctor con muestra 3</i> (Elaboración Propia)</p>	<p><i>Figura 28. Molde de Proctor con muestra 4</i> (Elaboración Propia)</p>

Conclusiones del ensayo

- Es importante recoger las muestras mediante el método de cuarteo ya que nos permite tener muestras representativas de entre todo el material ensayado.
- Para determinar el método de ensayo Proctor a ser realizado se debe realizar primero un tamizado a las muestras y de acuerdo a la teoría determinar el tipo de ensayo dependiendo de los porcentajes retenidos en las diferentes mallas utilizadas para el análisis granulométrico.
- Es importante que el material se encuentre seco antes de agregarle agua para no tener variaciones significativas en cuanto a la humedad agregada.
- Se pudo observar que el material es absorbente y que con pocas concentraciones de humedad no logra cohesionarse del todo por ende es recomendable humedecer el material antes de ser trabajado y dejar en curado durante 96h antes del ensayo.

- Se puede notar que tercera muestra se encuentra el punto máximo de la curva del ensayo Proctor esto nos quiere decir que esta es su humedad efectiva.

5.4.4 Ensayo para la determinación el Valor de Impacto en el agregado. (VIA).

Este ensayo se realizó en lugar de abrasión los Ángeles (MTC E 207 / ASTM C131 / AASHTO T96) la cual es muy parecida en cuanto a los resultados, se tuvo preferencia a usar este método por la facilidad de equipos que se tenía a disposición.

Para realizar el ensayo de Valor de Impacto en los agregados primero se cogió 3 muestras representativas de escoria negra mediante el método de cuarteo, una vez obtenidas estas muestras se les aplico un tamizado por los tamices de ½” y 3/8” hasta tener la cantidad suficiente para llenar el molde del ensayo, para esto se recolecto todo material que estuviese retenido en el tamiz 3/8”.

Se llenó el molde al ras por exceso y comprimiendo el material con la ayuda de una cuchara o varilla, luego se colocó el molde en una superficie plana debajo del martillo, se calibro el martillo a una altura aproximada de 380 ± 5 mm por encima de la superficie superior del agregado en copa, para luego dejarlo caer 15 veces con un intervalo no menor a 1 segundo.

Luego se vertió la muestra en una bandeja seca y limpia y con la ayuda de martillo de goma para golpear los costados y finalmente con una brocha de cerda suave para retirar las partículas pequeñas, seguidamente, se realizó el tamizado de la muestra por el tamiz de malla N°8, se registra el peso del material pasante de la malla N°8.

Para realizar el cálculo del porcentaje de VIA se utilizó la ecuación.

$$\%VIA = \frac{M1 - M2}{M1} * 100$$

Donde:

M1: Peso inicial de la muestra en gramos sin contenedor.

M2: Peso final de la muestra en gramos sin contenedor.

Se evaluaron 3 muestras con las siguientes características

Tabla 50

Cuadro de datos ensayo de VIA

	Und	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso Recipiente	gr	3652.8	3652.8	3652.8
Peso Recipiente + Muestra	gr	4301.2	4287.4	4308.9
Peso final de muestra + recipiente	gr	4178.4	4185.5	4183.4
Peso inicial Muestra	gr	648.4	634.6	656.1
Peso Muestra	gr	525.6	532.7	530.6
Peso pasante tamiz #8	gr	119	100.4	123.3
VIA	%	18.94%	16.06%	19.13%
Promedio	-	18.04%		

Fuente: Elaboración Propia.

Evidencias fotográficas:

Figura 29. Muestra 1 con aparato de prueba de VIA.

(Elaboración Propia)

Figura 30. Material después de ensayo de VIA muestra 1.

(Elaboración Propia)

Figura 31. Muestra 2 con aparato de prueba de VIA.

(Elaboración Propia)

Figura 32. Material después de ensayo de VIA muestra 2.

(Elaboración Propia)

<p>Figura 33. Muestra 3 con aparato de prueba de VIA.</p> <p>(Elaboración Propia)</p>	<p>Figura 34. Material después de ensayo de VIA muestra 3.</p> <p>(Elaboración Propia)</p>
<p>En las figuras mostradas se puede apreciar la escoria a punto de ser evaluada por el aparato de impacto de agregado, para luego ser tamizado y separado por el tamiz # 8.</p>	

Resultados

El ensayo de valor de impacto en el agregado se realizó como reemplazo del ensayo de Abrasión los Ángeles (MTC E 207 / ASTM C131 / AASHTO T96) debido a que ambos ensayos son similares en cuanto a que queremos saber sobre el material al aplicar estos ensayos, ambos ensayos nos dan a conocer el desgaste que tiene el material granular al ser sometido a fuerzas externas de golpe.

Se obtuvo que el desgaste del material al ser sometido a fuerzas de golpe externas es de 18.04% en promedio de tres ensayos realizados, este resultado comparado con lo que requiere la normal de carreteras del MTC (MTC 207) es de un desgaste de material máximo del 50% se puede concluir que el material cumple con gran holgura este parámetro ya que alcanza hasta el 18.04% en promedio, esto también nos indica y verifica que el material es resistente a fuerzas externas y no se desgasta con facilidad.

5.4.5 Determinación de la Densidad de Campo.

Se determinó realizar la determinación de la densidad de campo por el método destructivo de cono de arena sobre una porción a escala del diseño tentativo de un afirmado con escorias negras, para tener una idea del material necesario para construir un afirmado con escoria negra y a la vez para determinar y comparar la humedad efectiva y el grado de compactación necesarios.

Primeramente se construyó un modelo a escala de las condiciones del suelo en un molde para realizar muestras de concreto, se puso capas de 1 cm de espesor aproximadamente y

compactándolas luego con una pesa cuadrada de 10kg y de 30 x 30 cm dándole 20 golpes por capa hasta llegar a los 13 centímetros aproximadamente, se nivelo la muestra.

Se colocó el plato base, y se comenzó a extraer el suelo hasta dejarlo de una forma ovoide en lo posible, se extrajo el material y se pesó luego se lo tamizo por las mallas #4, 3/8" y 3/4", se lavó la fracción retenida y se determinó su peso seco.

Antes de usar el cono de arena se introdujo arena normalizada dentro la botella se pesó el cono y el material y luego se calculó el volumen de arena que soportaba el cono, para calibrarlo, luego de la calibración se puso el cono con la botella sobre la plato base y se dejó caer la arena, una vez termino el proceso se pesó nuevamente el cono y botella con la arena que quedo dentro, se recuperó la arena que no estaba sucia se lavó y tamizo para su reutilización.

Se tomó una muestra de 100g aproximadamente para determinar su contenido de humedad.

Los datos obtenidos en las pruebas se muestran a continuación el resultado final será un promedio de los ensayos.

Tabla 51

Cuadro de contenido de humedad ensayo densidad de campo

Contenido De Humedad		Muestra 1	Muestra 2
Peso Del Recipiente	gr	34.50	34.80
Peso Del Recipiente + Suelo Humedo	gr	138.00	134.30
Peso Del Recipiente + Suelo Seco	gr	133.50	128.70
Peso Del Contenido De Agua	gr	4.50	5.60
Peso Del Suelo Seco	gr	99.00	93.90
Contenido De Humedad	%	4.55	5.96
Densidad Seca	gr/cm3	1.70	1.60
Maxima Desnsidad Proctor	gr/cm3	1.92	1.86
Optimo Contenido De Humedad Proctor	%	9.20	2.85
Grado De Compactacion	%	88.26	85.93

Fuente: Elaboracion Propia.

Evidencia Fotográfica:

Figura 35. Muestra compactada y nivelada lista para ser ensayada.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 36. Proceso de recolección de muestra dentro del plato base

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 37. Hueco terminado listo para proceder a verter la arena.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 38. Calibración del cono de arena

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 39. Cono de arena sobre el plato base rellenando la excavación con arena

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 40. Excavación con los restos no recuperables de arena

Fuente: Elaboración Propia.

Las figuras muestran la línea de tiempo del proceso del ensayo destructivo de densidad en el campo por el método de cono de arena.

Conclusiones del ensayo

Para realizar el ensayo correctamente se debe realizar sobre una superficie plana donde el plato base este al ras del suelo, se debe tomar consideración en fijar bien el plato para no sustraer suelo que este por fuera del molde.

La forma ideal que se debe buscar al momento de extraer el material del suelo es ovoide, ya que permite encontrar datos más reales al momento de hacer cálculos.

Se realizaron dos ensayos de densidad de campo de los cuales se obtuvo que el nivel de compactación promedio del material es de 87,09% a lo que pide el MTC de 85% mínimo para carreteras afirmadas.

Para lograr el 87.09% de compactación se debe usar un aproximado de 400 kg de material por metro cuadrado para lograr el porcentaje deseado y el espesor de diseño tentativo de 15 cm de capa de afirmado.

5.4.6 Ensayo de CBR. sobre la escoria negra.

Con este ensayo se busca determinar un índice de resistencia de material a ensayar, este ensayo se realizó al preparar el material en laboratorio y que presente condiciones de humedad y densidad. Así mismo, se busca valuar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de capas de base, sub base y afirmado.

Este modo operativo está basado en las normas ADTM D 1883 y ASHTO T 193, estas se adaptaron al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestro entorno.

Muestra 1 (30kg de escoria negra)

Tabla 52

SopORTE California CBR

CALCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)						
Molde N°	1		2		3	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso suelo + molde (gr.)	8,777		8,530		8,325	
Peso molde (gr.)	4,179		4,160		4,135	
Peso suelo compactado (gr.)	4,598		4,370		4,190	
Volumen del molde (cm ³)	2,195		2,182		2,198	
Densidad húmeda (gr./cm ³)	2.095		2.003		1.907	
Humedad (%)	9.1		9.4		9.0	
Densidad Seca (gr./cm ³)	1.920		1.831		1.750	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara+suelo húmedo (gr.)	361.0		333.1		343.9	
Tara+suelo seco (gr.)	334.6		309.1		319.8	
Peso de agua (gr.)	26.4		24.0		24.1	
Peso de tara (gr.)	44.9		54.2		51.1	
Peso de suelo seco (gr.)	289.7		254.9		268.7	
Humedad (%)	9.1		9.4		9.0	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 53

Relación de soporte California y contenido de humedad de la muestra 1

EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión			
		Hr		mm	%		mm	%		mm	%		
				NO EXPANSIVO									
PENETRACIÓN													
Penetración (pulg.)	Carga Standard (kg./cm²)	Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
		Dial	kg./cm²	kg./cm²	CBR %	Dial	kg./cm²	kg./cm²	CBR %	Dial	kg./cm²	kg./cm²	CBR %
0.025		30	3.0			22	2.2			15	1.5		
0.050		110	10.8			79	7.8			57	5.6		
0.075		200	19.7			144	14.2			103	10.1		
0.100	70.455	285	28.0	34.7	49.3	205	20.2	24.5	34.8	147	14.5	17.5	24.8
0.150		475	46.7			342	33.7			245	24.1		
0.200	105.680	665	65.4			479	47.1			344	33.9		
0.300		850	83.6			612	60.2			439	43.2		
0.400		1000	98.4			720	70.9			517	50.9		
0.500		1235	121.5			889	87.5			638	62.8		

Fuente: Elaboración Propia.

Datos de muestra

Máxima Densidad Seca	1.924 gr./cm ³
Optimo Contenido de Humedad	9.20 %
Máxima Densidad Seca al 95%	1.828 gr./cm ³

C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : **49.3 %**

C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : **34.8 %**

C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : **24.8 %**

DETERMINACIÓN DE C.B.R.

C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1":	49.3	%
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1":	33.6	%
C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2":	63.4	%
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.2":	44.6	%

Figura 41. Resultados de CBR en la muestra 1

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra 2 (33 Kg de escoria negra)

Tabla 54

Relación de soporte California y contenido de humedad de la muestra 2

CALCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)						
Molde N°	4		5		6	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso suelo + molde (gr.)	12,730		12,421		12,126	
Peso molde (gr.)	8,251		8,170		8,089	
Peso suelo compactado (gr.)	4,479		4,251		4,037	
Volumen del molde (cm ³)	2,131		2,123		2,119	
Densidad húmeda (gr./cm ³)	2.102		2.002		1.905	
Humedad (%)	9.3		9.1		9.4	
Densidad Seca (gr./cm ³)	1.923		1.835		1.741	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tara+suelo húmedo (gr.)	324.6		354.9		398.0	
Tara+suelo seco (gr.)	300.8		329.8		368.1	
Peso de agua (gr.)	23.8		25.1		29.9	
Peso de tara (gr.)	44.9		54.2		51.1	
Peso de suelo seco (gr.)	255.9		275.6		317.0	
Humedad (%)	9.3		9.1		9.4	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 55

Expansión y penetración de la muestra 2

EXPANSIÓN													
Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión			
		Hr		mm	%		mm	%		mm	%		
				NO EXPANSIVO									
PENETRACIÓN													
Penetración (pulg.)	Carga Standard (kg./cm²)	Molde N° 4				Molde N° 5				Molde N° 6			
		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
		Dial	kg./cm²	kg./cm²	CBR %	Dial	kg./cm²	kg./cm²	CBR %	Dial	kg./cm²	kg./cm²	CBR %
0.025		33	3.2			18	1.8			14	1.4		
0.050		108	10.6			76	7.5			57	5.6		
0.075		199	19.6			142	14.0			99	9.7		
0.100	70.455	287	28.2	35.0	49.7	206	20.3	25.7	36.5	149	14.7	18.5	26.3
0.150		474	46.6			343	33.8			247	24.3		
0.200	105.680	662	65.1			471	46.4			348	34.2		
0.300		851	83.7			610	60.0			441	43.4		
0.400		995	97.9			722	71.1			523	51.5		
0.500		1239	121.9			893	87.9			641	63.1		

Fuente: Elaboración Propia.

Datos de muestra

Máxima Densidad Seca	1.924 gr./cm ³
Óptimo Contenido de Humedad	9.20 %
Máxima Densidad Seca al 95%	1.828 gr./cm ³

C.B.R. (0.1") 56 GOLPES : **49.7 %**

C.B.R. (0.1") 25 GOLPES : **36.5 %**

C.B.R. (0.1") 12 GOLPES : **26.3 %**

DETERMINACIÓN DE C.B.R.

C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1":	49.7 %
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1":	35.4 %
C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2":	63.4 %
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.2":	44.6 %

Figura 42. Resultados de CBR en la muestra 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra 3 (32 kg de escoria negra)

Relación de soporte California y contenido de humedad de la muestra 3

Fuente: Elaboración Propia.

Expansión y penetración de la muestra 3

Fuente: Elaboración Propia.

Datos de muestra

Máxima Densidad Seca	1.924 gr./cm ³
Óptimo Contenido de Humedad	9.20 %
Máxima Densidad Seca al 95%	1.828 gr./cm ³

DETERMINACIÓN DE C.B.R.

C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1":	51.1	%
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1":	35.7	%
C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2":	64.8	%
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.2":	46.0	%

Figura 43. Resultados de CBR en la muestra 3.

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones del ensayo

La norma presentada por el MTC E 132 busca un CBR (100% M.D.S.) 0.1% con un mínimo del 40%, la escoria negra presenta 49.3%, 49.7%, 51.1% en las muestras 1, 2 y 3 respectivamente con un promedio de 50.03% lo que está dentro del porcentaje admitido por la norma y por consiguiente el material es óptimo para su uso en afirmado.

5.5 Modelo de diseño experimental de espesor de capa de afirmado usado escorias negras.

En el diseño del espesor del afirmado con uso de escorias negras se tomó en consideración la norma AASHTO 1993, método de Dakota del Sur y los parámetros requeridos por el MTC en su manual EG-2013.

Para la realización del cálculo de espesor requerido se tomaron los resultados de los ensayos de CBR, sobre la escoria negra, de la cual obtuvimos un promedio de 50.03% para el 100% de la máxima densidad seca y con una penetración de carga de 0,1" (2,5 mm).

Figura 44 . Determinación de CBR muestra 1.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 45. Determinación de CBR muestra 2.

Fuente: Elaboración Propia.

DETERMINACIÓN DE C.B.R.

C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1":	51.1	%
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1":	35.7	%
C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2":	64.8	%
C.B.R. (95% M.D.S.) 0.2":	46.0	%

Figura 46. Determinación de CBR muestra 3.

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.1 Cálculo de espesor de afirmado por el método AASHTO 1993.

El método AASHTO para el cálculo de espesor de afirmados toma en consideración tres parámetros que son:

- Región Climática.

Tabla 58

Tabla de regiones climáticas método AASHTO.

REGIONES CLIMÁTICAS

REGIÓN	CARACTERÍSTICAS
I	Húmeda, sin heladas
II	Húmeda, con ciclos de congelamiento y deshielo
III	Húmeda, con alta penetración de la helada
IV	Seca, sin helada
V	Seca, con ciclos de congelamiento y deshielo
VI	Seca, con alta penetración de la helada

Fuente: AASHTO

- Calidad relativa del suelo o subrasante.

Tabla 59

Tabla calidad relativa del suelo de subrasante método AASHTO

CALIDAD RELATIVA DEL SUELO DE SUBRASANTE

Región climática	Muy pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy buena
I	2800*	3700	5000	6800	9500
II	2700	3400	4500	5500	7300
III	2700	3000	4500	4400	5700
IV	3200	4100	5600	7900	11700
V	3100	3700	5000	6000	8200
VI	2800	3100	4100	4500	5700

* módulo resiliente efectivo, en lb/pg²

Fuente: AASHTO

Para el cálculo del módulo resiliente efectivo en lb/pulg² o psi se utilizó la formula dada por la AASHTO 1993 que toma como parámetro el CBR calculado donde:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr = 4326 * \ln(50.03) + 241$$

$$Mr = 17167 \text{ psi}$$

Se analizó el espesor tanto para la región climática I y IV ya que Pisco cuenta con regiones húmedas y secas y se trata de sacar un estándar para la zona, por ende, tanto para la región I y IV el Mr nos indica que la calidad del suelo subrasante o material a ser usado en el afirmado es “Muy buena”

- Nivel de tránsito.

Tabla 60

Nivel de transito método AASHTO.

NIVEL DE TRÁNSITO

Nivel	Número de ejes equivalentes de 80 kN
Alto	60,000 – 100,000
Medio	30,000 – 60,000
Bajo	10,000 – 30,000

Fuente AASHTO

Ya que esta tesis se plasma en la construcción de afirmados en zonas rurales con carreteras tipo 1, se toma como consideración que las carreteras afirmadas serán de un nivel de tránsito bajo con vehículos tipo autos en su predominancia y con muy poca presencia de vehículos pesados, se pueden encontrar camiones pequeños de 3 toneladas como máximo que actualmente circulen por las trochas y/o afirmados de estas regiones y con una función de caminos rurales alimentadores.

Con los parámetros ya definidos se procede a calcular el espesor del afirmado con la ayuda de la siguiente tabla:

Tabla 61

Espesor de afirmado método AASHTO

Calidad relativa del suelo de subrasante	Nivel de tránsito	Región climática					
		I	II	III	IV	V	VI
		Espesor de afirmado en pulgadas					
Muy buena	Alto	8	10	15	7	9	15
	Medio	6	8	11	5	7	11
	Bajo	4	4	6	4	4	6
Buena	Alto	11	12	17	10	11	17
	Medio	8	9	12	7	9	12
	Bajo	4	5	7	4	5	7
Regular	Alto	13	14	17	12	13	17
	Medio	11	11	12	10	10	12
	Bajo	6	6	7	5	5	7
Pobre	Alto	**	**	**	**	**	**
	Medio	**	**	**	15	15	**
	Bajo	9	10	9	8	8	9
Muy pobre	Alto	**	**	**	**	**	**
	Medio	**	**	**	**	**	**
	Bajo	11	11	10	8	8	9

El módulo del material de afirmado es 30,000 psi

**** Se recomienda la construcción de un pavimento**

Fuente: AASHTO

Plasmando los parámetros requeridos para el diseño del espesor por el método AASHTO se tiene que tanto para la región climática I y IV se debe considerar un espesor mínimo de 4 in (10.16 cm).

5.5.2 Cálculo de espesor de afirmado por el método Dakota del Sur.

El método de Dakota del sur se basa en dos parámetros los cuales son la condición de soporte de la subrasante (CBR) y el número estimado de vehículos pesados que circularan por la carretera afirmada.

Tabla 62

Espesor de afirmado método Dakota del Sur

Numero diario estimado de vehículos pesados	Condición de soporte de la subrasante (1)	Espesor mínimo sugerido de afirmado, mm(pg)
0 a 5	Baja	165 (6.5)
	Media	140 (5.5)
	Alta	115 (4.5)
5 a 10	Baja	215 (8.5)
	Media	180 (7.0)
	Alta	140 (5.5)
10 a 25	Baja	290 (11.5)
	Media	230 (9.0)
	Alta	180 (7.0)
25 a 50	Baja	370 (14.5)
	Media	290 (11.5)
	Alta	215 (8.5)

Notas 1.- Capacidad baja $CBR \leq 3$

Capacidad media $3 < CBR \leq 10$

Capacidad alta $CBR > 10$

Fuente: Dakota del Sur

Se tiene un estimado para una carretera afirmada tipo 1 el tránsito de 0 a 5 vehículos pesados y para un valor de CBR mayor al 10 que es 50.03 se sabe que tiene una condición de soporte alta, localizando estos datos en la tabla mostrada se obtiene que el espesor mínimo sugerido debería ser de 11.5 cm.

Teniendo ambos valores de espesor requerido mínimo tanto por el método AASHTO y Dakota del Sur se compara con las especificaciones del manual de carreteras no pavimentadas de bajo transito del MTC en donde tenemos la siguiente tabla:

Tabla 63

Características Básicas para la superficie de rodadura de los caminos de bajo volumen de tránsito

CAMINO DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO CALZADA (m)	ESTRUCTURA Y SUPERFICIE DE RODADURA – ALTERNATIVAS (**)
T4	201 - 400	2 carriles 6.00 – 7.00	Afirmado (material granular, grava, homogenizado natural o por chancado tamaño máximo 5 cm) con superficie de rodadura (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T3	101 - 200	2 carriles 5.50 – 6.60	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51 - 100	2 carriles 5.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16 - 50	1 carril(*) ó 2 carriles 3.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o a mano, tamaño máximo 5 cm). perfilada y compactada, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3.50 – 4.50	Afirmado (tierra). En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

(*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(**) En caso de no disponer gravas en distancia cercana los caminos puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento ó cal ó productos químicos u otros.

Fuente: MTC

Se tiene que para carreteras tipo 1 un IMD proyectado de 16 – 50 para zonas rurales y en general para todas las alternativas se requiere un espesor mínimo de estructura de 15 cm para lo cual se tomara este último valor como el espesor para el diseño de carreteras afirmadas con el uso de escorias negras.

Tabla 64

Espesor de carretera en base a escoria negra

RESULTADOS			
Métodos			
AASHTO		DAKOTA DEL SUR	
10.16	cm	11.15	Cm
Carretera			
Tipo		1	
IMD proyectado		16-50	Z. Rural
Espesor mínimo		15	Cm mínimo

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.3 Consideraciones del manual EG-2013.

5.6 Capacidad portante del afirmado con uso de escorias negras.

Para realizar el cálculo de la capacidad portante se hizo uso de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo aplicado sobre las escorias negras para un espesor de 15 cm que es el propuesto para diseño del afirmado con uso de escorias negras, en base a lo obtenido se tiene que el Angulo de fricción ϕ (ϕ) es 35.6 y su coeficiente de cohesión es 0.31 kg/cm².

Figura 47. Ensayo de corte directo en escoria negra.

Fuente: Elaboración Propia.

Con estos datos y gracias a las fórmulas para hallar la carga admisible, se calcula la carga admisible que tienen las escorias negras en el afirmado. Esto mediante la ecuación de capacidad de carga según Meyerhof (1963) y ver si el afirmado de EAFS presenta la suficiente capacidad portante dentro de un caso conservador representado por un camión de 30 toneladas que circule por la vía.

Los datos para emplear en el cálculo fueron:

Tabla 65

Cuadro de datos ensayo de corte directo

DATOS			
Cohesión	C	0.31	Kg/cm ²
Angulo de fricción	φ	35.60	°
Tipo de falla	A		
Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación	γ _s	1.92	g/cm ³
Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación	Y	0.00	g/cm ³
Ancho de la cimentación	B	1.00	m
Largo de la cimentación	L	7.50	m
Profundidad de la cimentación	D _f	0.15	m
Inclinación de la carga	fi	0.00	°
Factor de seguridad	FS	3.00	

Fuente: Elaboración Propia.

Luego con la ayuda de las siguientes fórmulas planteadas por Meyerhof que nos permitieron hallar todos los coeficientes que entran a la fórmula de “q admisible” son:

$$q_u = cN_c S_c d_c i_c + q_s N_q S_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Factores de capacidad de carga.

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi N_q = tg^2(45 + \frac{\phi}{2}) e^{\pi tg \phi} N_\gamma = 2(N_q + 1) tg \phi$$

Factores de corrección por forma.

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c} S_q = 1 + \frac{B}{L} tg \phi S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Factores de corrección por profundidad.

$$\begin{aligned} Si \frac{Df}{B} > 1 \quad d_c &= 1 + 0.4 \arctg \left(\frac{Df}{B} \right) d_q \\ &= 1 + 2(tg \phi)(1 - \sen \phi)^2 \arctg \left(\frac{Df}{B} \right) d_\gamma = 1 \end{aligned}$$

$$Si \frac{Df}{B} \leq 1 \quad d_c = 1 + 0.4 \frac{Df}{B} d_q = 1 + 2(tg \phi)(1 - \sen \phi)^2 \frac{Df}{B} d_\gamma = 1$$

Factores de corrección por inclinación.

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)^2 i_\gamma = \left(1 + \frac{\beta}{\phi}\right)^2$$

Fig. 5-1. Ecuaciones para cálculo de qadm.

Cálculos:

Tabla 66

Capacidad de carga admisible de EAFS

Factores de Capacidad de carga		Factores de Forma	
NC	48.7356612	Sc	6.52336404
Nq	35.8913065	Sq	6.36947262
Ng	52.8231627	Sg	-2
Factores de Profundidad		Factores de inclinación	
dc	1.008	ic	1
dq	1.00500066	iq	1
dg	1	ig	1

Reemplazando en la formula se tiene:	qu	219.063613	Tn/m2
Finalmente			
Capacidad ultima de carga	qu	21.9063613	kg/cm2
FS		3	
finalmente se tiene:			
Capacidad admisible de carga	qadm	7.30212044	kg/cm2

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizados todos los cálculos se obtiene que la carga ultima que soporta el suelo con escorias negras es de 239.07 toneladas/metro cuadrado, y con un factor de seguridad 3 se tiene como respuesta final una carga admisible de la carretera tipo afirmado, de 73.00 Tn/m2,

comparando este valor con el de algún vehículo pesado para comprobar que el suelo es lo suficientemente resistente a las cargas que se le podrían impartir.

Si se tuviera un vehículo de 30 toneladas el cual presenta un peso muy conservador para el tipo de afirmado, con unas dimensiones de 14.5 m de largo y 2.4 m de ancho contando también que el camión tendría un peso total de 30t aproximadamente podemos calcular que el camión ejerce una fuerza de 1.01 toneladas por metro cuadrado, si comparamos ambos datos podemos ver una clara diferencia entre lo que aguanta el material de afirmado y la fuerza que podría imprimir el camión de 30 toneladas sobre la vía de afirmado, comprobando que el material es óptimo, en cuanto a parámetros de resistencia, para ser usado en la construcción de afirmados.

5.7 Conclusiones del modelo de diseño experimental de espesor de capa de una vía afirmada en zonas rurales usando escoria negra.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio realizados se comprobó que el material analizado, escoria negra, cumple con los requerimientos que el MTC exige para la construcción de afirmados de bajo volumen de tránsito, una vez comprobados estos resultados se planteó un diseño tentativo de espesor de capa de afirmado 10 cm, este valor fue comparado con los resultados del cálculo del espesor de afirmado utilizando los métodos AASHTO y Dakota del Sur, los cuales proporcionaron como resultado un espesor promedio de afirmado de 11 cm aproximadamente, como comprobación final recurrimos al manual de carreteras no pavimentadas del MTC en donde se estipula que el espesor mínimo para cualquier afirmado que se quiera construir con finalidad para un nivel de tránsito bajo es de 15 cm.

En base a los requerimientos del MTC en cuanto al diseño del afirmado se tomó como espesor mínimo para la capa de afirmado 15 cm, este valor satisface los requerimientos del MTC y los requerimientos de la zona en general ya que una capa de este espesor podrá soportar con facilidad cargas de vehículos pesados como camiones de 30 toneladas aun cuando se espera que la carretera afirmada no tenga este tipo de vehículos transitando por ella.

5.8 Análisis de costo de utilizar escorias negras en reemplazo del hormigón o gravas para la construcción de vías afirmadas de bajo tránsito en zonas rurales.

Con el fin de que el modelo experimental de vía afirmada con uso de escorias negras presentado anteriormente pueda ser usado por cualquier persona o entidad interesada es necesario presentar un análisis del costo que conlleva usar escorias negras como reemplazo de las gravas u hormigón para la construcción de vías afirmadas de bajo uso en zonas rurales.

Por ende para realizar este análisis de costo se tomó como punto de partida el análisis realizado por CAASA (Corporación Aceros Arequipa SA) en un informe realizado para el MTC en donde detalla la viabilidad de trabajar con escoria negra para realizar afirmados en zonas donde se necesitase debido a la destrucción causada por el terremoto del 2007 que sucedió en Ica – Pisco, en el documento (anexo 3) se encuentra que la viabilidad de trabajar con la escoria negra es a un radio de 62 km aproximadamente alrededor de la planta N°2 ubicada en Pisco con un precio que incluye el procesamiento de la escoria negra hasta su estado final y controlado hasta su transporte con un precio de 38.42 nuevos soles por m³ para la fecha, los precios se reajustaron gracias a los IU proporcionados por el INEI con los cuales se halló que el precio de este se incrementó a 38.91 nuevos soles siendo la diferencia mínima.

A partir de estos datos se calculó un ratio de costo m³/km en donde se toma como variable el precio de transporte del material ya que los precios de construcción en comparación al afirmado convencional son los mismo por razón a que al escoria negra en su uso en afirmados no necesita de un proceso de construcción diferente al convencional, al aplicar el ratio hallado que es de s/ 0.62 m³/km se puede calcular la distancia al proveedor de grava y/o hormigón más cercano sobre el cual CAASA tomo en consideración para calcular su viabilidad económica siguiendo la ecuación $\text{Distancia de proveedor o cantera} = (\text{Costo total} - \text{costo de grava y/o hormigón}) / \text{ratio}$, la cual nos dio como resultado 13 km aproximadamente de distancia del sitio del proyecto, aplicando la misma fórmula para diferentes distancias se puede saber de manera estimada y cual es la distancia mínima a la que debe encontrarse un proveedor o cantera de grava y/o hormigón, utilizado para la construcción de afirmados, para que sea viable utilizar la escoria negra transportándola desde la Planta N°2 de Aceros Arequipa ubicada en pisco, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 67

Distancias de viabilidad para uso de escorias negras en afirmados en zonas rurales

Distancia de la fábrica (km)	Costo aproximado por 1 m ³ (s/)	Radio de viabilidad (km)
5	3.14	-44.13
10	6.28	-39.13
20	12.55	-29.13
30	18.83	-19.13
40	25.10	-9.13
50	31.38	0.87
60	37.65	10.87
70	43.93	20.87
80	50.21	30.87
90	56.48	40.87
100	62.76	50.87
200	125.52	150.87

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar hasta los 50 km a la redonda de la planta de Aceros Arequipa es casi segura la viabilidad de usar escorias negras para la construcción de afirmados si tomamos como ejemplo distancias mayores como 80 km podemos deducir desde el sitio donde se desea realizar la obra de vía de afirmado tiene que haber una cantera o proveedor de grava y/o hormigón de afirmado a una distancia mínima de 31 km aproximadamente o más, si hubiese por ejemplo un proveedor o cantera de grava y/o hormigo a 30 km del sitio del proyecto ya no sería viable usar la escoria negra trasladándola desde la planta de Aceros Arequipa.

Conclusiones del análisis de costo:

Figura 48. Elaboración Propia, Radios de factibilidad económica para el uso de EAFS

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar en la figura diferentes radios de distancia todos con origen en la planta de acería de Aceros Arequipa ubicada en la ciudad de Pisco, los diferentes círculos nos delimitan los radios de factibilidad para el uso de escorias negras en la fabricación de afirmados siguiendo el orden propuesto a continuación:

- El círculo verde representa 50 km alrededor de la planta de Aceros Arequipa, según el análisis económico realizado cualquier zona dentro de este círculo es viable al 100% para el uso de escorias negras en la construcción de afirmados.
- En los círculos azul y amarillo que representa 75 km y 100 km respectivamente alrededor de la planta de Aceros Arequipa, de acuerdo al análisis económico realizado todas las zonas dentro de este círculo tienen una factibilidad intermedia para el uso de escorias negras en la construcción de

afirmado, la viabilidad de utilizar la escoria negra recae en el análisis de si existe o no una cantera o distribuidor de grava para afirmados cerca de la zona de proyecto, para determinar la factibilidad es necesario consultar la tabla “X” en donde se delimita el radio mínimo sobre el cual no debería existir un proveedor de grava para que el uso de escoria negra sea viable.

- En los círculos rojo y blanco que representan 125 km y 150 km respectivamente alrededor de la planta de Aceros Arequipa, según el análisis económico realizado, todas las zonas entre estos círculos representan una baja viabilidad para el uso de escorias negras en la construcción de afirmados ya que lo más probable es que sea más económico traer material convencional para la construcción de afirmados, desde cualquier distribuidor o cantera cercano, el uso de escoria negra en este rango aun es viable pero está sujeto al análisis económico presentado en la tesis, en donde se deberá localizar el distribuidor o cantera de grava más cercano al lugar de proyecto y con ayuda de la tabla proporcionada verificar si es viable utilizar la escoria negra en el lugar.

5.9 Cálculo de la capacidad de construcción de vías afirmadas de bajo tránsito en zonas rurales utilizando escorias negras.

De acuerdo a lo constatado con la Corporación de Aceros Arequipa (CAASA), se dispone actualmente de 250,000 TN de escoria negra, ya procesada, aproximadamente almacenada dentro de las instalaciones de la Corporación Aceros Arequipa ubicadas en su planta de acería en Pisco.

Conforme al diseño realizado para la capa de afirmado, se sabe que es necesaria tener, por norma peruana, por lo menos 15 cm de espesor para la capa de afirmado utilizando las escorias negras como material granular, el cual reemplaza a la grava convencional, tomando en cuenta también dimensiones estándar para lo que es el ancho de vía para un afirmado se toma el valor de 3.60 metros como ancho de vía.

Tomando en cuenta los datos de dimensión base para las vías afirmadas y a su vez, tomando en cuenta el grado de compactación necesario que requeriría la vía afirmada para cumplir con todos los estándares del MTC en cuanto a compactación y resistencia se obtiene que se necesitan 540 metros cúbicos de material aproximadamente, para construir 1 km de vía afirmada, tomando en cuenta que el material empleado para la construcción sea escoria negra

en un 90% y el 10% restante en material fino agregado para darle una granulometría más adecuada.

Finalmente, sabiendo que son necesarios 540 metros cúbicos de material para poder realizar 1 km de vía afirmada utilizando escorias negras y sabiendo que actualmente que la Corporación Aceros Arequipa cuenta actualmente con 250,000 toneladas de escoria negra almacenada se puede afirmar que se cuenta con el material necesario para construir aproximadamente 380 km de vías afirmadas utilizando la escoria negra como material principal, este número nos muestra que existe la posibilidad brindar vías duraderas y de calidad, principalmente en aquellas vías que sean de tierra (trocha) o afirmados ya contruidos pero que ya estén desgastados, a aquellas comunidades que carecen de ellas y que de preferencia se encuentren cercanas a la planta de Aceros Arequipa como son las comunidades de Sunampe, Chinchabaja, Humay, Paracas, Pozo Santo, Salinas de Otuma, Laguna Grande, entre otras; esto debido al análisis económico que se realizó anteriormente para el uso de las escorias para construir afirmados en reemplazo del uso de la grava convencional que se usa para construir los mismos.

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que es factible implementar vías de comunicación en base a escorias negras provenientes de CAASA como parte de sus agregados para el afirmado.

Si bien existe información sobre las características de las escorias negras de diferentes plantas siderúrgicas, a nivel internacional, es necesario obtener las características de las escorias locales, ya que estas serán las que se emplearán en la construcción de afirmados.

En base a los métodos planteados por la norma ASSHTO y Dakota del Sur, se obtuvo un espesor de 10.16 cm y 11.15 cm respectivamente para el espesor del afirmado con uso de escorias negras. Sin embargo, el manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito establece un espesor mínimo de 15cm, por lo que se toma dicho espesor.

Se puede deducir que el material cumple con los rangos óptimos Establecidos por las normas y manuales.

Resumen de Resultados

Tabla 68

Resumen de Resultados.

	Método de ensayo	Requerimientos del MTC	Escoria
Ensayo de Granulometría	MTC E 204	Cumple requerimiento del MTC con +10% de AF	
Límites de Consistencia	MTC E 111	LL max 35%	0%
Proctor Modificado Método B	MTC E 115	Densidad Máxima seca 1.924 gr/cm ³ Contenido de Humedad optimo: 9.20%	
Densidad	MTC E 117	Contenido mínimo 85%	87.00%
Valor de impacto al agregado	MTC E 207	Desgaste máximo 50%	18.04%
CBR	MTC E 132	CBR mínimo 40%	50.03%
Resultados Químicos	Requerimiento	Sin contaminación critica al ambiente	
Diseño de afirmado	EG 2013	Espesor mínimo 15cm, según norma.	
Factibilidad económica de uso	Requerimiento	Radio óptimo de transporte 50km	
Capacidad Portante	EG 2013	7.3 kg/cm ²	

Fuente: Elaboración Propia.

Se determinó la factibilidad del uso de escorias negras para afirmados mediante el análisis económico realizado, el cual relaciona la distancia de proveedor en relación al costo total diferenciado por el costo de material de afirmado e inversamente proporcional a un ratio establecido en base a los análisis de Aceros Arequipa. Se obtuvo un radio óptimo de transporte del material a 50km desde la planta siderúrgica.

$$D_{pc} = \frac{C_T - C_{grava}}{ratio}$$

6 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Validación de hipótesis.

En los capítulos anteriores se han ido estableciendo el orden del marco de investigación objetivo de la presente tesis. De forma descriptiva, experimental y analítica se ha examinado los componentes químicos y los parámetros físico mecánicos (resistencia, densidad,

humedad optima, entre otros) de las escorias negras, mediante los ensayos de laboratorio requeridos y especificados por normativas peruanas impuestas por el MTC, así como un análisis económico del costo-beneficio de usar escorias negras para construir afirmados en zonas rurales y la cantidad, en km, de vías afirmada que se pueden construir utilizando escorias negras. Por ello, cabe destacar los siguientes resultados, que avalan la hipótesis propuesta según los objetivos propuestos en la presente tesis.

Con relación al capítulo 4, sobre la composición química de las escorias negras y como estas se comportan con el medio ambiente, después de realizar las pruebas de espectrofotometría de absorción atómica sobre las escorias negras. Se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 69

Tabla Comparativa de composición mineral de las Escorias Negras

ANALISIS	SIMBOLO	UND	Jramon	LABICER	variación absoluta	Promedio	Variación %
Aluminio	Al	ppm	25.534	26.345	0.811	25.9395	1.56%
Antimonio	Sb	ppm	4.5	4.102	0.398	4.301	4.63%
Arsénico	As	ppm	8.13	7.115	1.015	7.6225	6.66%
Bario	Ba	ppm	961	879.654	81.346	920.327	4.42%
Bismuto	Bi	ppm	4.9	3.397	1.503	4.1485	18.11%
Cadmio	Cd	ppm	9.15	9.007	0.143	9.0785	0.79%
Calcio	Ca	ppm	207654	200245.216	7408.784	203949.608	1.82%
Cobalto	Co	ppm	11.08	14.523	3.443	12.8015	13.45%
Cobre	Cu	ppm	260.9	274.506	13.606	267.703	2.54%
Cromo	Cr	ppm	1106	1168.478	62.478	1137.239	2.75%
Estaño	Sn	ppm	1.4	0.974	0.426	1.187	17.94%
Hierro	Fe	ppm	208713	223005.551	14292.551	215859.276	3.31%
Litio	Li	ppm	21.6	19.004	2.596	20.302	6.39%
Magnesio	Mg	ppm	49.565	89.504	39.939	69.5345	28.72%
Manganeso	Mn	ppm	23157	24001.354	844.354	23579.177	1.79%
Níquel	Ni	ppm	56.89	50.269	6.621	53.5795	6.18%
Plata	Ag	ppm	2.5	2.687	0.187	2.5935	3.61%
Plomo	Pb	ppm	52	50.231	1.769	51.1155	1.73%

Potasio	K	ppm	465	501.21	36.21	483.105	3.75%
Selenio	Se	ppm	1	0.689	0.311	0.8445	18.41%
Sodio	Na	ppm	1852	1899.565	47.565	1875.7825	1.27%
Zinc	Zn	ppm	1250	1268.5	18.5	1259.25	0.73%
Fosforo	P	ppm	1124	1199.507	75.507	1161.7535	3.25%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 70

Estándares de calidad para usos de suelos.

N°	Parámetros	Usos del Suelo			Metodo de ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
II Inorgánicos					
15	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
16	Arsénico total (mg/kg MS) ₍₂₎	50	50	140	EPA 3050-E EPA 3051
17	Bario total (mg/kg MS) ₍₂₎	750	500	2 000	EPA 3050-E EPA 3051
18	Cádmio total (mg/kg MS) ₍₂₎	1,4	10	22	EPA 3050-E EPA 3051
19	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
20	Mercurio total (mg/kg MS) ₍₂₎	6,6	6,6	24	EPA 7471-E
21	Plomo total (mg/kg MS) ₍₂₎	70	140	1 200	EPA 3050-E EPA 3051

Rango de principales metales pesados para 3 tipos de suelos.

Fuente: MINAM

Tabla 71

Resultado de contenido de Cromo VI en escorias negras

ANÁLISIS	RESULTADO (ppm)
Cromo (VI)	11.348 ppm

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 49. Metales pesados encontrados en EAFS en partículas por millón.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 50. Metales pesados encontrados en EAFS en partículas por millón

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 51. Contenido de cromo trivalente y hexavalente encontrado en las partículas de cromo dentro de las EAFS

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 72

Alternativas de Fitorremediación para Cr VI.

Reducción de Cr VI		
Fitorremediación	por	7400 ppm de Cr VI
HelianthusAnnuus (girasol)		
Ácido ascórbico (Camu camu)	Reducción de 98%	
	de Cr VI	

Fuente: Elaboración Propia.

Se encontró que poseen minerales inocuos para el medio ambiente con una excepción en el contenido del Cromo VI, que al exceder el parámetro preestablecido por el MINAM de 1.4 ppm con 11.3 ppm debe ser remediado dependiendo de la zona en donde se plantee hacer uso de las escorias negras, para ello se presenta la opción de utilizar fitorremediación con *Helianthus Annuus* (comúnmente denominada girasol), que puede reducir hasta en 7400 ppm de Cromo VI en un periodo de 15 días, ya que esta planta puede crecer en zonas calurosas como es el clima general de la ciudad de Pisco y alrededores.

Del mismo modo se comprobaron los parámetros físicos que debe tener la escoria negra (como agregado grueso) para poder ser utilizada en la construcción de vías afirmadas de bajo tránsito en zonas rurales, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Ensayo de Granulometría: La escoria negra cumple satisfactoriamente con las cantidades requerida en lo que respecta a los agregados gruesos (Material retenido Malla Nro. 4), pero carece del material fino para la construcción de afirmados de bajo tránsito en zonas rurales, por lo que se experimentó mezclando la escoria negra con arena como agregado fino en una relación 90-10, al realizar los ensayos nuevamente con esta mezcla se vio que la combinación de escoria negra en 90% y agregado fino en 10% cumple satisfactoriamente los parámetros granulométricos del MTC para la construcción de afirmados de bajo tránsito en zonas rurales.

Como podremos apreciar en las siguiente tabla y gráficos, se muestra un resumen de los porcentajes de material que pasan los diferentes tamices granulométricos según lo requerido por el MTC de acuerdo a los ensayos de granulometría realizados sobre la mezcla de escoria negra y agregado fino en proporción 9:1, los resultados están expresados en el % de material que pasa por cada tamiz y se compararon entre si para saber cuáles son las tendencias de granulométricas de las diferentes muestras ensayadas o de muestras que se quieran ensayar, a fin de poder saber que datos podremos obtener, con una aproximación acertada, al momento de ensayar cualquier muestra de mezcla de escoria negra más agregado fino.

Tabla 73

Resumen de ensayo de granulometría sobre la mezcla de EN:AF.

%PASA MEZCLA EN:AF								
TAMIZ	NORMA	MUESTRA					MEDIA	VARIACION
		1	2	3	4	5		
50 mm (2")	100%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	± 0.0000%
37.5 mm (1 ½")	100%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	100.0000%	± 0.0000%
25 mm (1")	90 - 100%	97.2122%	95.7911%	96.9221%	98.4332%	97.1832%	97.1084%	± 0.9409%
19 mm (¾")	65 - 100%	92.4719%	83.2433%	88.5752%	91.5765%	93.2432%	89.8220%	± 4.0816%
9.5 mm (3/8")	45 - 80%	68.8972%	70.2571%	78.3632%	70.1932%	77.0523%	72.9526%	± 4.3991%
4.75 mm (N°4)	30 - 65%	59.0865%	61.8332%	62.2432%	56.3895%	63.4123%	60.5929%	± 2.8350%
2.00 mm (N°10)	22 - 52%	35.4122%	38.2131%	36.2317%	39.2514%	38.2135%	37.4644%	± 1.5848%
425 um (N°40)	15 - 35%	25.5186%	30.6517%	27.8596%	26.5171%	27.5265%	27.6147%	± 1.9293%
75 um (N°200)	5 - 20%	8.6530%	7.8156%	8.4152%	6.8948%	7.2165%	7.7990%	± 0.7527%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 5-6 tenemos el resumen de resultados de porcentajes de mezcla EN:AF que pasa por cada uno de los tamices requeridos por el MTC para la construcción de afirmados tipo I de bajo tránsito. A continuación se presentan gráficos en donde se compara de manera gráfica los resultados de cada tamiz independientemente exceptuando los tamices de 2" (50 mm) y de 1 ½"(37.5 mm) ya que como se aprecia en la tabla el MTC requiere que el 100% del material pase por esos tamices y todas las muestras cumplen ese requerimiento por ende tiene una probabilidad del 100 % de cumplir con los tamices mencionados.

- Tamiz con malla de 1" (25 mm)

Figura 52. % Material que pasa la malla 1" (25 mm)

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 90% y máximo el 100% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $97.1084 \pm 0.9409\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de 1" siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

- Tamiz con malla de 3/4" (19 mm)

Figura 53. % Material que pasa la malla 3/4" (19 mm).

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 65% y máximo el 100% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $89.8220 \pm 4.0816\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de 3/4" siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

- Tamiz con malla de 3/8" (9.50 mm)

Figura 54. % Material que pasa la malla 3/8" (9.5 mm).

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 45% y máximo el 80% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $72.9526 \pm 4.3991\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de 3/8" siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

- Tamiz con malla de Nro. 4 (4.75 mm)

Figura 55. % Material que pasa la malla Nro. 4 (4.75 mm).

(Fuente: Elaboración Propia)

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 30% y máximo el 65% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $60.5929 \pm 2.8350\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de Nro. 4 siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

- Tamiz con malla de Nro. 10 (2.00 mm)

Figura 56. % Material que pasa la malla Nro. 10 (2.00 mm).

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 22% y máximo el 52% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $37.4644 \pm 1.5848\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de Nro. 10 siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

- Tamiz con malla de Nro. 40 (425 μ m)

Figura 57. % Material que pasa la malla Nro. 40 (425 μ m).

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 15% y máximo el 35% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $27.6147 \pm 1.9293\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de Nro. 40 siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

- Tamiz con malla de Nro. 200 (75 μ m)

Figura 58. % Material que pasa la malla Nro. 200 (75 μ m).

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que los valores porcentuales de material que pasa por esta malla están dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 5% y máximo el 20% del material.
- El promedio porcentual de todas las muestras ensayadas es de $7.7990 \pm 0.7527\%$, se puede concluir que se obtendrá este porcentaje de material pasante por la malla de Nro. 200 siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

Analizando la granulometría tomando cada muestra como un todo mediante su modulo granulométrico, de igual manera tomando los valores máximos y mínimos de % de material que debe pasar cada tamiz (requerido por el MTC) tenemos el siguiente análisis.

Tabla 74

Resultados de ensayo de granulometría sobre la mezcla de EN:AF expresado en módulos de granulometría.

TAMIZ	%RETENIDOS MEZCLA EN:AF 9:1				
	MUESTRA				
	1	2	3	4	5
50 mm (2")	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37.5 mm (1 ½")	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25 mm (1")	2.79	4.21	3.08	1.57	2.82
19 mm (¾")	7.53	16.76	11.42	8.42	6.76
9.5 mm (3/8")	31.10	29.74	21.64	29.81	22.95
4.75 mm (N°4)	40.91	38.17	37.76	43.61	36.59
2.00 mm (N°10)	64.59	61.79	63.77	60.75	61.79
425 um (N°40)	74.48	69.35	72.14	73.48	72.47
75 um (N°200)	91.35	92.18	91.58	93.11	92.78
MG	3.127	3.122	3.014	3.107	2.962

Figura 59. Historial de módulos granulométricos de mezcla EN:AF.

Fuente: Elaboración propia.

- Se puede apreciar que el módulo granulométrico de cada muestra ensayada está dentro de los rangos requeridos que son mínimo el 2.48 y máximo el 4.28.
- El promedio del módulo granulométrico de todas las muestras ensayadas es de 3.066 ± 0.0746 , se puede concluir que se obtendrá este valor de modulo

granulométrico aproximadamente, siempre y cuando sea una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 y mientras la escoria negra provenga de los almacenes de escoria negra en la Planta Nro. 2 de CAASA en Pisco.

Se puede apreciar, que tanto los módulos granulométricos como los porcentajes de material pasante por cada tamiz requerido por el MTC de cada muestra de mezcla, de EN:AF en relación de 9:1, ensayada están dentro de los rangos permitidos por el MTC para vías afirmada Tipo I de bajo tránsito, con estos datos podemos saber que al muestrear mezcla de escoria negra (que provenga de los almacenes de CAASA de su planta de producción en Pisco) y agregado fino en una proporción de 9:1 obtendremos una granulometría adecuada para construir vías afirmadas Tipo I de bajo tránsito en zonas rurales según los parámetros exigidos por el MTC.

- Límites de Atterberg: El MTC pone un tope máximo de $LL \leq 35\%$ para el material a ser usado para construir afirmados en zonas rurales, realizando los ensayos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de plasticidad sobre la escoria negra, se encontró que en todos los casos el resultado es 0%, como se puede apreciar en la siguiente gráfica.

Figura 60. Resultados de ensayo de límite líquido sobre EAFS.

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, se puede concluir que cualquier muestra de escoria negra que se someta a un ensayo de límites de Atterberg dará como resultado el 100% de los casos que la escoria

negra no contiene límites líquidos ni límites plásticos. Siendo la escoria negra apta para su uso en la construcción de afirmados en zonas rurales de bajo tránsito de acuerdo a los requerimientos del MTC.

- CBR: El MTC requiere que el ensayo CBR sea de un mínimo del 40% con la restricción de que sea al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1” (2,5 mm), para ello primero se realizó el ensayo de Proctor modificado tipo B (debido a su granulometría) obteniendo máxima densidad seca de 1.924 g/cm³ y una humedad óptima de 9.20 % para las escorias negras.

Para realizar los ensayos de CBR primero se tuvo que realizar ensayos de Proctor modificado tipo B, de acuerdo a la granulometría obtenida en los ensayos granulométricos realizados sobre la mezcla de escoria negra con agregado fino.

Primero se obtuvo el contenido de humedad real presente en una mezcla de EN:AF en relación de 9:1, los datos de % de humedad real se obtuvieron a partir de las muestras ensayadas en los ensayos granulométricos antes expuestos.

Tabla 75

Resultados de contenido de humedad natural en % en muestras de mezcla EN:AF.

	MUESTRA				
	1	2	3	4	5
Peso Inicial	8117.78	3441.51	3221.23	3661.44	4385.75
Peso Seco	8050.27	3411.18	3194.71	3629.54	4347.94
% humedad	0.8317%	0.8813%	0.8232%	0.8712%	0.8621%

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 61. Grafica % humedad natural en mezcla de EN:AF.

Fuente: Elaboración propia.

De los datos de humedad presente en las muestras de mezcla sin alterar se puede concluir que el promedio de humedad real presente en una mezcla de EN:AF en relación de 9:1 es de $0.8539 \pm 0.0253\%$, el valor porcentual de humedad es bajo debido a que la escoria negra se almacena a la intemperie en un ambiente árido y seco (almacenes de CAASA en Pisco) con una exposición constante al sol por lo que aporta humedad a la mezcla es el agregado fino que se le adiciona a la escoria negra para poder usarla en la construcción de afirmados según lo propuesto en la presente tesis.

A partir de los valores de humedad real contenida en la mezcla de EN:AF, en relación de 9:1, sin alterar, se tomaron 4 muestras representativas de 4kg cada muestra, previamente pasando por un proceso de secado en horno, y se les agrego agua destilada en una proporción aproximada del 6%, 8%, 10% y 12% del peso seco de cada muestra respectivamente, se procedió a realizar el ensayo de Proctor modificado tipo B sobre cada muestra en donde se obtuvo el siguiente resumen de resultados.

Tabla 76

Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado tipo B Norma. ASTM D1557.

	Simbolo	und	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Contenido de Humedad	H	%	5.90%	7.30%	9.20%	11.30%
peso total 1	Wt	g	6628	7082	7350	7200
peso muestra 1	W	g	3841	4295	4563	4413
desidad Humeda	Yh	g/cm3	1.768	1.977	2.101	2.032
Densidad Seca de campo	Yd	g/cm3	1.670	1.843	1.924	1.825

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 62. Curva Densidad Seca vs %Humedad Proctor modificado.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de Proctor modificado tipo B, se puede concluir que al ensayar 4 muestras representativas totalmente secas añadiendo agua destilada en un 6% de su peso respectivo hasta un 12% con una relación incremental de 2% entre cada muestra, se obtuvo que el % óptimo de humedad para la mezcla de EN:AF en relación de 9:1 es de 9.20% con una densidad seca máxima de 1.924 g/cm³, dato obtenido siguiendo todos los procedimientos y parámetros de ensayo de la norma ASTM D1557 dando fe de la exactitud del resultado.

Con los resultados obtenidos del ensayo de Proctor modificado tipo B, se realizaron 3 ensayos de CBR, sobre 3 muestras diferentes de mezcla de EN:AF en proporción de 9:1, con el porcentaje de humedad optima respectivo. Se trabajo una carga fija de 1002.11 PSI o 70.455 kg/cm² según norma ASTM D1883 (1000 PSI, a escoria negra es un material sin

cohesión y se la trata como material de humedad constante). Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 77

Resultados de ensayo C.B.R. sobre mezcla de EN:AF al 100% DMS y 0.1" penetración de carga.

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYO C.B.R.								
MUESTRA	CARGA kg/cm2	Nro CAPAS	GOLPES x CAPA	D. SECA g/cm3	% HUMEDAD	RESULTADO kg/cm2	% C.B.R.	
1	70.455	5	56	1.920	9.1	34.7	49.25%	
2	70.455	5	56	1.923	9.3	35.0	49.68%	
3	70.455	5	56	1.920	9.2	36.0	51.10%	

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 63. Resultados de ensayo C.B.R. en kg/cm2.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Resultados de ensayo C.B.R. en %.

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados expuestos se puede concluir que se todas las muestras ensayadas contenían el % de humedad optimo para la mezcla de EN:AF en relación de 9:1 siendo el promedio de las 3 muestras $9.2 \pm 0.1\%$ de contenido de humedad con respecto a su peso. La densidad seca promedio de las 3 muestras ensayadas es de $1.921 \pm 0.002 \text{ g/cm}^3$, siendo este valor el óptimo para el ensayo debido a que representa el 99.84% de la máxima densidad seca obtenida en el ensayo de Proctor modificado (1.924 g/cm^3).

EL % promedio de C.B.R. obtenido al ensayar las 3 muestras es de $50.01 \pm 0.97\%$ ($35.2 \pm 0.7 \text{ kg/cm}^2$) de la carga impuesta sobre las muestras (70.455 kg/cm^2), por ello se concluye que el porcentaje de C.B.R. obtenido al ensayar las muestras de mezcla de EN:AF en relación de 9:1 cumple con los parámetros de calidad del MTC para afirmados que indica un % de C.B.R. del 40% como mínimo, la mezcla EN:AF cumple satisfactoriamente lo requerido.

- Valor de impacto al Agregado: Si bien el MTC solicita un ensayo de Desgaste Los Ángeles, se optó por realizar las pruebas de impacto al agregado al ser estos ensayos similares pero que brindan resultados iguales, la diferencia recae sobre la cantidad de muestra que se prueba al mismo tiempo, por ello se realizaron múltiples ensayos de valor de impacto al agregado de tal forma que se obtengan resultados que avalen la resistencia de las escorias negras a la abrasión. De los ensayos de valor de impacto al agregado sobre muestras de mezcla de EN:AF en relación de 9:1 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 78

Resultados de ensayo de Valor de Impacto al Agregado.

ENSAYO DE VALOR DE IMPACTO EN EL AGREGADO				
	Und	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso Recipiente	g	3652.8	3652.8	3652.8
Peso Recipiente + Muestra	g	4301.2	4287.4	4308.9
Peso final de muestra + recipiente	g	4178.4	4185.5	4183.4
Peso inicial Muestra	g	648.4	634.6	656.1
Peso Muestra	g	525.6	532.7	530.6
Peso pasante tamiz #8	g	119	100.4	123.3
VIA	%	18.94%	16.06%	19.13%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Resultados de ensayo de Valor de Impacto al Agregado.

Fuente: Elaboración propia.

EL MTC solicita que el desgaste máximo que debe tener el material tras los ensayos de abrasión no debe exceder al 50% de su proporción inicial, después de realizar los ensayos de valor de impacto al agregado sobre la mezcla EN:AF se obtuvo un desgaste máximo promedio del $18.04 \pm 1.72\%$ pudiendo concluir que la escoria negra cumple satisfactoriamente los parámetros de calidad en cuanto a resistencia a la abrasión que deben tener el material para ser usado en la construcción de afirmados de acuerdo a los parámetros de calidad del MTC.

Con lo expuesto anteriormente se comprobó y se da fe, de que la escoria negra cumple con todos los estándares de Calidad que requiere la norma peruana para la construcción de afirmado de bajo tránsito en zonas rurales. Referido a lo anterior se atiende la hipótesis propuesta, para ello se realizó un diseño experimental de capa de afirmado utilizando escorias negras y agregado fino (con una relación de mezcla 90-10 respectivamente), utilizando los métodos, de cálculo de espesor de capa, AASHTO 1993 y Dakota del Sur, para ambos casos se requiere el valor del ensayo CBR, como variable principal para determinar el espesor de capa de afirmado. de la mezcla de EN:AF, se consideró el valor promedio de todos los ensayos CBR. que es $50.01 \pm 0.97\%$. Los resultados siendo los resultados de esto 10.16 cm (4") para el método AASHTO utilizando el módulo de resiliencia de la mezcla EN:AF= 17167 psi para determinar la calidad del suelo (Muy buena de acuerdo a la tabla 4-30 de la presente tesis) y con ello el espesor de capa de acuerdo a la tabla 4-32 de la presente tesis. Para el método Dakota del sur el espesor de capa es 11.50 cm (4.5") tomando como variable principal el $\%C.B.R.=50.01 \pm 0.97\%$, de acuerdo al método Dakota del sur se clasifica la condición de nuestra mezcla EN:AF como "Alta" por encontrarse dentro del rango de $C.B.R. > 10$, transportando esta información a la tabla 4-12 de la presente tesis se obtiene el resultado de espesor de capa expuesto líneas arriba. Comprando estos resultados con las especificaciones mínimas del MTC (correspondiente a la DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES), se tomó el espesor mínimo de 15 cm que se requiere (Tabla 5-12) como espesor de capara para nuestro diseño experimental de afirmado Tipo 1 con 2 carriles de 3m de ancho, utilizando escorias negras.

Tabla 79

Características básicas para la superficie de rodadura de los caminos de bajo volumen de tránsito.

CAMINO DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO CALZADA (m)	ESTRUCTURA Y SUPERFICIE DE RODADURA – ALTERNATIVAS (**)
T4	201 - 400	2 carriles 6.00 – 7.00	Afirmado (material granular, grava, homogenizado natural o por chancado tamaño máximo 5 cm) con superficie de rodadura (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T3	101 - 200	2 carriles 5.50 – 6.60	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51 - 100	2 carriles 5.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16 - 50	1 carril(*) ó 2 carriles 3.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o a mano, tamaño máximo 5 cm). perfilada y compactada, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3.50 – 4.50	Afirmado (tierra). En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

Fuente: Manual EG-2013 MTC.

Finalmente con respecto, al análisis económico de uso de la escoria negra como reemplazo del agregado grueso convencional (gravas y zahorras), se halló matemáticamente un ratio de relación uso de gravas/escorias negras, para la construcción de afirmados, siendo la única variable el costo de adquisición del agregado grueso desde cantera o proveedor, ya que el proceso constructivo no varía al convencional, se obtuvo que el radio óptimo de uso de escorias negras es de 50 km (referenciar los rango admisibles en la tabla 4-38 de la presente tesis) teniendo como eje central la planta Nro. 2 de CAASA en Pisco que es donde se almacenan las escorias negras actualmente, por otro lado se sabe que actualmente existen más de 250 mil toneladas de escorias negras almacenadas en la planta nro. 2 de CAASA, con el diseño experimental propuesto y el material disponible se calcula que es posible construir 380 km aproximadamente de vías afirmadas utilizando escorias negras. Las comunidades que se podrían ver beneficiadas con estas vías afirmadas son las comunidades de Sunampe,

Chincha baja, Humay, Paracas, Pozo Santo, Salinas de Otuma, Laguna Grande y aledaños. Cabe agregar que se realizó el cálculo de capacidad cortante utilizando el método de Meyerhoff 1963, sobre la escoria negra, teniendo como resultado una capacidad portante de 7.3 kg/cm^2 asegurando que el material es lo bastante resistente para soportar cargas inducida por maquinaria pesada como por ejemplo un volquete de 30 toneladas que ejerce una fuerza cortante sobre el suelo de 0.103 kg/cm^2 , por lo que la escoria negra es capaz de soportar estas cargas si se ve necesario.

Por todo lo expuesto anteriormente se valida la hipótesis “El número de vías de comunicación terrestres y calidad de las mismas, en zonas rurales, no satisfacen la demanda que requiere la población residente, frente a tal problemática se plantea usar las escorias negras, producto residual de la fabricación de acero, como material sustituto del agregado grueso en la construcción de vías afirmadas en las zonas rurales del país en donde se necesite. Para esta finalidad, se quiere plantear un diseño experimental de espesor de una capa de rodadura afirmada tipo I, en zonas rurales de bajo tránsito mediante los parámetros establecidos por el MTC y normativas peruanas. Este diseño permitirá incrementar la construcción de carreteras afirmadas con material reciclado” ya que la escoria negra cumple con todos los estándares de calidad del MTC, es lo bastante resistente a cargas de vehículos pesados y existe el material necesario para construir aproximadamente 230 km de vías afirmadas en zonas rurales, por consiguiente es factible usar las escorias negras, con el diseño experimental propuesto, para la construcción de vías afirmadas en zonas rurales de nuestro país, siempre y cuando sea factible su uso económicamente utilizando el análisis económico realizado también en la presente tesis.

6.2 Conclusiones.

Gracias a los antecedentes que presentan las EAFS en su aplicación para diversas áreas de la ingeniería civil, se puede afirmar que es factible implementar vías de comunicación en base a escorias negras provenientes de CAASA como parte de sus agregados para el afirmado.

Si bien existe información sobre las características de las escorias negras de diferentes plantas siderúrgicas, a nivel internacional, es necesario obtener las características de las escorias locales, ya que estas serán las que se emplearán en la construcción de afirmados.

Con respecto a la contaminación que podrían producir las escorias en el entorno a aplicar, se dedujo que, frente a la cantidad de metales pesados encontrados, existe únicamente un incremento en los contenidos de Cromo (Cr) y Cobre (Cu) con respecto a los rangos permitidos en zonas agrícolas planteados por Hagedorn, Lindsay, Kabata&Pendias y Bowie&Thornton. Sin embargo, los resultados obtenidos son conservadores debido a que la zona en la que se aplicara este diseño no presenta gran cantidad de zonas agrícolas. En caso de querer establecer el diseño en una zona agrícola se puede minorar las cantidades de metales pesados mediante la fitorremediación, al emplear un sembrío de plantas de girasol en torno al área a construir.

Se puede deducir que el material cumple con los rangos óptimos Establecidos por las normas y manuales.

En primer lugar, se tienen las pruebas de mecánica de suelos:

- La granulometría del material cumple los requerimientos del MTC siempre y cuando se tenga presente una relación de 9:1 de escoria negra y agregado fino.
- El manual establecido por el MTC pide un máximo de 35% de la consistencia de límite líquido del material a ensayar, la escoria negra no presenta límite líquido ni plástico debido a que esta se cierra con una mínima cantidad de golpes en la copa de Casagrande, incluso al ser sobresaturada.
- El MTC no pide que se realice el ensayo de Proctor Modificado, pero este es necesario para calcular la densidad máxima seca y el contenido de humedad óptimo del material, se obtuvieron los resultados de 1.924 gr/cm³ y 9.2% respectivamente.
- Con respecto al ensayo de densidad el MTC pide un nivel de compactación no menor del 85% y en promedio las escorias negras presentan un 87.09% de compactación, lo que está dentro de lo establecido para carreteras afirmadas.
- El ensayo de Valor de impacto al agregado busca que el desgaste máximo el material a ensayar sea del 50%, las escorias negras presentan un desgaste máximo de 18.04%.
- El ensayo de CBR busca determinar un índice de resistencia del material a ensayar, la norma presentada por el MTC E 132 busca un CBR (100% M.D.S.) 0.1" con un mínimo del 40%, la escoria negra presenta 49.3%, 49.7%, 51.1% en las muestras 1, 2 y 3 respectivamente con un promedio de 50.03%.

En base a los métodos planteados por la norma AASHTO y Dakota del Sur, se obtuvo un espesor de 10.16 cm y 11.15 cm respectivamente para el espesor del afirmado con uso de escorias negras. Sin embargo, el manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito establece un espesor mínimo de 15cm, por lo que se toma dicho espesor.

Se llegó a determinar la viabilidad del uso de las EAFS para su empleo en afirmados mediante la factibilidad económica de uso, la cual relaciona la distancia de proveedor en relación al costo total diferenciado por el costo de material de afirmado e inversamente proporcional a un ratio establecido en base a los análisis de Aceros Arequipa. Se obtuvo un radio óptimo de transporte del material a 50 km desde la planta siderúrgica, se resume la relación para determinar la distancia óptima mediante la siguiente fórmula.

$$D_{pc} = \frac{C_T - C_{grava}}{ratio}$$

Finalmente se afirma en el sub capítulo 4.9 de la presente tesis que se pueden construir aproximadamente 380 km de vía afirmada tipo I con 15 cm de espesor de capa y 2 carriles de 3 m cada uno, ya que se cuenta con más 250 mil toneladas de escoria negra almacenada en la planta Nro 2 de CAASA en Pisco, con ello se beneficiarían bastantes comunidades aledañas a la zona como la comunidad de Sunampe, Chíncha baja, Humay, Paracas, Pozo Santo, Salinas de Otuma, Laguna Grande, entre otras. Recomendando tomar en cuenta el análisis económico realizado en la presente tesis para verificar que sea factible económicamente usar la escoria en la zona donde se quiera realizar el proyecto y mientras se utilice el diseño experimental de capa presentado en la tesis.

6.3 Recomendaciones.

Las muestras deberían ser ensayadas por cada lote de producción anual con respecto a cada planta productora de acero, ya que podría existir cierta variación con respecto a los resultados hallados en la presente tesis.

Es recomendable tener resultados de los ensayos en circunstancias diferentes en relación a la temperatura y humedad del agregado. Así mismo, para tener una mayor cantidad de datos, los ensayos a podrían elaborarse en laboratorios diferentes y así comparar los resultados obtenidos.

Verificar que los resultados de laboratorio se adecuen a los requerimientos establecidos por el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Transito planteado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

Para validar los parámetros de concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas se tomó de referencia investigaciones centradas en Europa, por lo que sería recomendable realizar investigaciones en entornos nacionales.

Es recomendable verificar los rangos admisibles de metales pesados para cada zona en la que se aplique, en la presente tesis se abordó el rango más conservador para zonas agrícolas. Sin embargo, existen rangos en zonas industriales y zonas urbanas.

6.3.1 Recomendaciones para la extracción de escorias negras para ser usadas en futuras investigaciones.

Como se mencionó anteriormente la escoria negra es un residuo de la fabricación de acero para la construcción, de primera mano la escoria negra tiene un proceso desde que sale de la planta de acería hasta ser puesta finalmente como producto procesado en la zona de almacenamiento. Primero la escoria como grandes bloques de residuo son quemados en la intemperie para facilitar su proceso de trituración, luego de ser quemados pasan nuevamente por un proceso de recolección de minerales para extraer todo el mineral posible que haya quedado junto con estos residuos, luego de este proceso pasa nuevamente por un proceso de trituración, seguidamente se acopia en zonas de almacenamiento abiertas y se hidrata el material triturado para alcanzar su estabilidad volumétrica, esta hidratación dura de 2 a 3 días, luego de este proceso el material se deja acopiado en el mismo lugar hasta que se le encuentre algún uso, normalmente la Corporación Aceros Arequipa utiliza el material dentro de sus instalaciones para realizar vías de acceso por sus zonas no asfaltadas.

Se recomienda que al momento de extraer el material por motivos de investigación, se realicen varios muestreos de la escoria negra, ya que la zona de almacenamiento de la misma es bastante extensa y para poder obtener valores reales y representativos es recomendable tomar muestras de diferentes sitios que nos puedan brindar resultados comparativos unos de otros y obtener promedios que nos aseguren valores promedios que representen a todo el lote almacenado de CAASA o en donde se realice el muestreo.

Finalmente, dependiendo de la investigación, en nuestra opinión se recomienda trabajar con el material que ya está totalmente procesado y puesto en almacenamiento, es decir con

aquellas escoras que ya hayan pasado por todo el proceso de acondicionamiento que se explicó anteriormente, esto debido a que ese material ya es estable volumétricamente y ya alcanzo una granulometría aproximadamente homogénea, pero como se menciona todo esto depende de la investigación que se desee realizar sobre la escoria, para dar un ejemplo en esta tesis la escoria es usada como un reemplazo de gravas convencionales para la construcción de afirmados, después de realizar los ensayos granulométricos nos dimos cuenta de que las escorias negras recolectadas de 5 puntos diferentes de toda la zona de acopio en CAASA, no contenían la granulometría fina que requería el MTC para la construcción de afirmados de bajo tránsito por lo que se optó por agregarle finos en un 10% con respecto del total y así cumplir con los estándares del MTC. De acuerdo a lo estipulado, se recomienda tener muy en claro que investigación se realizara sobre la escoria negra, como se necesita la escoria para la investigación, que pruebas se realizaran sobre el material y como este debe estar acondicionado o de qué forma debe presentarse para tener los valores más representativos y que nos permitan asegurar una investigación de calidad y verídica que permita a otras personas desarrollar más conocimientos y más investigaciones sobre este material.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA (2007) determinación de metales pesados en suelos agrícolas del valle del mezquital, HGO.
- AFIN (2016) Un plan para salir de la pobreza: Plan Nacional de Infraestructura 2016-2025. Universidad del Pacifico.
- ALBERT A. LILIA (2002) Toxicología Ambiental. Editorial Limusa S.A.
- ANTICONA BERMÚDEZ, L.P. (2012). Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con cloruro de magnesio aplicación vía de acceso a Caral (km05+000 – km 15+000). Lima (152). Universidad Nacional de Ingeniería.
- ARMIJO, DELMAS y RIVERA (2010) Reducción de cromo (VI) a cromo (III) usando camu camu. Facultad de Ingeniería Química UNMSM.
- ASSHTO (1993) Guide for desing of pavement structures.
- BASOGINTZA (2001) Valorización de escorias de acería en la construcción de pistas forestales (I)
- BELMONTE y otros (2010) Afección de suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del sureste de España. Universidad de Murcia, departamento de Geografía.
- BOZA (2011) Utilización de las escorias de acería como material de construcción. Cuba: Universidad de Holguín.
- CETRUM (2012) Corporación Aceros Arequipa S.A. (http://www.centrum.pucp.edu.pe/adjunto/upload/publicacion/archivo/guia_burkenroa_d_corporacion_aceros_arequipa_s.pdf)
- CONTRERAS (2017) Validación de escorias de horno de arco eléctrico mediante sus uso como adición en hormigón. Universidad de Málaga. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial.
- DALMASO (2011) Utilización de escorias siderúrgicas en suelos agrícolas de la región Pampeana* Argentina.
- FRIAS, SÁNCHEZ y URÍA (2001) Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno de arco eléctrico. España: Instituto Eduardo Torroja.
- FRIAS, SANCHEZ, URIA (2001) Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno de arco eléctrico. España.
- GALÀN&ROMERO (2008) Contaminación de Suelos por metales pesados.

- IHOBE (2007) Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Escorias de Acerías. Gobierno Vasco.
- MACHADO (2009) Empleo de agregado siderúrgico (escoria de acería) en base y revestimiento de pavimento en calles de la municipalidad de la ciudad de Río de Janeiro. Brasil: Universidad de Bello Horizonte.
- MALDONADO (2013) Comportamiento Científico Técnico del Cemento Portland I-R Elaborado con Escoria Negra de Acero Tipo Vesicular Proveniente de la Siderúrgica del Orinoco Alfredo Maneiro “SIDOR”. Universidad Central de Venezuela.
- MORALES. (2014) Estudio de la emisión de contaminantes de la escoria negra de acería en suelos naturales. España
- MTC (2008) Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (eg-cbt 2008). volumen i. Perú.
- MTC (2013) Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción. EG-2013. Perú.
- MTC (2014) Manual de Carreteras, Manteniendo o conservación vial. Perú.
- MTC (2014) Manual de Carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos. Perú
- MTC (2016) Manual de ensayo de materiales. Perú.
- Municipio de Zumarraga (2010) Estudio de Evaluación Conjunta de Impacto Ambiental de la Modificación Puntual de las Normas Subsidiarias de Zumarraga referida al Sector Z.1.2. Acería 2 y Ámbito Z.0.3. Monte Forestal
- ORTEGA (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. Tesis Doctoral. España.
- PARRA y SANCHEZ (2010) Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco municipio de Tuta Boyacá. Tesis pregrado. Bogotá: Universidad De La Salle. Departamento de ingeniería Civil.
- Pérez Fernández, Yolanda (2015) Durabilidad del hormigón con áridos siderúrgicos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos (165). Barcelona, 2015

- QUEZADA y VARELA (2011) Remediación natural para completar la depuración del cromo (VI) en efluente de curtiembres. Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.
- RSE (2012) Aceros Arequipa pone a disposición 300 000 TM de escoria para construcción de pistas en Pisco.(<http://noticias.rse.pe/?p=4522>)
- SANCHEZ (2012) Estado del arte sobre las escorias negras de horno de arco eléctrico y sus aplicaciones en pavimentos.
- SERNA (2012) Selección de tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de la escoria en el sector siderúrgico
- Tocas Mena, R. (2016). Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima – Perú.
- TSA (2011) Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones Químicas.
- UACH (2000) Espectrometría de absorción atómica. Facultad de Ciencias Químicas UACH.
- UPC (2016) El proceso de producción de la escoria. Facultad de Ingeniería Civil UPC.
- UPC (2016) Ingeniería Geotécnica. Capacidad de Carga. Facultad de Ingeniería Civil UPC.

8 ANEXOS

8.1 Tablas de Producción de acero Crudo anual en periodo del 2009 al 2015.

EL PERU EN EL MUNDO PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2009 Miles de Toneladas Métricas								
	País	Miles TM		País	Miles TM		País	Miles TM
1	China	567,842	21	Austria	5,662	41	Colombia	1,079
2	Japón	87,534	22	Bélgica	5,636	42	Qatar	1,028
3	Rusia	59,940	23	Egipto	5,508	43	Suiza	981
4	EEUU	58,142	24	Australia	5,249	44	Libia	914
5	India	56,608	25	Holanda	5,194	45	Nueva Zelanda	765
6	Corea del Sur	48,598	26	Saudi Arabia	4,690	46	Bulgaria	726
7	Alemania	32,671	27	Rep. Checa	4,594	47	Uzbekistán	718
8	Ucrania	29,757	28	Kazajstán	4,146	48	Perú	718
9	Brasil	26,507	29	Argentina	4,014	49	Noruega	591
10	Turquía	25,304	30	Venezuela	3,825	50	Bosnia- Herzegovina	519
11	Italia	19,737	31	Eslovaquia	3,747	51	Marruecos	479
12	Taiwán	15,747	32	Finlandia	3,078	52	Argelia	458
13	España	14,300	33	Suecia	2,805	53	Eslovenia	436
14	México	14,172	34	Rumania	2,699	54	Trinidad & Tobago	417
15	Francia	12,836	35	Bielorrusia	2,417	55	Moldavia	380
16	Irán	10,873	36	Luxemburgo	2,215	56	Macedonia	278
17	Reino Unido	10,080	37	Grecia	2,082	57	Cuba	273
18	Canadá	8,968	38	Hungría	1,401	58	Ecuador	264
19	Sudáfrica	7,484	39	Chile	1,302	59	Guatemala	224
20	Polonia	7,208	40	Serbia	1,097	60	Uruguay	57
Fuente: World Steel Association				Elaboración: Desarrollo Peruano				

Fuente: Wolrd Steel Assosiation, Producción de Acero crudo para el 2009,
Puesto en tabla, Perú 48 con 718 Miles de TM

EL PERÚ EN EL MUNDO								
PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2010								
Miles de Toneladas Métricas								
	País	Miles TM		País	Miles TM		País	Miles TM
1	China	626,654	21	Polonia	8,008	41	Serbia	1,254
2	Japón	109,600	22	Australia	7,296	42	Colombia	1,209
3	EEUU	80,594	23	Austria	7,206	43	Chile	992
4	Rusia	67,021	24	Egipto	6,676	44	Perú	879
5	India	66,848	25	Holanda	6,651	45	Nueva Zelanda	853
6	Corea del Sur	58,453	26	Rep. Checa	5,180	46	Libia	825
7	Alemania	43,815	27	Argentina	5,138	47	Uzbekistán	741
8	Ucrania	33,559	28	Arabia Saudí	5,015	48	Bulgaria	740
9	Brasil	32,820	29	Suecia	4,844	49	Argelia	715
10	Turquía	29,002	30	Eslovaquia	4,588	50	Eslovenia	606
11	Italia	25,751	31	Kazajistán	4,315	51	Bosnia-Herzegovina	593
12	Taiwán	19,641	32	Finlandia	4,023	52	Trinidad & Tobago	572
13	México	17,041	33	Rumania	3,896	53	Noruega	514
14	España	16,311	34	Luxemburgo	2,563	54	Marruecos	455
15	Francia	15,416	35	Bielorrusia	2,549	55	Ecuador	368
16	Canadá	12,990	36	Venezuela	2,240	56	Macedonia	291
17	Irán	11,995	37	Qatar	1,970	57	Cuba	278
18	Reino Unido	9,709	38	Grecia	1,839	58	Guatemala	272
19	Sudáfrica	8,480	39	Hungría	1,678	59	Moldavia	240
20	Bélgica	8,088	40	Suiza	1,330	60	Croacia	94

Fuente: World Steel Association

Elaboración: Desarrollo Peruano

Fuente: Wolrd Steel Assosiation, Producción de Acero crudo para el 2009, Puesto en
tabla, Perú 44 con 879 Miles de TM

EL PERÚ EN EL MUNDO								
PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2011								
Miles de Toneladas Métricas								
	País	Miles TM		País	Miles TM		País	Miles TM
1	China	683,265	21	Austria	7,474	41	Serbia	1,324
2	Japón	107,595	22	Holanda	6,937	42	Colombia	1,290
3	EEUU	86,247	23	Sudáfrica	6,650	43	Perú	925
4	India	72,200	24	Egipto	6,486	44	Nva.Zelanda	844
5	Rusia	68,743	25	Australia	6,404	45	Bulgaria	834
6	Corea del Sur	68,471	26	Argentina	5,655	46	Uzbekistán	733
7	Alemania	44,288	27	Rep.Checa	5,583	47	Bosnia-Herz.	649
8	Ucrania	35,332	28	Arabia Saudí	5,275	48	Eslovenia	648
9	Brasil	35,162	29	Suecia	4,866	49	Noruega	620
10	Turquía	34,103	30	Kazajstán	4,699	50	Trin./Tobago	610
11	Italia	28,662	31	Eslovaquia	4,242	51	Ecuador	525
12	Taiwán	22,660	32	Finlandia	3,985	52	Guatemala	445
13	México	18,145	33	Rumania	3,830	53	Argelia	440
14	Francia	15,777	34	Venezuela	3,070	54	Macedonia	386
15	España	15,591	35	Bielorrusia	2,614	55	Moldavia	313
16	Canadá	13,090	36	Luxemburgo	2,558	56	Cuba	290
17	Irán	13,040	37	Qatar	2,010	57	Marruecos	290
18	Reino Unido	9,481	38	Grecia	1,993	58	Croacia	100
19	Polonia	8,794	39	Hungría	1,733	59	El Salvador	100
20	Bélgica	8,114	40	Chile	1,620	60	Libia	100

Fuente: World Steel Association			Elaboración: Desarrollo Peruano		
---------------------------------	--	--	---------------------------------	--	--

Fuente: World Steel Association

Elaboración: Desarrollo Peruano

Fuente: World Steel Assosiation, Producción de Acero crudo para el 209, Puesto en tabla, Perú 43 con 925 Miles de TM

EL PERU EN EL MUNDO								
PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2012								
Miles de Toneladas Métricas								
	País	Miles TM		País	Miles TM		País	Miles TM
1	China	708,784	21	Bélgica	7,386	41	Grecia	1,254
2	Japón	107,235	22	Sudáfrica	7,119	42	Perú	973
3	EEUU	88,599	23	Holanda	6,867	43	Nva. Zelanda	912
4	India	76,715	24	Egipto	6,627	44	Uzbekistán	737
5	Rusia	70,609	25	Arabia Saudí	5,202	45	Bosnia-Herzegov.	700
6	Corea del Sur	69,321	26	Rep. Checa	5,071	46	Noruega	683
7	Alemania	42,662	27	Argentina	4,995	47	Bulgaria	632
8	Turquía	35,884	28	Australia	4,894	48	Eslovenia	632
9	Brasil	34,682	29	Eslovaquia	4,403	49	Trinidad/Tobago	608
10	Ucrania	32,912	30	Suecia	4,326	50	Ecuador	536
11	Italia	27,227	31	Kazajstán	3,850	51	Marruecos	529
12	Taiwán	20,656	32	Rumania	3,780	52	Argelia	506
13	México	18,178	33	Finlandia	3,758	53	Serbia	346
14	Francia	15,607	34	Otros UE*	2,815	54	Guatemala	334
15	Irán	14,463	35	Bielorusia	2,743	55	Moldavia	329
16	Canadá	13,725	36	Venezuela	2,555	56	Cuba	317
17	España	13,628	37	Luxemburgo	2,232	57	Macedonia	216
18	Reino Unido	9,819	38	Chile	1,683	58	Uruguay	139
19	Polonia	8,368	39	Hungría	1,543	59	El Salvador	102
20	Austria	7,421	40	Colombia	1,324	60	Paraguay	44
*Otros de la Unión Europea		Fuente: World Steel Association				Elaboración: Desarrollo Peruano		

*Otros de la Unión Europea

Fuente: World Steel Association

Elaboración: Desarrollo Peruano

Fuente: Wolrd Steel Assosiation, Producción de Acero crudo para el 209, Puesto en tabla, Perú 42 con 973 Miles de TM

EL PERÚ EN EL MUNDO
PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2013
Miles de Toneladas

	País	Miles TM		País	Miles TM		País	Miles TM
1	China	779,040	21	Sudáfrica	7,220	41	Grecia	1,055
2	Japón	110,570	22	Bélgica	7,093	42	N. Zelanda	900
3	EEUU	86,955	23	Egipto	6,754	43	Hungría	883
4	India	81,213	24	Holanda	6,713	44	Uzbekistán	755
5	Rusia	69,402	25	Arabia Saudí	5,352	45	Bosnia-Herzeg.	722
6	Corea del Sur	66,008	26	Argentina	5,186	46	Libia	715
7	Alemania	42,641	27	Rep. Checa	5,171	47	Eslovenia	618
8	Turquía	34,658	28	Australia	4,645	48	Trin./Tobago	616
9	Brasil	34,178	29	Eslovaquia	4,511	49	Noruega	605
10	Ucrania	32,824	30	Suecia	4,404	50	Ecuador	565
11	Italia	24,058	31	Finlandia	3,517	51	Marruecos	558
12	Taiwán	22,320	32	Kazajistán	3,325	52	Bulgaria	522
13	México	18,420	33	Emir. Arabes	2,878	53	Argelia	440
14	Francia	15,685	34	Bielorrusia	2,250	54	Serbia	396
15	Irán	15,422	35	Venezuela	2,250	55	Guatemala	370
16	España	13,740	36	Qatar	2,236	56	Cuba	315
17	Canadá	12,460	37	Luxemburgo	2,075	57	Moldavia	185
18	Reino Unido	11,855	38	Chile	1,325	58	Croacia	125
19	Polonia	7,957	39	Colombia	1,295	59	Macedonia	100
20	Austria	7,943	40	Perú	1,090	60	Uruguay	90

Fuente: World Steel Association

Elaboración: Desarrollo Peruano

Fuente: World Steel Association, Producción de Acero crudo para el 209, Puesto en tabla, Perú 40 con 1090 Miles de TM

EL PERU EN EL MUNDO
PRODUCCION DE ACERO CRUDO 2014
(Miles de Toneladas)

	País	Miles TM		País	Miles TM		País	Miles TM
1	China	822,700	21	Bélgica	7,345	41	Chile	1,119
2	Japón	110,665	22	Sudáfrica	7,210	42	Grecia	998
3	EEUU	88,347	23	Holanda	6,964	43	Libia	968
4	India	83,208	24	Egipto	6,485	44	N. Zelanda	881
5	Corea	71,036	25	Arabia Saudí	6,291	45	B/Herzeg.	793
6	Rusia	70,651	26	Argentina	5,488	46	Uzbekistán	731
7	Alemania	42,946	27	Rep. Checa	5,360	47	Ecuador	662
8	Turquía	34,035	28	Eslovaquia	4,705	48	Bulgaria	621
9	Brasil	33,912	29	Australia	4,607	49	Eslovenia	615
10	Ucrania	27,170	30	Suecia	4,549	50	Noruega	595
11	Italia	23,735	31	Finlandia	3,807	51	Serbia	583
12	Taiwán	23,250	32	Kazajistán	3,678	52	Marruecos	501
13	México	18,977	33	Qatar	3,047	53	Trin/ Tobago	483
14	Irán	16,331	34	Bielorrusia	2,514	54	Argelia	415
15	Francia	16,143	35	EAU	2,390	55	Guatemala	393
16	España	14,163	36	Luxemburgo	2,226	56	Moldavia	344
17	Canadá	12,595	37	Venezuela	1,466	57	Cuba	331
18	Reino Unido	12,065	38	Colombia	1,269	58	Macedonia	188
19	Polonia	8,620	39	Hungría	1,152	59	Croacia	159
20	Austria	7,859	40	Perú	1,144	60	El Salvador	121

Fuente: World Steel Association

Elaboración: Desarrollo Peruano

Fuente: World Steel Association, Producción de Acero crudo para el 209, Puesto en tabla, Perú 40 con 1144 Miles de TM

EL PERU EN EL MUNDO								
PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO 2015								
Miles de Toneladas Métricas								
	Pais	Miles TM		Pais	Miles TM		Pais	Miles TM
1	China	803,830	21	Sudáfrica	7,614	41	Colombia	1,224
2	Japón	105,152	22	Bélgica	7,219	42	Chile	1,110
3	India	89,582	23	Holanda	6,995	43	Perú	1,086
4	EEUU	78,916	24	Arabia Saudi	5,662	44	Grecia	1,067
5	Rusia	71,114	25	Egipto	5,506	45	Serbia	955
6	Corea	69,673	26	Rep. Checa	5,262	46	Bosnia-Herzeg.	819
7	Alemania	42,678	27	Argentina	5,028	47	Nueva Zelanda	793
8	Brasil	33,245	28	Australia	4,925	48	Ecuador	723
9	Turquia	31,517	29	Eslovaquia	4,562	49	Uzbekistán	637
10	Ucrania	22,933	30	Suecia	4,376	50	Bulgaria	623
11	Italia	22,022	31	Finlandia	3,988	51	Eslovenia	604
12	Taiwán	21,482	32	Tailandia	3,673	52	Noruega	578
13	México	18,261	33	Kazajstán	3,554	53	Marruecos	516
14	Irán	16,110	34	Emir. Arabes	3,006	54	Moldavia	445
15	Francia	14,984	35	Pakistán	2,907	55	Guatemala	398
16	España	14,875	36	Bielorrusia	2,615	56	Libia	352
17	Canadá	12,453	37	Qatar	2,593	57	Trin.Tobago	311
18	Reino Unido	10,860	38	Luxemburgo	2,129	58	Cuba	275
19	Polonia	9,106	39	Hungría	1,675	59	Croacia	127
20	Austria	7,691	40	Venezuela	1,346	60	Macedonia	121
Fuente: World Steel Association				Elaboración: Desarrollo Peruano				

Fuente: World Steel Association, Producción de Acero crudo para el 2019, Puesto en tabla, Perú 43 con 1086 Miles de TM

8.2 Informe del Monitoreo ambiental. Análisis y Caracterización de Escorias.

Información proporcionada por Aceros Arequipa.

Análisis de Escorias realizado por JRamon del Perú.

Informe de Monitoreo Ambiental
Primer Trimestre 2015

Corporación Aceros Arequipa S.A.
Sede N°2 - Pisco

ANÁLISIS DE ESCORIAS

060

Página 1 de 3

J RAMON

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INDECOPI-SNA
CON REGISTRO N° LE-028

Registro N° LE-028

INFORME DE ENSAYO N° MA15040167
CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ECO-MAPPING SAC

Domicilio Legal : Av. Sucre N° 1173 Dpto. 21 Pueblo Libre (Magdalena Vieja) - LIMA

Solicitado Por : CORPORACION ACEROS AREQUIPA S.A.

Referencia : INFORME DE MONITOREO AMBIENTAL 1er TRIMESTRE 2015

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : PISCO

Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente

Cantidad de Muestras : 1

Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio

Fecha de Muestreo : 25/03/2015

Fecha de Recepción : 09/04/2015

Fecha Inicio Ensayo : 09/04/2015

METODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Azufre total (*)	ASTM E1915 Standard Test Methods for Analysis of Metal Bearing Ores and Related Materials for Carbon, Sulfur, and
Mercurio	Acid-Base Characteristics
Metales ICP	EPA 7471-B, Rev 2, 2007
pH - pasta (*)	EPA 200.7, Rev 4.4, 1994
Potencial de acidez máximo (*)	EPA 600/2-78-054(1978)
Potencial de neutralización (*)	EPA 600/2-78-054(1978)
Potencial neto de neutralización (*)	EPA 600/2-78-054(1978)

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

SIGLAS: "EPA" U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. "ASTM" American Society for Testing and Materials. ISO: International Organization for Standardization.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INDECOPI-SNA
CON REGISTRO N° LE-028

**INFORME DE ENSAYO N° MA15040167
CON VALOR OFICIAL**

Registro N° LE-028

Cod. Cliente		ES-01	
Cod. Lab.		1606705	
Tipo de Producto		Suelo, suelo	
Fecha de Muestreo		25/05/2015	
Hora de Muestreo		---	
Cadena de Custodia		30361	
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Aluminio	mg/kg	1,69	18,907
Antimonio	mg/kg	0,6	10,7
Arsénico	mg/kg	0,82	62,16
Bario	mg/kg	0,13	954,6
Berilio	mg/kg	0,03	6,80
Bismuto (*)	mg/kg	0,6	4,8
Boro	mg/kg	0,10	221,1
Cadmio	mg/kg	0,15	5,58
Calcio	mg/kg	4,6	>100 000
Cerio	mg/kg	0,44	16,46
Cobalto	mg/kg	0,28	12,71
Cobre	mg/kg	0,14	290,6
Cromo	mg/kg	0,10	892,1
Estadío	mg/kg	1,4	29,4
Estroncio	mg/kg	0,12	533,4
Fósforo	mg/kg	2,43	1 045
Hierro	mg/kg	0,83	>100 000
Litio	mg/kg	0,2	23,2
Magnesio	mg/kg	1,3	>5 000
Manganeso	mg/kg	0,1	>20 000
Mercurio	mg/kg	0,34	9,30
Níquel	mg/kg	0,46	35,56
Plata	mg/kg	0,1	2,6
Plomo	mg/kg	0,4	101,1
Plutonio	mg/kg	3	291
Selenio	mg/kg	1	<1
Sodio	mg/kg	2,8	1 555
Talio	mg/kg	1,5	12,0
Tiempo	mg/kg	0,09	1 062
Vanadio	mg/kg	0,18	269,3
Zinc	mg/kg	0,79	477,6

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

**INFORME DE ENSAYO N° MA15040167
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	ES-01		
Cod. Lab.	1506705		
Tipo de Producto	Suelo; suelo		
Fecha de Muestreo	25/03/2015		
Hora de Muestreo	---		
Cadena de Custodia	30361		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Azufre como sulfato (*)	%S	0.01	0.04
Azufre como sulfuro (*)	%S	0.01	0.38
Azufre total (*)	%S	0.01	0.42
Electroscopio (*)	---	N.A.	4
Mercurio	mg/kg	0.03	0.04
pH - pasta (*)	Und. pH	r.	11.53
PN(PAM) (*)	---	---	60.56
Potencial de acidez máxima (*)	KgCaCO ₃ /T	---	11.88
Potencial de neutralización (*)	KgCaCO ₃ /T	---	719.41
Potencial neto de neutralización (*)	KgCaCO ₃ /T	---	707.53

Legenda: L.D. = Límite de detección

N.A. = No aplica

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

Tiempo de Perseverancia de Muestras		
PNN/PN: 7días	Mercurio: 28días	ICP: 30días

Caracterización de Escorias negras, realizado por Ramón de Perú.

Informe de Monitoreo Ambiental
Segundo Trimestre 2015

Corporación Aceros Arequipa S.A.
Sede N°2 - Pisco

VI.5. CARACTERIZACIÓN DE ESCORIAS

Las siguientes tablas muestran los resultados de la caracterización de escorias.

Tabla N° 37. Resultados de determinación de Potencial de Neutralización, Potencial Ácido, Potencial Neto de Neutralización y pH en pasta

Parámetros	Símbolo	Unidad	L.D.	Resultados
pH en pasta	pH+P	Unidad pH	-	12.36
Potencial de Acidez	PA	KgCaCO ₃ /T	0.5	7.50
Potencial de Neutralización	PN	KgCaCO ₃ /T	2.5	593.62
Potencial Neto de Neutralización	PNN	KgCaCO ₃ /T	-	586.12

Fuente: Elaboración propia

Potencial Ácido: PA = % azufre como sulfuro

Potencial Neto de Neutralización: PNN = PN - PA

Proporción entre especies que consumen ácido y aquellas que generan: NPIAP

L.D. = Límite de detección

Tabla N° 38. Concentración de Elementos Metálicos en muestras de Escoria

Parámetros	Símbolo	Unidad	L.D.	Resultados
Aluminio	Al	mg/Kg	0.9	25.534
Antimonio	Sb	mg/Kg	0.6	4.5
Arsénico	As	mg/Kg	0.54	8.13
Bario	Ba	mg/Kg	0.06	961.0
Berilio	Be	mg/Kg	0.02	0.95
Bismuto (*)	Bi	mg/Kg	0.8	4.9
Boro	B	mg/Kg	0.2	225.1
Cadmio	Cd	mg/Kg	0.07	9.15
Calcio	Ca	mg/Kg	3	207654
Cerio	Ce	mg/Kg	0.4	17.82
Cobalto	Co	mg/Kg	0.16	11.08
Cobre	Cu	mg/Kg	0.08	260.9
Cromo	Cr	mg/Kg	0.09	1106
Estaño	Sn	mg/Kg	0.3	<1.4
Estroncio	Sr	mg/Kg	0.13	472.7
Fósforo	P	mg/Kg	1.4	1124
Hierro	Fe	mg/Kg	0.6	208713

Parámetros	Símbolo	Unidad	L.D.	Resultados
Litio	Li	mg/Kg	0.7	21.6
Magnesio	Mg	mg/Kg	0.2	49.565
Manganeso	Mn	mg/Kg	0.1	23157
Molibdeno	Mo	mg/Kg	0.75	11.49
Níquel	Ni	mg/Kg	0.29	56.89
Plata	Ag	mg/Kg	0.09	2.5
Plomo	Pb	mg/Kg	0.5	52.0
Potasio	K	mg/Kg	3.9	465
Selenio	Se	mg/Kg	0.6	<1
Sodio	Na	mg/Kg	3	1852
Talio	Tl	Mg/kg	0.73	10.5
Titanio	Ti	mg/Kg	0.2	1780
Vanadio	V	mg/Kg	0.09	504.2
Zinc	Zn	mg/Kg	0.1	1250

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INDECOPI-SNA
CON REGISTRO N° LE-028

**INFORME DE ENSAYO N° MA15070139
CON VALOR OFICIAL**

Registro N° LE-028

Nombre del Cliente : ECO-MAPPING SAC
Domicilio Legal : Av. Sucre N° 1173 Dpto. 21 Pueblo Libre (Magdalena Vieja) - LIMA
Solicitado Por : MARIANO LOPEZ
Referencia : MONITOREO AMBIENTAL 2DO TRIMESTRE 2015 PAMA

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : PISCO
Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
Cantidad de Muestras : 1
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

Fecha de Muestreo : 16/06/2015
Fecha de Recepción : 18/06/2015
Fecha Inicio Ensayo : 18/06/2015

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Azufre total (*)	ASTM E1915 Standard Test Methods for Analysis of Metal Bearing Ores and Related Materials for Carbon, Sulfur, and Acid-Base Characteristics
Mercurio	EPA 7471-B, Rev 2, 2007
Metales ICP	EPA 200.7, Rev 4.4, 1994
pH - pasta (*)	EPA 600/2-78-054(1978)
Potencial de acidez máximo (*)	EPA 600/2-78-054(1978)
Potencial de neutralización (*)	EPA 600/2-78-054(1978)
Potencial neto de neutralización (*)	EPA 600/2-78-054(1978)

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

SIGLAS: *EPA: U.S. Environmental Protection Agency, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, *ASTM: American Society for Testing and Materials, ISO: International Organization for Standardization.

**INFORME DE ENSAYO N° MA15070139
CON VALOR OFICIAL**

		Cod. Cliente	E8-01
		Cod. Lab.	1513159
		Tipo de Producto	Suelo; suelo
		Fecha de Muestreo	16/06/2015
		Hora de Muestreo	14:00
		Cadena de Custodia	31855
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Aluminio	mg/kg	1,69	25 534
Antimonio	mg/kg	0,6	4,5
Arsenico	mg/kg	0,92	8,13
Bario	mg/kg	0,13	961,0
Berilio	mg/kg	0,03	0,95
Bismuto (*)	mg/kg	0,8	4,9
Boro	mg/kg	0,16	225,1
Cadmio	mg/kg	0,15	9,15
Calcio	mg/kg	4,6	207 654
Cerio	mg/kg	0,44	17,82
Cobalto	mg/kg	0,28	11,08
Cobre	mg/kg	0,14	260,9
Cromo	mg/kg	0,16	1 106
Estanio	mg/kg	1,4	<1,4
Estroncio	mg/kg	0,12	472,7
Fósforo	mg/kg	2,43	1 124
Hierro	mg/kg	0,83	208 713
Litio	mg/kg	0,2	21,6
Magnesio	mg/kg	1,3	49 565
Manganeso	mg/kg	0,1	23 157
Molibdeno	mg/kg	0,34	11,49
Niquel	mg/kg	0,46	56,89
Plata	mg/kg	0,1	2,5
Plomo	mg/kg	0,4	52,0
Potasio	mg/kg	3	465
Selenio	mg/kg	1	<1
Sodio	mg/kg	2,8	1 852
Talio	mg/kg	1,5	10,5
Titanio	mg/kg	0,09	1 780
Vanadio	mg/kg	0,18	504,2
Zinc	mg/kg	0,75	1 250

**INFORME DE ENSAYO N° MA15070139
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente		ES-01	
Cod. Lab.		1513159	
Tipo de Producto		Suelo, suelo	
Fecha de Muestreo		16/06/2015	
Hora de Muestreo		14:00	
Cadena de Custodias		31855	
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados
Azufre como sulfato (*)	%S	0,01	0,08
Azufre como sulfuro (*)	%S	0,01	0,24
Azufre total (*)	%S	0,01	0,30
Efervescencia (*)	---	N.A.	4
Mercurio	mg/kg	0,03	0,08
pH - pasta (*)	Und. pH	r	12,36
PN/PAM (*)	---	---	79,15
Potencial de acidez máximo (*)	KgCaCO ₃ /t	---	7,50
Potencial de neutralización (*)	KgCaCO ₃ /t	---	593,62
Potencial neto de neutralización (*)	KgCaCO ₃ /t	---	586,12

Legenda: L.D = Limite de detección r = Resolución N.A. = No aplica

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

Tiempo de Perecibilidad de Muestras		
PN, PMN : 7días	Mercurio : 28días	CP : 30días

8.3 Utilización de escorias negras de acería en trabajos relativos a pavimentación de infraestructura. Información proporcionada por Aceros Arequipa.

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"

Lima, 06 AGO. 2012

OFICIO N° 692-2012-MTC/14

Ingeniero:
PABLO DIAZ AQUINO
Gerente de Planeamiento y Desarrollo
Corporación Aceros Arequipa S.A.
Av. Enrique Meiggs 297
Parque Internacional de Industria y Comercio, Callao 1
Callao.-

CORP. ACEROS AREQUIPA S.A.	
LIMA 3478	
V°B°	RECIBIDA
Fecha	23/08/12
V°E°	CONTESTADA
Fecha	
V°B°	Coe Carta N°
PARA:	

Asunto : Utilización de escorias de acería en trabajos relativos a pavimentación de Infraestructura

Ref. : a) Carta S/N – PD N° 047213
b) Informe N° 031-2012-MTC/14.01.

Me dirijo a usted, en atención a su comunicación a) de la referencia, para poner en su conocimiento que la Dirección de Estudios Especiales de esta Dirección General, ha informado a través del documento de la referencia b) cuya copia se adjunta, que luego de la revisión del estudio presentado y los resultados de la inspección efectuada a las vías internas de la Planta de su representada ubicada en Pisco, dichos materiales, convenientemente dosificados con polvo de acería o polvo de reducción directa, pueden ser utilizados en trabajos de pavimentación vial relativos a mejoramiento de sub rasante, sub base o base, como alternativa a los materiales convencionales, cumpliendo con los requisitos establecidos por las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción de Carreteras. En esta última, se incluirá para que formen parte de los materiales alternativos.

En tal sentido, dicho informe ha sido remitido al Gobierno Regional de Ica, a las Municipalidades Provinciales de Ica y Pisco, así como a las Direcciones Nacionales de Construcción y de Urbanismo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, a fin de que evalúen la posibilidad de empleo de dichos materiales como alternativa a los materiales convencionales, teniendo en consideración que su representada proporcionará los mismos en forma gratuita, incluyendo su cargo en la Planta.

Asimismo, a solicitud de dichas entidades públicas, esta Dirección General a través de la Dirección de Estudios Especiales, les brindará apoyo técnico para las fases de diseño ejecución y evaluación ex post.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

WALTER N. ZECENARRO MATEUS
DIRECTOR GENERAL
Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

www.mtc.gob.pe | Jirón Zorritos 1203
Lima, Lima 01 Perú
(511) 615-7800

0715722012

PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"

CARGO

M.T.C.
DIRECCIÓN ESPECIAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

RECIBIDO

10 JUL 2012

[Handwritten signature and initials]

INFORME N° 031 - 2012-MTC/14.01

A : WALTER ZECENARRO MATEUS
Director General de Caminos y Ferrocarriles

DE : ALEJANDRO SALAZAR AHUMADA
Director de Estudios Especiales (e)

ASUNTO : Estudio del suelo de subrasante, subbase y base estabilizados con escorias de horno eléctrico para obras de pavimentación - informe técnico

REF. : a) Memorandum N° 094-2012-MTC/14.04
b) Memorandum N° 040-2012-MTC/14.01.SGC.mgr

FECHA : Lima, 10 JUL 2012

Tengo el agrado de dirigirme a usted, en relación al asunto y documentos de la referencia, para informarle lo siguiente:

1. Con documento a) de la referencia, la Dirección de Normatividad Vial de la DGCF, remitió un volumen anillado denominado "ESTUDIO DEL SUELO DE SUBRASANTE, SUBBASE Y BASE ESTABILIZADOS CON ESCORIAS DE HORNO ELÉCTRICO PARA OBRAS DE PAVIMENTACIÓN - INFORME TÉCNICO", elaborado por la firma AC Ingenieros Consultores SAC a solicitud de la Corporación Aceros Arequipa, sugiriendo que las escorias de hornos eléctricos sean incorporados en la normativa del MTC para la construcción de carreteras.
2. La Dirección de Estudios Especiales ha efectuado la revisión del Estudio presentado y en forma conjunta con la Dirección de Normatividad Vial efectuó una visita a la Planta que la Corporación Aceros Arequipa que tiene la ciudad de Pisco, Departamento de Ica, con el objeto de verificar el procesamiento y almacenamiento de las escorias y el comportamiento de las vías internas de la planta que se encuentran asfaltadas, en donde se ha empleado las escorias en las capas de subrasante, subbase y base, las mismas que presentan un buen comportamiento tal como se indica en el Informe.
3. De la revisión del estudio presentado y de la inspección realizada in situ, se ha elaborado el INFORME PRELIMINAR que se adjunta, del que establecen las siguientes conclusiones:
 - 3.1 Las escorias de hornos eléctricos han sufrido diferentes procesos hasta su presentación final como material triturado con tamaño máximo de 2 pulgadas y se encuentran acopiados en gran volumen en la planta de Pisco. También se encuentran acopiados Polvo de Acería y Polvo de Reducción Directa para su uso como material fino que se debe agregar a las escorias según el uso granulométrico que se emplee.

PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"

- 3.2 Las escorias de hornos eléctricos pueden ser utilizados en capas de mejoramiento de subrasante, subbases y bases, en carreteras pavimentadas, para cuyo efecto, definido el uso granulométrico a emplear, se tendrá que añadir polvo de acería o polvo de reducción directa. Para el caso de las vías internas de la Planta de Piso, se ha utilizado la dosificación 90-93% escoria y 10-07% polvo de acería o polvo de Reducción Directa.
- 3.3 Eventualmente, puede ser utilizados como afirmado de carreteras, al igual que un afirmado convencional, que requerirá de constante mantenimiento.
- 3.4 La Corporación Aceros Arequipa ha ofrecido en forma gratuita proporcionar tanto el material de escoria como el material de polvo, e incluso proporcionarán el carguío, por lo que tanto los Gobiernos Regionales como las Municipalidades puede beneficiarse con este material en la construcción de sus vías, con la única limitante de la distancia de transporte a la que se debe acarrear el material.
- 3.5 Como referencia de costos, se ha efectuado el cálculo de costos del procesamiento del material convencional para base, que incluye extracción en cantera, chancado y carguío del material al volquete, lo que da un costo de S/. 38.42 por m³, monto equivalente al transporte de 1 m³ a la distancia del material de escoria a una distancia de 62 Km, como se puede apreciar en el anexo adjunto. Esto significa, que el material de escorias puede usarse sin ninguna limitación hasta 62 Km. del Depósito de almacenamiento de Planta de Pisco. Para mayores distancias habrá que efectuar el análisis de costos, correspondiente en función de la ubicación de la cantera para procesar el material convencional.
- 3.6 Las escorias de hornos eléctricos pueden incorporarse a nuestra normativa vial, como material alternativo en trabajos de mejoramiento de subrasante, subbases y bases, siempre que cumplan con las especificaciones técnicas señaladas en cada caso.

Es todo cuanto informo a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Alejandro Salazar Ahumada
Dirección de Estudios Especiales
DIRECTOR (a)

LABORATORIO

DEE

Av. Túpac Amaru Nº150 - Rimac

Tel. - 481-3707 Fax - 481-0677

8.4 Fotografías de visita a la planta de Aceros Arequipa en Pisco, por parte de los tesisistas.

Fotografía 1: Planta de chancado de escorias negras y control de polvo mediante sistemas de riego

Fotografía 2: Estado Natural de la escoria negra luego de la fabricación del acero.

Fotografía 3: Tamiz usado para retener las partículas más pequeñas de la escoria negra luego del chancado.

Fotografía 4: Escoria negra acumulada ya chancada y procesada por el tamiz.

Fotografía 5: Tamaño Granular de escoria negra en comparación a un

Fotografía 6: Tamaño granular de escoria negra triturada en comparación a un

Fotografía 7: Escoria negra triturada, con aspecto metálico. Lado derecho, tesistas recopilando material para su posterior uso en pruebas de laboratorio de mecánica de suelos.

8.5 Estudio y evaluación de las escorias de la planta de hierro para su aprovechamiento como material útil en obras civiles. Corporación Aceros Arequipa S.A.

8.5.1 Página 11.

Ingenieros Consultores
CALE DOÑA CONSUELO N° 135
CONDOMINIO LOS HEREDOS DEL SURCO
EDIFICIO LOS NOGALES OFICINA 302 - SURCO

GEOMASTER S.A.C.
Telfax: (01) 257-3957 Cel: (01) 98281883
geomaster@ia.bcp.com

5.0 ENSAYOS DE LABORATORIO

En la campaña de exploración del suelo se tomaron muestras de diferentes zonas donde se encuentra acumulado el material de escorias, para su posterior clasificación en el Laboratorio de Mecánica de Suelos. Los muestreos fueron ubicados de tal manera de poder obtener un registro del material de forma general en toda la zona de estudio.

Se obtuvieron 11 muestras de escorias en costales con un peso aproximado de cada uno de 60Kg, muestra suficiente para realizar todos los ensayos mencionados siguiendo con las normas técnicas peruanas y de la ASTM.

Se hace un resumen del procedimiento de cada ensayo realizado.

5.1 Análisis Granulométrico por tamizado

El objetivo del siguiente ensayo es determinar la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño. Ésta se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de serie gruesa y fina de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 (de diámetro 0.074mm).

El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se grafica el Diámetro en mm de tamiz versus el porcentaje acumulado que pasa dicha malla.

5.2 Límites de Consistencia.-

La consistencia de un suelo depende de su proporción de agua, dos suelos con la misma cantidad de agua pueden tener diferentes consistencias, siendo uno plástico y el otro pulverizable. El investigador sueco A. Attemberg propuso en 1911 cinco estados de consistencia del suelo. Estos límites de consistencia del suelo están basados en el contenido de agua y son:

8.5.2 Página 12.

Ingenieros Consultores
CALLE DOÑA CONSUELO N° 135
CONDOMINIO LOS HUERTOS DE SURCO
EDIFICIO LOS NOGALES OPTO 302 - SURCO

GEOMASTER S.A.C.
Teléfono: (01) 257-3957 Cel: (01) 98281883
geomaster@viahcp.com

Límite Líquido

Límite Plástico

Límite de Contracción

Límite de Pegajosidad

Límite de Cohesión.

Los Límites Líquido, Plástico y de Contracción son los más conocidos y son utilizados en el campo de la ingeniería civil. El Límite de Pegajosidad y de cohesión es utilizado con fines agrícolas.

Límite Líquido se define como el contenido de humedad expresado como porcentaje con respecto del peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia de estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos tienen en el Límite Líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, siendo la cohesión de un suelo en el Límite Líquido prácticamente nula.

Límite Plástico se define como el contenido de humedad expresado como porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico, esto se consigue haciendo filamentos cilíndricos de diámetro 3mm en la cual el suelo se fisura ó agrieta y se parte en trozos.

Los ensayos de límite de consistencia que se utilizaron en el presente trabajo fueron el Límite Líquido y Límite Plástico.

5.3 Gravedad Específica (Picnómetro) de los suelos Finos.-

Este ensayo consiste en determinar el peso específico de los suelos y del relleno mineral por medio de un picnómetro (también conocido como fiola). El Peso específico es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura.

5.4 Ensayo de Equivalente de Arena.-

Este ensayo tiene por objeto determinar el porcentaje de material arenoso en el agregado fino de una muestra y por consiguiente la proporción relativa del contenido de material fino, o material limo- arcilloso, en los suelos.

5.5 Ensayo de Compactación Proctor.-

Este ensayo de compactación en laboratorio nos permite determinar la humedad óptima con la cual se obtiene la máxima densidad seca del suelo a compactar, de acuerdo a la granulometría del suelo, existen diferentes métodos; siendo estos:

Método A: (% Ret. Acum. N° 04 $\leq$ 20%.)

Descartar el material retenido en el tamiz N° 4.

Método B: (% Ret. Acum. N° 3/8 $\leq$ 20% y % Ret. Acum. N°4 $>$ 20%.)

Pasar el material a través del tamiz 3" y Descartar el material que sea retenido en el tamiz 3", el material que pasa el tamiz 3" y es retenido en el tamiz 3/8", debe ser reemplazado por una cantidad igual en peso del material que pase por el tamiz 3/8" y sea retenido por el tamiz N° 4. El material para reemplazo debe tomarse de una porción no usada de la muestra.

Método C: (% Ret. Acum. N° 3/4 $\leq$ 30% y % Ret. Acum. N°3/8 $>$ 20%.)

Pasar el material a través del tamiz 3" y descartar el material que sea retenido en el tamiz 3", el material que pasa el tamiz 3" y es retenido en el tamiz 3/4", debe ser reemplazado por una cantidad igual en peso del material que pase por el tamiz 3/4" y sea retenido por el tamiz 3/8". El material para reemplazo debe tomarse de una porción no usada de la muestra.

Además en función del suelo a tratar se tiene dos tipos de proctor:

A. Proctor Estándar.- Este ensayo se realiza cuando la falla no es por asentamiento en otras palabras se utiliza para suelos que no van a soportar directamente las cargas transmitidas en obras de pavimentación y cimentación.

El equipo para hacer pruebas de compactación en obra es un equipo económico y sencillo, consistiendo la prueba en:

- _ Se toma una muestra representativa de suelo a compactar de humedad conocida.
- _ Se toma un cilindro de 4" de diámetro por 4 ½" de altura, se llena tres capas, aproximadamente iguales con material de prueba.
- _ Cada capa se compacta con 25 golpes de martillo de 2.5 Kg. Con un área de contacto de 20 cm², el que se deja caer de 35 cm de altura. Todo esto con el objetivo de siempre dar al material la misma energía de compactación.
- _ Se pesa el material y como el volumen es conocido el peso volumétrico húmedo lo obtenemos simplemente dividiendo el peso del material entre su volumen. Como la humedad es conocida se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esta humedad.
- _ Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el grado de humedad, con la que se obtienen valores humedad-peso volumétrica.

B. Proctor Modificado.- Este ensayo se realiza cuando la falla es por asentamiento, utilizándose para suelos que van a soportar directamente las cargas transmitidas en obras de pavimentación y cimentación.

5.6 Ensayo de CBR (Laboratorio).-

El objetivo de este ensayo es determinar la capacidad de Soporte de los suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Sirve para evaluar la calidad relativa del suelo.

A. Muestras Remoldeadas. - Este ensayo de punzonamiento se utiliza universalmente para apreciar la resistencia de los suelos, el ensayo consiste en prepara una muestra de suelo para compactarla en un molde cilíndrico a una energía de compactación y humedad definidas.

B. Ensayo de CBR in situ. - es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las solicitaciones de la estructura que soportará, deberá realizarse cuando se presentan materiales dudosos y en movimiento de tierras importantes.

C. Muestras Inalteradas. - Este método determina el CBR de un suelo cohesivo en estado natural, se diferencia del normal solo en la tomada de muestras, ya que los pasos para determinar las propiedades expansivas y la resistencia a la penetración son similares.

5.7 Ensayo de Corte Directo.

La resistencia al corte de un suelo determina factores tales como la estabilidad de un talud, la capacidad de carga admisible para una cimentación y el empuje de un suelo contra un muro de contención, el conocimiento de la resistencia al corte es un requisito indispensable para cualquier análisis relacionado con la estabilidad de la masa de un suelo. Una muestra de un suelo a un esfuerzo de corte tiende a producir un desplazamiento de las partículas entre sí o de una parte de las masas de un suelo con respecto al resto del mismo.

El desplazamiento de la muestra de suelo sometido a un esfuerzo de corte, encontramos que la resistencia al esfuerzo cortante no es un valor único, sino que está fuertemente influenciado in situ por factores ambientales tales como carga, descarga y particularmente por los cambios en el contenido de agua. En el laboratorio los métodos de ensayo, la perturbación de la muestra y la velocidad en la aplicación de la carga (deformación) influyen marcadamente el valor obtenido de la resistencia.

6.0.- NORMATIVIDAD SEGÚN ASTM.

Los ensayos de laboratorio utilizados en la presente estudio siguen muy de cerca los procedimientos estándar de ensayos sugeridos por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM). A continuación se dará una lista de los ensayos anteriormente mencionados con sus respectivas Normas ASTM.

Tipo de Ensayo	Referencia Normativa
Análisis Granulométrico por tamizado	ASTM D422
Límites de Consistencia	ASTM D 4318
Límite Líquido	ASTM D423
Límite Plástico	ASTM D4249
Contenido de Humedad natural	ASTM D 2216
Gravedad Específica de los Suelos Finos (Picnómetro)	ASTM D854
Gravedad Específica del agregado Grueso	ASTM C128
Ensayo de Equivalente de Arena	ASTM D2419
Abrasión Los Angeles	ASTM C 131
Durabilidad Sulfato de Sodio	ASTM C 88
Ensayo de Proctor Modificado	ASTM D1557
Ensayo CBR de los Suelos	ASTM D1883
Ensayo de Corte Directo	ASTM D3080

8.6 Análisis químico de Escorias Negras. LABICER, Universidad Nacional de Ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN

INFORME TÉCNICO N° 0528 – 17 – LAB. 12

- 1. DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : CARLOS CLINTON MAMANI QUINTO
ILICH DARIENT FUGUEROA CHAVEZ
 - 1.2 DNI : 73332301
71926952
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 17 / 04 / 2017
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 20 / 04 / 2017
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 25 / 04 / 2017
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS QUIMICO EN ESCORIA NEGRA
- 4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE ESCORIA NEGRA, RESIDUO DE LA PRODUCCION DE ACERO (FORMA GRANULAR)
 - 4.2 TESIS : DISEÑO DE CARRETERAS AFIRMADAS CON USO DE ESCORIAS NEGRAS EN ZONAS RURALES
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25°C; Humedad relativa: 59 %
- 7. EQUIPOS UTILIZADOS** : UV-VIS SPECTROPHOTOMETER SHIMADZU UV-1800
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA
SHIMADZU AA-7000
- 8. RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO DE REFERENCIA
Aluminio, ppm	26.345	ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA
Antimonio, ppm	4.102	
Arsénico, ppm	7.115	
Bario, ppm	879.654	
Bismuto, ppm	3.397	
Cadmio, ppm	9.007	
Calcio, ppm	200245.216	
Cobalto, ppm	14.523	
Cobre, ppm	274.506	
Cromo, ppm	1188.478	
Estaño, ppm	0.974	
Hierro, ppm	223005.551	
Litio, ppm	19.004	
Magnesio, ppm	89.504	
Manganeso, ppm	24001.354	
Níquel, ppm	50.269	
Plata, ppm	2.687	
Plomo, ppm	50.231	
Potasio, ppm	501.210	
Selenio, ppm	0.689	
Sodio, ppm	1899.565	
Zinc, ppm	1268.500	
Fosforo, ppm	1199.507	AOAC 958.01

- 8. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en el ítem uno (1) y cuatro (4) del presente Informe técnico.

Quim. Yemerson Bartolo
Analista Químico
LABICER – UNI

MSc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de Laboratorio
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.
INFORME TÉCNICO N° 0528-17- LAB. 12

Página 1 de 3

ANEXO

Figura N°1: Muestra de escorias negras de acero.

Figura N°2: Fotografía del proceso de digestión de la muestra de escoria.

Figura N°3: Solución resultante del proceso de digestión de la muestra de escoria.

Figura N°4: Fotografía del equipo de absorción atómica.

Figura N°5: Diagrama de proceso del tratamiento de la muestra.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN

INFORME TÉCNICO N° 0046 – 18 – LABICER

1. **DATOS DE LOS SOLICITANTES**
 - 1.1 SOLICITANTES : CARLOS CLINTON MANANI QUINTO
ILICH DARIENT FIGUEROA CHAVEZ
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 28 / 12 / 2017
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 11 / 01 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 12 / 01 / 2018
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : DETERMINACION DE CROMO (VI)
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN EL SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : ESCORIA NEGRA: RESIDUO DE LA PRODUCCION DE ACERO (ACEROS AREQUIPA), PRESENTA FORMA GRANULAR Y CIERTOS COMPONENTES METALICOS.
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 25.0°C; Humedad relativa: 62%
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Espectrofotómetro UV-Visible
SHIMADZU UV-1800
8. **MÉTODOS DE REFERENCIA** : NTP 214.053:2015
9. **RESULTADO**

ANÁLISIS	RESULTADO (ppm)
Cromo (VI)	11.348 ppm

10. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Natalia Quispe G.
Analista Químico
LABICER – UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable de Análisis
Firmado por:
Ing. Sebastián Lazo Ochoa
CIP 74236

(*)El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

8.7 Plano. Radios de Factibilidad Económica para el uso de escorias negras de la planta siderúrgica de CAASA de Pisco.

Leyenda

50 km al rededor de la planta	
75 km al rededor de la planta	
100 km al rededor de la planta	
125 km al rededor de la planta	
150 km al rededor de la planta

Obra: Tesis: Diseño de carreteras afirmadas en base a escorias negras,
provenientes de Aceros Arequipa, en zonas rurales.

Plano: Radios de factibilidad economica para el uso de escorias negras en
construccion de afirmados al rededor de la planta de CAASA.

Observaciones: Fecha: 14/06/17

Ingenieros:

- Figueroa Chavez, Ilich Darient
- Mamani Quinto, Carlos Clinton

Nro°:

01