



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Mejoramiento Funcional de vías mineras de acarreo
con la aplicación de Geomateriales – Caso Mina
Rafael S.A.C.**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Percy Edgardo Maraví Baldeón

Huancayo, 2019



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, sin ellos, jamás hubiese podido crecer profesionalmente, su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general, a mis hermanos que son el ejemplo de lucha y perseverancia, a todos ellos este proyecto, que, sin ellos, no hubiese podido ser.

Percy Edgardo Maraví Baldeón

ASESOR

Ing. Julio Aliaga Arcos

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo mejorar la condición funcional de las vías mineras de acarreo con alta sobrecarga debido al paso de camiones mineros con un peso promedio de 500 Tn. Para ello, se usó geomateriales existentes en la mina Rafael S.A.C., llegando a una dosificación adecuada entre la combinación de cuatro materiales como morrena, rechazado, voladura y lastre. Así, lo que se busca es que el lapso de tiempo del mantenimiento de las vías de acarreo sea lo menos consecutivo en los meses de altas precipitaciones.

Se utilizará el método experimental descriptivo con la finalidad de analizar el comportamiento de la dosificación adecuada de materiales, previo análisis granulométrico dentro del laboratorio de suelos en la mina Rafael S.A.C., respecto a la muestra típica usado como material para el mantenimiento de la vía sin tratamiento. Esta comparación sirvió para evaluar la frecuencia de mantenimiento requerido y, asimismo, la velocidad de operación de los camiones en ambos tramos, con tratamiento y sin tratamiento. Ambos tramos fueron estudiados durante un periodo de 24 días (03/02/2017 al 26/02/2017), época más crítica por presencia de precipitaciones altas, según Estación Hidrológica del Botadero Este (lugar donde está ubicado el proyecto).

Los resultados indicaron que la sección de prueba con mejor dosificación ayudó a disminuir el número de mantenimiento en el tiempo de estudio. Así, el tramo con tratamiento disminuye de 5 a 3 veces el número de mantenimientos requeridos respecto al tramo sin tratar. Lo mencionado anteriormente es sinónimo de ahorro en mantenimiento hasta 40%. Así mismo, la mejor dosificación ayudó a incrementar la velocidad promedio del paso de los camiones con

carga en 3.21 km/h respecto a la vía sin tratamiento, lo cual mejora la producción de la minera Rafael S.A.C., detallado en la presente investigación, para el estado cargado en ambos casos.

Palabras clave: geomateriales, vías, acarreo, mantenimiento.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to improve the functional condition of haul mining roads with high overload due to the passage of mining trucks with an average weight of 500 tons. For this, existing geomaterials were used in the Rafael S.A.C. mine, reaching an adequate dosage between the combination of four materials such as moraine, rejected, blasting and ballast. Thus, what is sought is that the lapse of time of the maintenance of the haul roads is the least consecutive in the months of high rainfall.

The descriptive experimental method will be used in order to analyze the behavior of the appropriate dosing of materials, previous granulometric analysis within the soil laboratory at the Rafael SAC mine, with respect to the typical sample used as material for the maintenance of the route without treatment. This comparison served to evaluate the frequency of maintenance required and, also, the speed of operation of the trucks in both sections, with treatment and without treatment. Both sections were studied during a period of 24 days (03/02/2017 to 26/02/2017), a more critical period due to the presence of high rainfall, according to the Hydroelectric Station of Botadero Este (where the project is located).

The results indicated that the test section with better dosage helped to decrease the number of maintenance in the study time. Thus, the stretch with treatment decreases 5 to 3 times the number of maintenance required with respect to the untreated section. The above mentioned is synonymous with savings in maintenance up to 40%. Likewise, the best dosage helped to increase the average speed of the trucks with load in 3.21 km / h compared to the untreated road, which improves the production of the Rafael S.A.C. mining company, detailed in the present investigation.

Key words: geomaterials, roads, haulage, maintenance.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing, Jaime Casafranca Medina, por el respaldo y oportunidad que me dio para desarrollar y liderar este gran proyecto minero, a mis padres quienes a lo largo de toda mi vida me apoyaron y motivaron a crecer de manera personal y profesional, al Ing. Andrés Sotil Chávez Ph.D por su dedicación, apoyo y aportación de experiencia a esta investigación, al Ing. Julio Aliaga Arcos por el respaldo para compartir al público esta presente investigación, a esta prestigiosa Universidad, por las enseñanzas compartidas, para que hoy pueda demostrarlo en la supervisión y ejecución de vías mineras.

Percy Edgardo Maraví Baldeón

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
ASESOR	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema	6
1.2.1. Problema general	6
1.2.2. Problema específico	6
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos	7
1.4 Justificación e importancia	7
1.5 Hipótesis y descripción de variables	8
1.5.1 Hipótesis general	8
1.5.2. Hipótesis específicas	8
1.6 Variables	9
1.6.1. Variable independiente	9
1.6.2. Variable dependiente	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes del problema	10

2.1.1 Antecedentes de investigaciones del problema	10
2.1.2 Antecedentes existentes de las vías acarreo de la mina Rafael SAC.....	13
2.1.3 Apreciación propia.....	19
2.2 Bases teóricas.....	20
2.2.1 Mantenimiento	20
2.2.2 Acarreo de Material.....	20
2.2.3 Vías de Acarreo	21
2.2.4 Mantenimiento de Vías.....	25
2.2.5 Pendiente transversal de las vías de acarreo minero	28
2.2.6 Estudios de mecánica de suelos.....	29
2.2.7. Evaluación de las vías mineras	44
2.2.7.1. Evaluación funcional.....	44
A) Índice de Regularidad Internacional (IRI).....	44
B) Dispatch	45
2.2.7.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	48
2.2.7.2.1. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO LIVIANO (LWD).....	48
2.2.7.3. Evaluación superficial.....	52
2.2.6.3.1 URCI - UNPAVED ROAD CONDITION INDEX (Evaluación de daños en vías no Pavimentadas)	52
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	57
3.1 Métodos y alcance de la investigación	57
3.2 Población y muestra.....	57
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	57
3.4. Instrumentos de medición	60
3.5. Técnicas de procesamiento de datos.....	61
3.6. Proceso constructivo de conformación de vías mineras, MTC “Manual de diseño de Carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito”.....	61
3.6.1. Dimensionamiento del ancho mínimo del derecho de vía.....	61
3.6.2. Distancia de visibilidad en la vía.....	62
3.6.3. Peralte de la carretera	62
3.6.4. Coordinación entre el diseño horizontal y el diseño vertical.....	62
3.6.5. Estabilidad de taludes.....	63
3.6.8. Carguío y eliminación del material	66
3.6.9. Taludes	66
3.6.10. Subrasante	67
3.6.11. Drenaje subterráneo	68

3.6.12. Capa de afirmado.....	70
3.6.13. Ensayos de densidad de campo	72
3.6.14. Capa superficial del afirmado.....	74
3.6.15. Drenaje Superficial	74
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	77
4.1 Estudios hidrológicos	77
4.2. Ubicación de los tramos del trabajo de investigación	83
4.3 Vía de acarreo de la mina Rafael S.A.C.....	84
4.4 Geomateriales de la mina Rafael S.A.C.	85
4.5. Determinación de la propuesta de dosificación	86
4.5.1. Granulometría, densidad y colapsabilidad	86
4.5.2. Ensayo de compactación Proctor Modificado (Norma MTC E 115).....	136
4.5.3. Límites de Atterberg (Índice de Plasticidad).....	139
4.5.4. Ensayo de abrasión Los Ángeles.....	142
4.5.5. Ensayo de valor de soporte de California CBR.....	143
4.5.6. Ensayo de Densidad_cono de arena de Ottawa.....	149
4.5.7. Resultados de Ensayos de laboratorio.....	150
4.6. Secciones de capas de afirmado	152
4.7. Resultados evaluación vía minera	157
CAPÍTULO V: RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	174
5.1. Conclusiones	174
5.3. Recomendaciones	175
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177
ANEXOS.....	181

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Lastrado de vías luego de la descarga del material	14
Figura 2: Lastrado con rocas de mayor dimensión	15
Figura 3: Reducción del ancho operativo de la vía de tránsito	16
Figura 4: Pendiente en campo menor al 2%, se lavan los finos, generando baches y huecos	17
Figura 5: Concentración de lodo generado por precipitaciones	18
Figura 6: Eliminación de lodo con volquetes, por falta de drenaje	18
Figura 7: Sección Transversal de la Vía de acarreo con sección “Lomo de Corvina” o Crown	24
Figura 8: Sección Transversal de la Vía de acarreo pendiente a un lado o Súper	25
Figura 9: Detalle longitudinal del drén francés	26
Figura 10: Detalle transversal del drén francés	27
Figura 11: Diseño de sección transversal de la estructura del proyecto de mejoramiento funcional de vías mineras de acarreo	28
Figura 12: Curvas de densidad máxima para el grafico de gradación de potencia de 0.45 cada curva es para un tamaño de agregado máximo diferente	34
Figura 13: Curva de deducción de valores	54
Figura 14: Curva de deducción de valores Finales	55
Figura 15: Plantillado topográfico para evaluar niveles de corte	65

Figura 16:	Corte del terreno con tractor D11T, para conseguir subrasante con pendiente 5%	66
Figura 17:	Conformación de Dren Francés para garantizar el drenaje subterráneo generado por las precipitaciones altas	70
Figura 18:	Sellado y compactado de dren francés con material rechazado	61
Figura 19:	Descarga de material combinado, de chancadora secundaria	72
Figura 20:	Ensayo de densidad de campo, verificar compactación óptima.	73
Figura 21:	Ejecución de ventanas para drenaje	75
Figura 22:	Conformación de cunetas para garantizar drenaje	76
Figura 23:	Acumulación de lluvias por mes desde el 2013 hasta el 2016	79
Figura 24:	Promedio de acumulación de precipitaciones por mes de los años 2013-2016	80
Figura 25:	Anomalías de precipitaciones, Fenómeno del Niño Costero 2017	82
Figura 26:	Tramos de las vías con y sin tratamiento	83
Figura 27:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 1 (M -1)	88
Figura 28:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 1 (M-1)	89
Figura 29:	Figura 32. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-1)	89
Figura 30:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 2 (M -2)	90
Figura 31:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 2 (M -2)	91
Figura 32:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 2 (M -2)	92

Figura 33:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 3 (M -3)	93
Figura 34:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 3 (M -3)	94
Figura 35:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 3 (M -3)	94
Figura 36:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 4 (M -4)	95
Figura 37:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 4 (M -4)	96
Figura 38:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 4 (M -4)	96
Figura 39:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 5 (M -5)	97
Figura 40:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 5 (M -5)	98
Figura 41:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 5 (M -5)	99
Figura 40:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 6 (M -6)	99
Figura 41:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 6 (M -6)	100
Figura 43:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 6 (M -6)	101
Figura 44:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 7 (M -7)	101
Figura 46:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 7 (M -7)	102
Figura 47:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 7 (M -7)	103
Figura 48:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 8 (M -8)	103
Figura 49:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 8 (M -8)	104
Figura 50:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 8 (M -8)	105

Figura 51:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 9 (M -9)	105
Figura 52:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 9 (M -9)	106
Figura 53:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 9 (M -9)	107
Figura 54:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 10 (M -10)	107
Figura 55:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 10 (M -10)	108
Figura 56:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 10 (M-10)	109
Figura 57:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 11 (M -11)	109
Figura 58:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 11 (M -11)	110
Figura 59:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 11 (M -11)	111
Figura 60:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 12 (M -12)	111
Figura 61:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 12 (M -12)	112
Figura 62:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 12 (M -12)	113
Figura 63:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 13 (M -13)	113
Figura 64:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 13 (M -13)	114
Figura 65:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 13 (M -13)	115

Figura 66:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 14 (M -14)	116
Figura 67:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 14 (M -14)	116
Figura 68:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 14 (M -14)	117
Figura 69:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 15 (M -15)	117
Figura 70:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 15 (M -15)	118
Figura 71:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 15 (M -15)	119
Figura 72:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 16 (M -16)	119
Figura 73:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 16 (M -16)	120
Figura 74:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 16 (M -16)	121
Figura 75:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 17 (M -17)	121
Figura 76:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 17 (M -17)	122
Figura 77:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 17 (M -17)	123
Figura 78:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 18 (M -18)	123
Figura 79:	Curva de potencia 0.45 para la muestra 18 (M -18)	124
Figura 80:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 18 (M -18)	125

Figura 81:	Evolución de las muestras realizadas según la dosificación aplicada	126
Figura 82:	Curvas de granulometría de las M-1 hasta la M-6	128
Figura 83:	Curvas de granulometría de las M-7 hasta la M-12	129
Figura 84:	Curvas de granulometría de las M-3 hasta la M-18	130
Figura 85:	Curva de potencia 0.45 de la Muestra M-1 a la M-6	131
Figura 86:	Curva de potencia 0.45 de la Muestra M-7 a la M-12	132
Figura 87:	Curva de potencia 0.45 de la Muestra M-13 a la M-18	133
Figura 88:	Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra con sección Lastre	134
Figura 89:	Curva de potencia 0.45 para la muestra con Sección Lastre	135
Figura 90:	Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra con sección Lastre	136
Figura 91:	Ensayo de Compactación Proctor Modificado de la muestra 14.	137
Figura 92:	Ensayo de compactación Proctor Modificado del tramo de sección con lastre	138
Figura 93:	Ensayo de límites de Atterberg de la muestra 14	140
Figura 94:	Ensayo de límites de Atterberg de la muestra para tramo de sección con lastre	141
Figura 95:	Ensayo de abrasión Los Ángeles para la muestra 14 tramo con dosificación adecuada	142
Figura 96:	Ensayo de abrasión Los Ángeles para la muestra de tramo de sección con lastre	143

Figura 97 a:	Ensayo de CBR en laboratorio de la muestra de mejor dosificación adecuada	144
Figura 97b:	Ensayo de CBR en laboratorio de la muestra de mejor dosificación adecuada	145
Figura 98a:	Ensayo de CBR de la muestra del tramo de sección con lastre	146
Figura 98b:	Ensayo de CBR de la muestra del tramo de sección con lastre	147
Figura 99:	Densidad de campo al tramo con dosificación adecuada.	148
Figura 100:	Ensayo Densidad de campo al tramo de sección con lastre	149
Figura 101:	Configuración de ejes	152
Figura 102:	Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para afirmados, pavimentos Flexibles y semirrígidos	153
Figura 103:	Factores de distribución Direccional y de Carril para determinar tránsito el Carril de Diseño	153
Figura 104:	Secciones de capas de afirmado – Proyecto Vías Mina Rafael	155
Figura 105:	Promedio de velocidades de la sección de mejor dosificación adecuada y sección con lastre (sin tratamiento).	160
Figura 106:	Clasificación de suelos	165
Figura 107:	Evaluación de deflexión.	168
Figura 108:	Evaluación estructural con LWD al proyecto de vía minera	169
Figura 109:	Evaluación estructural con Deflectómetro Liviano	169
Figura 110:	Evaluación superficial	171
Figura 111:	Análisis de evaluación Superficial, método de URCI	172

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Requerimientos granulométricos para base granular	30
Tabla 2. Requerimientos granulométricos para base granular	31
Tabla 3. Rangos de clasificación Metodología URCI	53
Tabla 4. Niveles de severidad de fallas para URCI	56
Tabla 5. Taludes de corte	64
Tabla 6. Materiales empleados para los Taludes	64
Tabla 7. Dosificaciones de los geomateriales de la cantera Rafael S.A.C.	87
Tabla 8. Cuadro de resumen de evaluación de criterios a las 18 muestras	116
Tabla 9. Consolidado de datos, valores indicativos	150
Tabla 10. Caculos para obtener espesor de capa de afirado	151
Tabla 11. Detalle de reporte de velocidades de ida por Dispatch	157
Tabla 12. Detalle de reporte de velocidades de vuelta por Dispatch	158
Tabla 13. Tramo sin Tratamiento (Kp 2+000 a 3+040)	166
Tabla 14. Tramo con Tratamiento (Kp 3+040 a 4+075)	167
Tabla 15. Rangos de clasificación Metodología URCI	170
Tabla 16. Evaluación superficial	171

INTRODUCCIÓN

En épocas de precipitaciones altas en las minas de la sierra peruana, se observa un desgaste mayor y prematuro en las estructuras de vías. Estas son generadas a causa del tránsito de camiones de alta carga, ya que, el tipo de material usado en las vías no presenta un estudio previo donde se pueda evaluar los diversos factores que conlleven a la falla. Estas vías deficientes causan una disminución en la velocidad promedio de camiones mineros, generando que la productividad en estas épocas disminuya. Así los gastos tanto de mantenimiento como desgaste de neumáticos se vean incrementados y generen pérdidas.

Además, los efectos climáticos propios de la geografía de la zona afectan de manera significativa a las vías, deteriorándolas y convirtiéndolas intransitable para los vehículos de alta carga. De este modo, la velocidad de acarreo se reduce y consecuentemente la productividad, lo que se traduce en irregularidades de metas diarias, semanales y mensuales de producción y un aumento de costos, además de aumentar el riesgo de accidentes.

Es así que se busca alternativas que a un bajo costo y de forma rápida mejoren el tránsito por estas vías. Una de las alternativas que se toma actualmente al mantenimiento de las vías es el empleo de materiales Lastre que se encuentra dentro de las minas. Para ello, es necesario aplicar geomateriales, de origen geológico como rocas, tipos de suelo y procesos de la cantera existente en mina, que ayuden con el reforzamiento de las vías de acarreo. Estos geomateriales deben mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad, aumentando así la producción de la mina en épocas de precipitaciones altas, sin incurrir en gastos mayores.

Por ello la presente investigación pretende realizar un mejoramiento funcional de vías mineras de acarreo de alta carga con uso de geomateriales, basado en un proyecto real con ensayos verídicos de mecánica de suelos, realizado en una mina de la sierra peruana, respaldados por el Ingeniero líder del área. Por política de privacidad, la mina no permite el uso y difusión de su nombre al público en general, por ello exclusivamente para esta presente investigación se usará el seudónimo de mina Rafael S.A.C.

Para el mejoramiento de productividad de la mina en épocas de precipitaciones altas, tiempo donde la estructura de la vía sufre mayor desgaste, se buscará una mejor consolidación, mayor densidad del material, con una buena relación entre finos y gruesos (Mezcla bien graduada), y un suelo no colapsable ante la presencia de humedad. Lo mencionado anteriormente con el fin de disminuir el porcentaje de espacios vacíos que genere asentamiento por el paso de los camiones mineros.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

Las minas en el Perú tienen un constante batallar contra los climas adversos dados en épocas de invierno (mayores precipitaciones con respecto a otras estaciones), obligan a buscar opciones para mantener y mejorar la regularidad de producción, el cual está íntimamente vinculado a la velocidad por el traslado constante de los camiones mineros con carga hacia los botaderos y/o chancadoras primarias. Así, el ritmo diario al cual se traslada los vehículos que transportan mineral, define la productividad general.

En temporadas de precipitaciones altas se observa un desgaste mayor en las estructuras de las vías, por falta de algún diseño de drenaje, alteración de material, exceso de material fino o material inapropiado para mantener las vías de tránsito. Asimismo, el alto tránsito de camiones mineros sobre las vías, generan baches pronunciados en la superficie de rodadura, ya sea por mala densidad del material, mala gradación, suelos colapsables o mala capacidad portante del mismo terreno.

Por otro lado, se observa una mayor frecuencia de mantenimientos a las vías a fin de mejorar la velocidad por el paso de los camiones, generando aumento de horas máquinas, incremento de producción y traslado de material, personal capacitado y aumento de recursos.

Como se sabe, entre los principales factores externos que intervienen en la vida útil de una vía minera están las condiciones climáticas (precipitaciones altas), las cargas de tráfico y el tipo de tratamiento que se le da a las vías.

Las vías de acarreo por ser de alta importancia en producción y utilidad deben de mantenerse operativos los 365 días del año. Para ello actualmente existe un tipo de tratamiento preventivo, la cual consiste en rellenar la vía con material lastre (material grueso proveniente de chancadora secundaria, de 4 pulg a 6 pulg de diámetro). Este material drenante hace que el agua filtre hacia la parte interior, generando mayor deterioro de la vía por la segregación del propio material y la mala gradación. Como resultado se percibe una disminución del promedio de velocidades, y por ende el rendimiento en producción baja considerablemente, asimismo los neumáticos se desgastan de manera muy rápida por presencia del Lastre, cuyas características son aristas de gran dimensión.

El número de mantenimientos aumenta en épocas de precipitaciones altas, es decir se invierte más horas con las maquinarias, por la segregación precoz de la rasante, el rendimiento de velocidad con respecto a otras temporadas es mucho menor, pese a darle un tratamiento continuo a base del lastre, a esto sumarle que no existe un diseño adecuado de drenaje a la vía lo que genera el estancamiento de agua en la parte inferior del bombeo lateral en la vía, lo cual disminuye el ancho de calzada de la vía, obstaculizando el libre tránsito de camiones mineros. Por todo lo anterior, se debe realizar procesos de estabilización en la estructura de la carretera, verificando mediante el comportamiento funcional, estructural y superficial. En resumen, la condición actual en la estructura de la vía conlleva a lo siguiente:

- Disminución de producción por velocidades bajas.
- Reducción del ancho operativo de la vía, ocasionando demoras en el tránsito de camiones, disminuyendo la producción.
- Desgaste prematuro de neumáticos.
- Existencia de baches pronunciados.

- Incremento en la frecuencia del mantenimiento correctivo a las vías en épocas de invierno.
- Incremento en el consumo de agregados.
- Mayor disponibilidad de chancadora secundaria.
- Empleo de maquinarias para tratamiento continuo de la vía.

Por ello, hoy en día es necesario aplicar los geomateriales de origen geológico como rocas y suelo, que ayuden con el reforzamiento estructural a las vías de acarreo. Estos geomateriales deben ser dosificados adecuadamente mediante tres criterios de evaluación: Estudio granulométrico, densidad óptima con el apoyo de la Curva de potencia 0.45 y colapsabilidad del suelo con el Criterio de Gibbs, de tal forma que los tres criterios en conjunto, sirvan para disminuir la frecuencia de mantenimientos de dichas vías* (mejor densidad, mejor gradación conlleva a la disminución de porcentaje de espacios vacíos al obtener una mezcla bien graduada entre material fino y material grueso), así como disminuir pérdidas de horas de transporte de material con los camiones, horas hombre y desgaste de la chancadora para producción del material.

*Se define que el tiempo de mantenimiento de las vías se evaluará con respecto a la velocidad promedio de los camiones, según la necesidad para mantener la regularidad de producción.

Esta tesis se realizó con información de la mina Rafael SAC, (Mina que procesa Zinc, Cobre, Molibdeno y Plata) ubicada en la Región de Ancash. El proceso de traslado de esta mina se centra en el movimiento de mineral de hacia la Chancadora Primaria y Botaderos. Así mismo la mina cuenta con 4 materiales, evaluados granulométricamente, los cuales son: material rechazado de chancadora, material de voladura, morrena y lastre.

1.2 Formulación del problema

1.2.1. Problema general

La formulación del problema es: ¿Qué dosificación de geomateriales permitirá una mejora funcional en las vías mineras de acarreo, aumento de la velocidad promedio y volumen de material transportado en las vías de acarreo de la mina Rafael SAC?

1.2.2. Problema específico

- ¿Cuál será la dosificación más adecuada de geomateriales que cumpla los 3 criterios de evaluación (Gradación, Densidad y Colapsabilidad)?
- ¿La dosificación adecuada ayuda en la funcionalidad de la vía minera de carga pesada?
- ¿Cuál será la velocidad de transporte de los camiones con carga minera en el tramo con mejoramiento y la sección de control con lastre?
- ¿Cuál será el comportamiento estructural, funcional y superficial del tramo con mejoramiento y la sección de control con lastre?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la dosificación de geomateriales, que sea capaz de mejorar de manera funcional las vías de acarreo incrementando la velocidad promedio de los camiones con carga minera y mayor producción de material, evaluado por el volumen de material transportado, con respecto a la sección de control con lastre.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la dosificación adecuada de geomateriales en la Mina Rafael mediante 3 criterios: Granulometría, Curva de Potencia 0.45 y Colapsabilidad con Gibbs.
- Verificar la funcionalidad de la vía de acarreo con la dosificación adecuada en comparación con la de lastre (sección de control) en campo.
- Medir la productividad de la vía de acarreo con la dosificación adecuada
- Evaluar estructural y superficialmente la vía de vía de acarreo con la dosificación adecuada

1.4 Justificación e importancia

En muchos casos los materiales granulares no satisfacen las características que se desea para los diferentes requerimientos. Una de ellas es la gradación, que si es un material mal graduado genera un porcentaje mayor de espacios vacíos por la parte interior de la estructura de la vía, o en caso contrario el exceso de material fino. Por esta razón, estos materiales requieren de un previo estudio y reforzamiento que implica modificar sus condiciones granulométricas para obtener las óptimas (obtener una buena gradación). Por ello, esta investigación propone el reforzamiento de los suelos utilizando la mecánica de suelos y en específico, la granulometría a fin de mantener una transitabilidad regular de los camiones mineros y evitar ahuellamientos, baches y/o huecos por la segregación de material. Si lo mencionado anteriormente se logra, se podrá mantener y aumentar el rendimiento promedio de producción minera con respecto a épocas de precipitaciones altas.

Desde el punto de vista de construcción, rehabilitación y mantenimiento de vías, el uso de la mezcla de materiales en cuestión propone una metodología para prevenir la aparición de deformaciones o asentamientos tempranos, o en todo caso extendiendo el tiempo en que la

fisuración o asentamiento diferenciado puede presentarse. Como se sabe, estos problemas se deben a los diferentes cambios de rigidez que experimenta la base, el tipo de soporte colocado o el clima natural de la zona (precipitaciones altas).

Considerando la importancia de la estabilidad de las vías, se ha visto conveniente desarrollar la siguiente investigación que busca determinar el mejoramiento funcional de vías mineras de acarreo de alta carga en la minera Rafael S.A.C que conlleve a una mejora en la productividad en el transporte de material en dicha mina con la aplicación de geomateriales existentes en la zona.

1.5 Hipótesis y descripción de variables

1.5.1 Hipótesis general

Si, se determinó la dosificación adecuada, basado en geomateriales, que es capaz de mejorar de manera funcional las vías de acarreo incrementando la velocidad promedio de los camiones con carga minera y mayor producción de material, evaluado por el volumen de material transportado, con respecto a la sección de control con lastre.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Si, existe una dosificación adecuada de geomateriales que cumpla con los 3 criterios de evaluación (Gradación, Densidad y Colapsabilidad).
- Los camiones con carga minera se transportan con mayor rapidez en el tramo en mejoramiento respecto a la sección de control con lastre, tanto en estado cargado como vacío.
- Si, hubo una mayor productividad de la vía de acarreo con la dosificación adecuada.

- El tramo en mejoramiento tiene un mejor comportamiento estructural y superficial respecto a la sección de control con lastre.

1.6 Variables

1.6.1. Variable independiente

- Mejoramiento funcional basado en geomateriales.

1.6.2. Variable dependiente

- Velocidad promedio de los camiones con carga minera en ambas secciones de control.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes de investigaciones del problema

Se encontraron los siguientes trabajos en relación al problema:

Nacionales

Realizar una pavimentación de carretera, optimiza los tiempos de recorrido de los vehículos debido al diseño de su capa de rodadura. Es así como un buen diseño de estas carreteras es necesario para garantizar su correcto desempeño y durabilidad, en ese sentido la tesis “Diseño de los pavimentos de la nueva Carretera Panamericana Norte en el tramo de Huacho a Pativilca” (Rengifo k. 2014), hace un estudio mecánico de suelo, donde se desarrolla el análisis granulométrico, compactación de Proctor y demás, que ayuden a caracterizar el suelo, muestra que nos ayuda para poder tener una mejor concepción del suelo a ser construido.

Para poder contrarrestar los efectos negativos por el proceso de acarreo producidos por el mal estado de la vía y comprobar la importancia de contar con unas vías de acarreo en estado óptimo, al lograr mayor eficiencia en la operación (Arinovich & Frano, 2001) indica la “Influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo pampa verde, minera La Zanja- Cajamarca”

Para analizar la optimización de los caminos, y de combinar bien el tránsito, camión versus camino de acarreo, se deben de examinar muchos factores y los efectos que éstos tienen en los resultados del balance general (Chepillo & Chepillo, 2001) indica que la mayoría de las minas utilizan una medida basada, en cierta forma, en el costo por tonelada de material movido,

esta medida se basa en los dos componentes del costo por tonelada en acarreo de camiones, en su tesis titulada: “Mejoramiento de Caminos y Accesos Minera Escondida”

Se debe de mejorar la calidad de vía para una mayor velocidad real de operación, menor impacto y desgaste sobre el equipo, mayor producción y menor consumo de combustible. Uno de los factores clave es una adecuada gestión de las vías, lo que conlleva a la realización de acciones conducentes a que la combinación del diseño, los recursos, la supervisión, el mantenimiento y el control (Yoza, 2010) realiza la investigación titulada “Gestión de Vías en Proyectos Open Pit”

El Tiempo de Acarreo es el tiempo que se tarda en transportar el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga y varía de acuerdo a la distancia de acarreo, la condición de la vía, la potencia del equipo, entre otras. Las distancias de acarreo pueden variar indistintamente, las velocidades de viaje varían con la potencia (Canturín & Siucho, 2004) indica una “Aplicación de Métodos de Productividad en las Operaciones de Equipos de Movimiento de Tierras”.

Las vías en mina son determinantes aproximadamente 40% del costo de la producción, esto quiere decir que un adecuado diseño y el debido mantenimiento influyen significativamente en la productividad de la mina (Ramos, 2013) por ello se requiere realizar un buen diseño a fin de mantener y aumentar la productividad de la mina Rafael SAC.

Las vías de acarreo minero deben ser construidas por capas con materiales adecuados cuya capacidad portante transmita y resista la presión que ejerce los neumáticos del camión hacia la capa de rodadura, indicando que un mantenimiento errado traería como consecuencias

la disminución de la producción estimada e incrementaría los costos de operación y mantenimiento de los equipos. Además, disminuiría la vida útil de los neumáticos de los camiones de carguío, aumentaría el consumo de combustible y generaría peligros en el tránsito de los equipos (Del Corral, 2016), alimenta esta investigación con su artículo en la revista Perú “Diseño y Construcción de Caminos Mineros”, el cual alimenta el proceso constructivo realizado por la Mina Rafael SAC.

Debido al peso que deben soportar las vías por el paso de los vehículos de acarreo, deben tener un afirmado con materiales que puedan soportar estos pesos sin que se deterioren rápidamente; si esto ocurre el mantenimiento de las vías se hace más costoso debido a la periodicidad con que se debe llevar a cabo (El Centro Nacional Minero el Servicio Nacional de Aprendizaje [CNMSNA], 2002) realiza una publicación acerca de ello titulada “Infraestructura Minera a Cielo Abierto”, lo cual la Mina Rafael SAC, estudió a los geomateriales, obteniendo una dosificación adecuada.

Internacionales

Para poder ejecutar un proyecto de mejoramiento de vías mineras, es importante considerar las bases y subbases en las carreteras, ya que en ocasiones este tipo de procedimientos se hacen sin considerar aspectos importantes como es estabilizar los materiales, o la compactación de los mismos, entre otros, por ello se debe de realizar ensayos de capacidad portante a las capas mencionadas, para obtener los resultados deseados (Mendoza, 2008), alimenta esta investigación con su tesis titulada “Bases y Sub-Bases”, el cual es importante estudiar las capas para obtener buenos resultados luego de la pavimentación de vías para la mina Rafael SAC.

2.1.2 Antecedentes existentes de las vías acarreo de la mina Rafael SAC.

La mina Rafael S.A.C se ubica en la Región Ancash, a una altitud promedio de 4,300 msnm. El problema existente por la que atraviesa la mina Rafael S.A.C., se centraliza en las vías mineras de acarreo que conecta la Chancadora Primaria, Chancadora Secundaria, Tajos abiertos y los Botaderos. En temporadas de precipitaciones altas, las vías sufren cambios en su estructura funcional y estructural por el tránsito de camiones de alto tonelaje. Así, la capa de rodadura es segregado frecuentemente debido a los mantenimientos, por lo que los finos tienden a perderse. Asimismo el tipo de material usado para mantener las vías genera segregaciones y consecuentemente baches, ahuellamientos y huecos por el alto tránsito de camiones de mina, perjudicando así la producción de la mina disminuyendo el promedio de velocidades de transporte, reduciendo la vida útil de los neumáticos de los camiones como de vehículos livianos, generando mayor cantidad de mantenimientos a las propias vías en tiempos cortos, reduciendo el ancho de calzada de las vías por la acumulación de materiales (lodo y rocas), obstaculizando así a los vehículos que transitan por ello, conocido como cuello de botella, por dar pase prioridad a los camiones de mina, por dar espacio al área al trabajo que realiza la motoniveladora para el mantenimiento llamado Lastrado¹.

A continuación, se muestra los antecedentes existentes en las vías mineras:

a. Lastrado de vías con material grueso con presencia de aristas

El tipo de mantenimiento que se le da a las vías llamado “Lastrado de vías” (ver Figura 1), consiste en dar el mantenimiento preventivo cada corto tiempo (3 días aproximadamente, de acuerdo a investigaciones), este mantenimiento consiste en la descarga de material tipo lastre sobre la vía con un diámetro promedio del material entre 4pulg a 6pulg (ver Figura 2),

¹ Lastrado: Tendido de material lastre con motoniveladora, sobre zonas afectadas por las precipitaciones, ya sea huecos, baches o ahuellamientos

proveniente de las palas de voladura (material no tratado), este material es tendido con una motoniveladora Cat 24M o 24H, la cual apoya en tender y uniformizar el material lastre en una capa delgada con una altura aproximada de 10 cm de espesor, luego del tendido, se da pase a los camiones, con el tránsito de estos, se va compactando, hasta conseguir una vía relativamente uniforme, el lastre le da consistencia a la vía, pues estructuralmente las piedras de mayor diámetro da soporte al peso generado por camiones, pero en precipitaciones altas, al lavarse los finos, ocurre el fenómeno que las piedras se acomodan entre sí, generando baches o llamados huecos.

Lastre: Combinación de materiales granulares (grava y arena) de mala calidad, utilizada en obras civiles. Material de relleno que se obtiene de forma natural de la explotación de sustancias de suelo y rellenos. Suplido en granulometría fina y gruesa.



Figura 1: Lastrado de vías luego de la descarga del material



Figura 2: Lastrado con rocas de mayor dimensión

b. Desgaste prematuro de neumáticos

El desgaste que sufren los neumáticos, se debe al tipo de material que se tiende en las vías como proceso de mantenimiento común. Este material proviene de las palas de voladura (material sin tratamiento) con una granulometría mal graduada, con presencia de aristas que perjudican el tránsito de los camiones por la mala compactación o baja densidad que se obtiene de este tipo de material, un porcentaje de estas pequeñas rocas no se logran adecuar entre sí, por lo que posteriormente se tiene que eliminar con un Cargador Frontal y Camiones, reduciendo así el ancho operativo de las vías.

c. Reducción del ancho operativo de la vía

Las precipitaciones altas afectan también al ancho operativo de las vías mineras, debido a la acumulación de material de lodo en las partes laterales de la vía, por el exceso de lastre

que no logra compenetrarse en la capa de rodadura por la falta de drenaje existente en campo donde pueda escurrir el lodo por gravedad. Esto hace que el ancho operativo de las vías mineras se vea afectadas, generando así que los vehículos livianos den prioridad a los camiones y reduciendo las velocidades de los vehículos en la vía, cabe resaltar que en la mina la prioridad se da de la siguiente manera: (ver Figura 3).

1. Camiones mineros
2. Maquinarias de línea amarilla
3. Maquinarias de línea blanca
4. Vehículos livianos.



Figura 3: Reducción del ancho operativo de la vía de tránsito

d. Existencia de baches pronunciados

Tener una pendiente transversal menor a 2% hace que no exista un drenaje adecuado para eliminación del lodo por gravedad, generado por las precipitaciones. Esto hace que el agua

se concentre en zonas de pendiente baja y se laven los finos, haciendo que se genere huecos o baches, como consecuencia el promedio de velocidades de los camiones y/o vehículos livianos disminuye. (Ver Figuras 4 y 5).

e. Emplear horas máquina para eliminar lodo con lastre

Se genera acumulación de lodo por exceso del material de lastre y por la falta de drenaje, lo cual se tiene que eliminar constantemente con un cargador frontal apoyado de volquetes de capacidad de 15m³, de lo contrario, reduce cada vez más la calzada y congestiona el tránsito de los vehículos (ver Figura 6).



Figura 4: Pendiente en campo menor al 2%, se laven los finos, generando baches y huecos



Figura 5: Concentración de lodo generado por precipitaciones



Figura 6: Eliminación de lodo con volquetes, por falta de drenaje en el punto

2.1.3 Apreciación propia

Para obtener un buen desenvolvimiento funcional de las vías de acarreo minero, se debe considerar una dosificación adecuada, de tal manera que nos garantice una buena gradación del material (relación entre finos y gruesos), densidad de material óptima y un suelo no colapsable, una vez obtenido la dosificación adecuada, mediante una evaluación de diversos ensayos de laboratorio, evaluar una zona donde el tipo de características entre ambos tramos (con tratamiento y sección con lastre), tengan las mismas consideraciones. Se recomienda realizar una buena conformación y compactación desde el nivel de subrasante, a fin que pueda tener una capacidad portante óptima para recepcionar y distribuir las cargas producidas por el paso de los camiones mineros (peso bruto aprox. 625tn) y poder distribuirlos hacia el interior formando un bulbo de presiones homogéneo. Para certificar la evaluación de dureza del terreno, se recomienda usar el ensayo LWD, ensayo no destructivo que ayuda con el monitoreo de cada capa, garantizando un suelo óptimo, considerar realizar el tendido y conformado de material en capas a un espesor acorde a la potencia de apisonamiento del rodillo, para 20tn de compactación, se recomienda un espesor de capa máxima promedio de 0.30cm, obteniendo una buena densidad, para ello se debe de controlar el porcentaje de humedad permitida según los ensayos de proctor, de esta manera, garantizamos un mejor comportamiento funcional a las vías construídas, luego de obtener la compactación de la vía, realizar ensayos de densidad de campo con el cono de arena, mantener la pendiente del 5% con dirección a la cuneta, según diseño geométrico de la vía.

Para verificar el comportamiento Superficial se hará mediante URCI, formato con el cuál mapea todas las fisuras y anormalidades superficiales que se presenta en la rasante, con ello se concluye el tipo de suelo que presenta cada tipo de tramo estudiado.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento

El mantenimiento es toda acción que tiene como único objetivo preservar un ente o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas que corresponda. (Marinovich, 2016)

El mantenimiento se define como un conjunto de actividades desarrolladas con el fin de asegurar que cualquier activo continúe desempeñando las funciones deseadas o de diseño. El objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad y confiabilidad prevista de las operaciones con respecto de la función deseada, dando cumplimiento además a todos los requisitos del sistema de gestión de calidad. (Ingeniería Industrial, 2017)

2.2.2 Acarreo de Material

El acarreo es la actividad de más incidencia operativa de todo el ciclo productivo de minería a cielo abierto, puesto que es en la que intervienen más equipos que componen flotas para traslado de material estéril o con contenido mineral según sea el caso. (Marinovich, 2016).

En el acarreo, es de especial consideración el estado del camino o vía por la cual circulan los equipos, debido a que el buen o mal estado de conservación que presentan juega un papel crucial en para la operación en conjunto debido a que generalmente depende del buen estado de las Vías de Acarreo (Haul Road) la velocidad de los ciclos de acarreo, considerando que un retraso o una mejora de estos puede traer como consecuencia el cumplimiento o incumplimiento de las metas de producción establecidas de manera diaria, mensual, anual, etc. (Marinovich, 2016).

2.2.3 Vías de Acarreo

Las vías de acarreo son aquellas por donde ocurre toda la circulación del material extraído de la mina en equipos de acarreo especialmente designados para este fin. Por ellas, además de las flotas de acarreo de mineral y desmonte, también circulan equipos auxiliares y vehículos de transporte de supervisión y personal. El correcto cuidado de ellas mantendrá sus condiciones operativas estándar y por ende dará a la operación una mayor productividad (Visser, 2015).

En cada mina en funcionamiento existen vías de acarreo, los cuales son un recurso vital del sistema de producción, tan importante como los camiones y las palas, y pueden ser el mayor activo de las operaciones de minería o su mayor fuente de deudas. El diseño y mantenimiento de las vías de acarreo de las minas tiene un impacto directo en la productividad y la rentabilidad. (Caterpillar, 2017).

Hay 2 tipos de vías de acarreo, las estándar y las subestandar. (Marinovich, 2016).

2.2.3.1 Vía de Acarreo Estándar²

Según el diseño de vías de acarreo sobre el cual se basa la mina Rafael S.A.C., estas deben tener un ancho operativo mínimo de tres veces el ancho del equipo de acarreo más grande sin considerar cunetas y muros para encontrarse en condiciones estándar que permita el libre tránsito de 2 volquetes en simultáneo en sentidos contrarios. Lo mismo ocurre con los muros o

² El proyecto de mejoramiento funcional de vías mineras de acarreo se diseñó en base a la teoría de las Vías de acarreo Estándar, considerando una altura efectiva de berma de 2.70m mínimo y un ancho operativo de 35m aproximadamente, que viene a ser mayor a 3 veces el ancho del camión Komatsu 930E (7.90m), según indica los estándares de las Vías Estándar, ver Foto 5 para mayor detalle.

bermas de seguridad que siempre deben tener la altura mínima de las $\frac{3}{4}$ partes de la altura del neumático del equipo más grande que circula por la vía.

La capa de rodadura de la vía debe permanecer uniforme, sin presencia de deformaciones, empozamientos o cualquier otro elemento que no asegure un tránsito continuo. Las cunetas deben permanecer limpias, libres de material saturado, de tal manera que se logre una buena circulación de las aguas de escorrentía que puedan presentarse en la vía, ver Figura 7, sección típica del proyecto.

2.2.3.2 Vías de acarreo Subestándar

Una vía de acarreo se vuelve subestándar luego de perder sus características de diseño originales o luego de perder su transitabilidad. Esto genera retrasos en el proceso productivo y genera condiciones que, de no ser solucionadas a tiempo, pueden ser causales de un potencial accidente o incidente.

Generalmente, la combinación de precipitaciones sobre las vías de acarreo y un mantenimiento extemporáneo son causa de su deformación y sub estandarización.

a) Vías de acarreo con empozamientos de agua

Los empozamientos de agua en las vías de acarreo son producto de la tracción de los neumáticos de los equipos de acarreo sobre el terreno, que deja huellas que se van haciendo cada vez más pronunciadas sobre la capa de rodadura de la vía en época de lluvia. Son producto también de un mal lastrado con material no adecuado, el cual se satura al entrar en contacto con el agua, y en vez de lograr una vía compactada solo logra tapar un desnivel aparente y momentáneamente.

Son un riesgo potencial para el daño de neumáticos, ya que el operador al no poder apreciar lo que se encuentra por debajo del empozamiento y asumir el riesgo de pasar y seguir con su camino por sobre él, podría encontrarse con una piedra puntiaguda o cualquier otro objeto que cause el daño en neumático.

b) Vías encalaminadas

Son vías cuya capa de rodadura presenta rugosidades con el aspecto de una calamina, las cuales provocan que el desplazamiento del equipo de acarreo sobre la vía sea brusco presente pequeñas variaciones y no conserve una continuidad en cuanto a velocidades.

c) Vías de acarreo con ancho operativo y muros de seguridad subestándar

Son todas las vías que no cumplen con lo requerido en la descripción de vía de acarreo estándar. El ancho operativo puede reducirse por la acumulación de rebaba originada por las precipitaciones y el tránsito continuo, o también por deslizamientos y/o desprendimientos de material de los taludes cercanos a las vías. Los muros de seguridad pueden reducirse producto de las precipitaciones, al estar conformados por material inadecuado. Una mala supervisión en el control de los anchos operativos y de los muros de seguridad sin altura estándar puede provocar incidentes y accidentes desde rozaduras hasta volquetes que caen de un nivel a otro.

d) Vías resbalosas

Este tipo de vías subestándar son generadas por las precipitaciones propias del clima severo inherente a la ubicación geográfica de las operaciones. Al caer una llovizna sobre la vía, las partículas de agua entran en contacto con el polvo presente en ellas formando una película que dificulta la tracción en los neumáticos de los equipos, haciéndolos patinar o resbalar.

Generalmente se requiere la acción de cisternas de agua o motoniveladoras para eliminar esta condición de las vías.

2.2.3.3 Tipo de Vías según Sección

a) Vía de acarreo con sección “Lomo de Corvina” o Crown

Esta vía posee en su sección efectivamente un lomo en el medio de la misma, produciendo el efecto de caída del agua de lluvia hacia ambos lados, debiendo existir por lo tanto dos cunetas, una a cada lado de la vía. Este tipo de sección es común en las minas que utilizan equipo gigante para el acarreo de material, (Marinovich, 2016). Ver Figura 7.

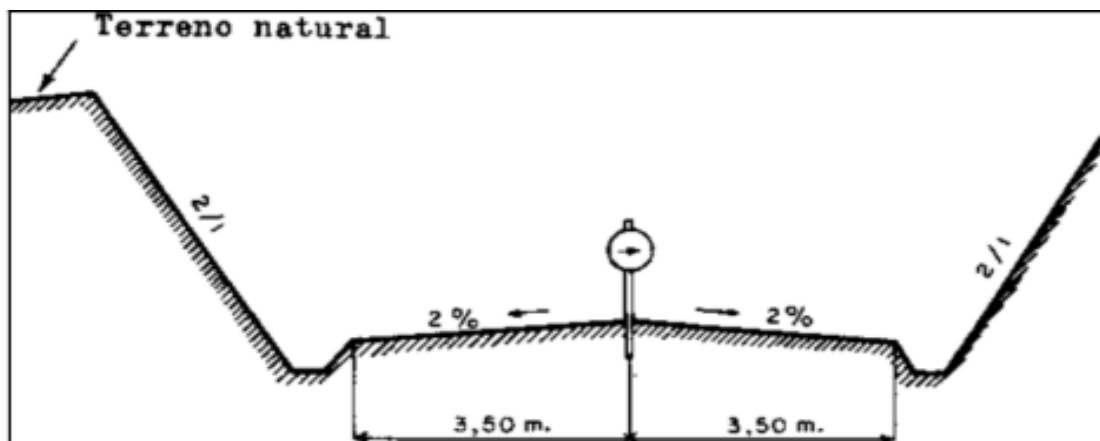


Figura 7: Sección Transversal de la Vía de acarreo con sección “Lomo de Corvina” o Crown

b) Vía de acarreo con sección pendiente a un lado o “Súper”

Este de sección transversal en la vía es la más común y cuenta con solo una cuneta ya sea al lado derecho o izquierdo según el diseño geométrico de Ingeniería Civil basado en el derrape de los camiones durante época de lluvias (Marinovich, 2016). Ver Figura 8.



Figura 8: Sección Transversal de la Vía de acarreo pendiente a un lado
o Súper

c) Vía de acarreo con sección doble vía o con berma intermedia

Su uso está dado para vías de acarreo en doble sentido con ancho operativo al límite para 2 camiones. La berma intermedia se utiliza como un control de seguridad debido a que ayudará a que no exista invasión de un carril a otro y de esta forma evitar accidentes, utilizándose especialmente en curva (Marinovich, 2016).

2.2.4 Mantenimiento de Vías

El mantenimiento de vías está referido al conjunto de acciones orientadas a mantener la transitabilidad, el diseño estándar y a la eliminación de condiciones subestándar de las mismas, de manera tal que cumplan con la función para la que fueron diseñadas. Dentro del mantenimiento de vías está incluida la ejecución de tareas como las que se describen a continuación (Marinovich, 2016).

- El corte de la vía y eliminación del material excedente, será a una profundidad de 0.90 m de la actual superficie de rodadura, con un diseño de bombeo para el drenaje del 5%.

- Se realiza la nivelación y compactación de la subrasante, verificando siempre el bombeo del 5% para el drenaje del agua a causa de las precipitaciones.
- Se realiza los controles de calidad al terreno, a fin de estudiar la capacidad portante de la subrasante y certificar una óptima compactación, para ello se harán ensayos de densidad en campo y prueba de humedad con Speedy, con un resultado superior al 95% de compactación y una humedad de 6 a 8% respectivamente, evaluado con el ensayo del Speedy.
- La conformación de un sistema de Drenaje: (Ver Figura 9 y Figura 10)

Para el drenaje, se conformó una la cuneta al pie de la berma de sección triangular, con un ancho de 1.50m y profundidad de 0.50m, con una pendiente longitudinal de diseño mayor a 1.5%, adicionalmente se conformaron estructuras Dren Francés, perpendicular a la vía, al pie de cada ventana relleno con bolonería entre 10 a 20 pulg de diámetro, garantizando el drenaje de las precipitaciones filtradas en el terreno. Se realizaron pozas al pie de cada ventana, para almacenar el lodo escurrido por las cunetas, estas pozas serán limpiadas con una excavadora sobre orugas y volquetes de 15m³ de capacidad.

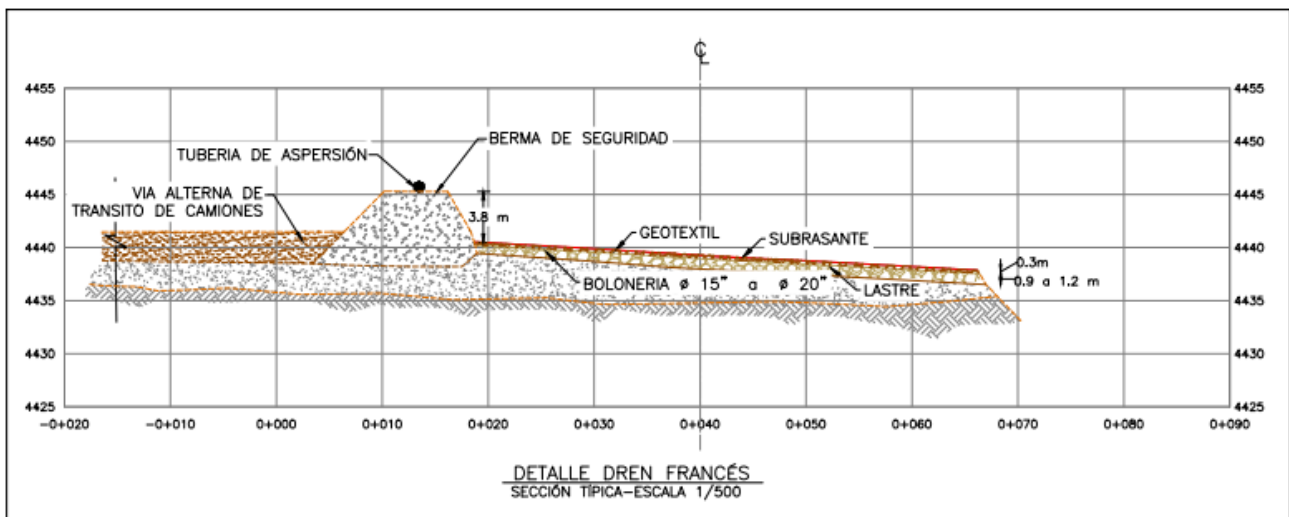


Figura 9: Detalle longitudinal del dren francés

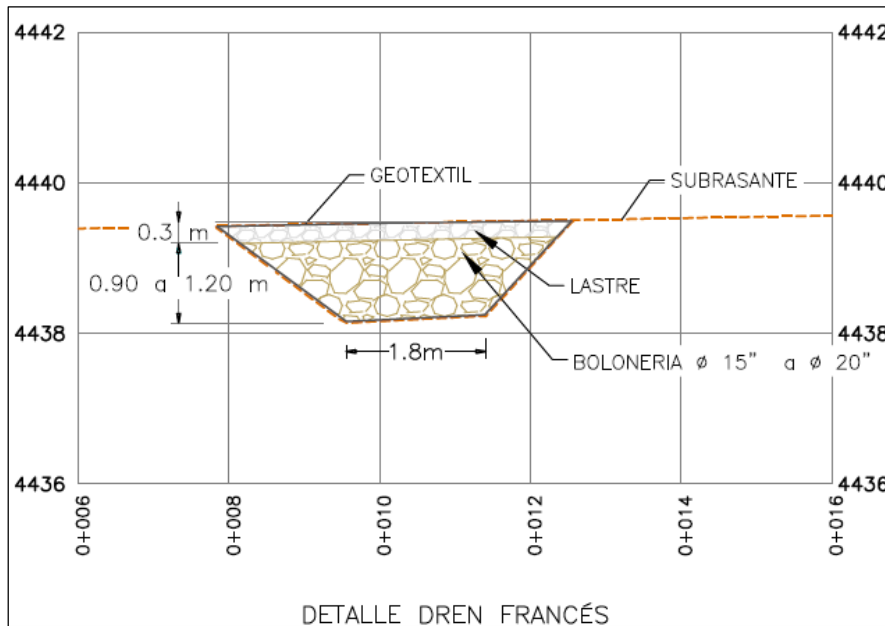


Figura 10: Detalle transversal del dren francés

- En los meses de precipitaciones altas, en épocas de construcción de la vía, realizar el tendido del material por tramos cortos y sellarlo con el rodillo compactador de 20 Tn, antes de dar inicio a un nuevo tramo, así evitamos que las precipitaciones puedan saturar al material suelto, de otra forma, incrementar la cantidad de rodillos, para una compactación óptima, respetando entre ellos el radio de trabajo.
- Se realiza el mantenimiento de la vía con Motoniveladora, para afinar y mantener la pendiente de diseño, por la precisión de la maquinaria y realizarlos durante el día, para aprovechar la luz natural, debido a que en la noche los operadores no tienen la misma precisión con la hoja de la maquinaria.
- El número de ventanas conformadas de la vía al drenaje, es de 80 a 100 m de separación entre ellas, para disminuir el recorrido del lodo generado por las precipitaciones.

En la Figura 11 se muestra a detalle las dimensiones a tener en cuenta para la ejecución de la vía, cabe resaltar que la berma de seguridad tiene 2.7m, altura mínima de acuerdo a la altura de los neumáticos de los camiones.

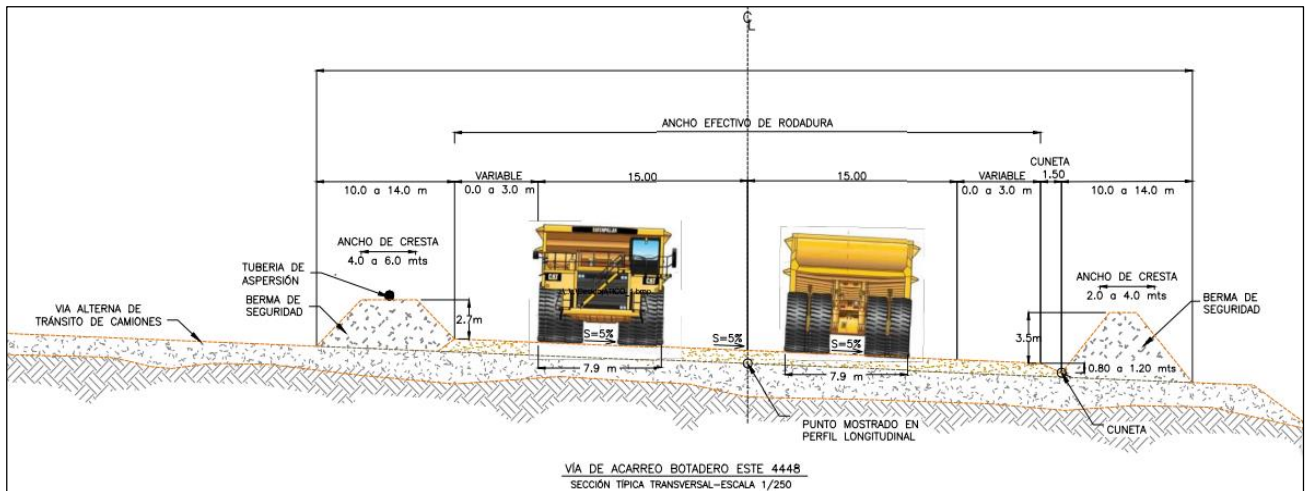


Figura 11: Diseño de sección transversal de la estructura del proyecto de mejoramiento funcional.

2.2.5 Pendiente transversal de las vías de acarreo minero

Pankaj, *et al* (2016), menciona que la pendiente transversal es la diferencia de elevación entre los bordes de la carretera, debe tenerse en cuenta durante el transporte diseño y construcción de carreteras. Desde el punto de vista de reducir el esfuerzo de dirección del conductor, una superficie nivelada sería más beneficiosa. El drenaje adecuado, sin embargo, requiere que se realice una pendiente transversal. Para acomodar tanto el drenaje como la capacidad de dirección, el equilibrio debe establecerse entre un nivel y una configuración inclinada. Debe determinarse la velocidad de la pendiente transversal que permitirá una eliminación rápida de las aguas superficiales sin afectar negativamente al control vehicular.

La pendiente de inclinación transversal recomendada para superficies normalmente construidas en caminos de acarreo de minas de tajo abierto con precipitaciones altas y de superficie rugosa es de 5%. (Pankaj, *et al* p, 231).

2.2.6 Estudios de mecánica de suelos

Estos ensayos son necesarios para caracterizar e identificar el material granular empleado, así como determinar si las mezclas están resultando mejoras

a. Ensayo de granulometría (ASTM D422, ASTM D1140)

Se realizará ensayos de granulometría tanto en el material del terreno natural o subrasante, así como en el material de las canteras que será utilizado como base o subbase. De acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) del MTC 13, se debe cumplir con una granulometría específica para que el agregado sea considerado aceptable (MTC, 2000).

Para evaluar una buena gradación, se evalúa la evolución por cada tipo de dosificación mediante el Método Global. Pues este método consiste en optimizar sistemáticamente la proporción de agregado fino y grueso como un sólo material (agregado global), dirigido a: Controlar la trabajabilidad de la mezcla y obtener la máxima compacidad de la combinación de agregados mediante ensayos de laboratorio. Por ello mediante una mezcla de los 4 materiales dispuesto a diferentes proporciones se buscará una mezcla que cumpla con las características adecuadas, evaluadas mediante estado Funcional, Estructural y Superficial a la vía a ejecutarse.

La composición final de la mezcla de agregados presentará una granulometría continua y bien graduada (sin inflexiones notables) según una fórmula de trabajo de dosificación

aprobada por el Supervisor y según uno de los requisitos granulométricos que se indican en la Tabla 305-1 del MTC 13. Para las zonas con altitud de 3000 msnm se deberá seleccionar la gradación "A" (MTC, 2000), Ver Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos granulométricos para base granular

Tamiz	Gradación A
50 mm (2")	100
25 mm (1")	---
9.5 mm (3/8")	30-65
4.75 mm (N°4)	25-55
2.0 mm (N°10)	15-40
4.25 um (N°40)	8-20
75 um (N°200)	2-8

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000).

La finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos para ser utilizados en bases o subbases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis (MTC, 2000).

Para obtener los husos adecuados para regular una mezcla bien graduada para la presente investigación, se realizó una consolidación a partir de los husos regulados por el MTC para base granular, adicionalmente el huso generado por evaluación técnica del equipo del Laboratorio de Suelos de la Mina Rafael S.A.C., aprobado por el Ing. Jaime Casafranca, ver Tabla 2.

Tabla 2. Requerimientos granulométricos para base granular

Tamiz		Mín.	Máx.
-	mm	(%)	(%)
4"	100	100	100
3"	75	80	100
2"	50	70	90
1"	25.4	50	70
3/4"	19	35	55
No 4	4.75	20	40
No 10	2.00	5	25
No 200	0.075	0	5

Fuente: Mina Rafael S.A.C

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente.

El procedimiento para realizar el ensayo de granulometría se describe a continuación (UAC. 2008):

- Se seca la muestra a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$), hasta obtener masa constante, con una aproximación de 0.1% de la masa seca original de la muestra.
- Se selecciona un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por las especificaciones del material que se va a ensayar. Se encajan los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura y se coloca la muestra (o porción de muestra si el material se va a tamizar por porciones) sobre el tamiz superior. Se agitan los tamices mano o por medio de la tamizadora mecánica, durante un período adecuado.
- La cantidad de material en un tamiz dado se debe limitar de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación de tamizado.

La masa retenida en tamices con aberturas menores de 4.75 mm (No.4), cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 Kg/m² de superficie de tamizado. Para tamices con aberturas de 4.75 mm (No.4) y mayores, la cantidad retenida, en kg, no deberá exceder el producto de 2.5 x (abertura del tamiz, mm x área efectiva de tamizado, m²).

- Se continúa el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 0.5% de la masa de la muestra total por ningún tamiz, durante un (1) minuto de tamizado continuo a mano.
- Se determina la masa de la muestra retenida en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido. La masa total del material después del tamizado debe ser muy próxima a la masa de la muestra original colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más de 0.3% de la masa original de la muestra seca, los resultados no podrán ser utilizados para fines de aceptación.
- Se calculan los siguientes porcentajes: a) el porcentaje que pasa, b) el porcentaje total retenido, o c) el porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, con una aproximación de 0.1%, con base en la masa total de la muestra inicial seca.

Para la mina Rafael SAC. el diseño de husos granulométricos estandariza una buena gradación a partir de obtener una curva granulométrica dentro del rango establecido, realizando mezclas de materiales hasta obtener la dosificación con gradación óptima, de esta manera, es nuestro primer criterio de evaluación para cada mezcla hasta llegar a la óptima.

b. Diseño de investigación para densidades máximas con Curva de potencia 0.45

La curva de potencia 0.45 es una representación gráfica del tamaño del tamiz frente al porcentaje de agregado pasando ese tamaño. Sin embargo, el tamaño del tamiz se eleva a la potencia de 0.45 (Roberts et al., 1996). Ver Figura 12.

Esta curva es conveniente para determinar la línea de densidad máxima y ajustar la gradación estimada.

Este gráfico es ligeramente diferente de otros gráficos de gradación porque usa el tamaño del tamiz elevado a la enésima potencia (usualmente 0.45) como las unidades del eje x. Por lo tanto, un diagrama de la ecuación de densidad máxima de Fuller y Thompson con $n = 0.45$ aparece como una línea diagonal recta. Esta línea recta va de cero al tamaño agregado máximo para la gradación considerada. Existe cierto debate acerca de si esta línea debe terminar en el tamaño agregado máximo o en el tamaño agregado total nominal o en algún punto intermedio, sin embargo, la práctica más comúnmente aceptada es terminar con el tamaño agregado máximo (Roberts et al., 1996).

La distribución del tamaño de partícula, o gradación, de un agregado es una de las características agregadas más influyentes, puesto que ayuda a determinar casi todas las propiedades, rigidez, estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia a la fricción y susceptibilidad a la humedad (Goetz y Wood, 1996.). La gradación ayuda a determinar la durabilidad, la porosidad, la trabajabilidad, los requisitos de agua, la resistencia y contracción. Debido a esto, la gradación es una preocupación principal en el diseño de mezclas (Roberts et al., 1996).

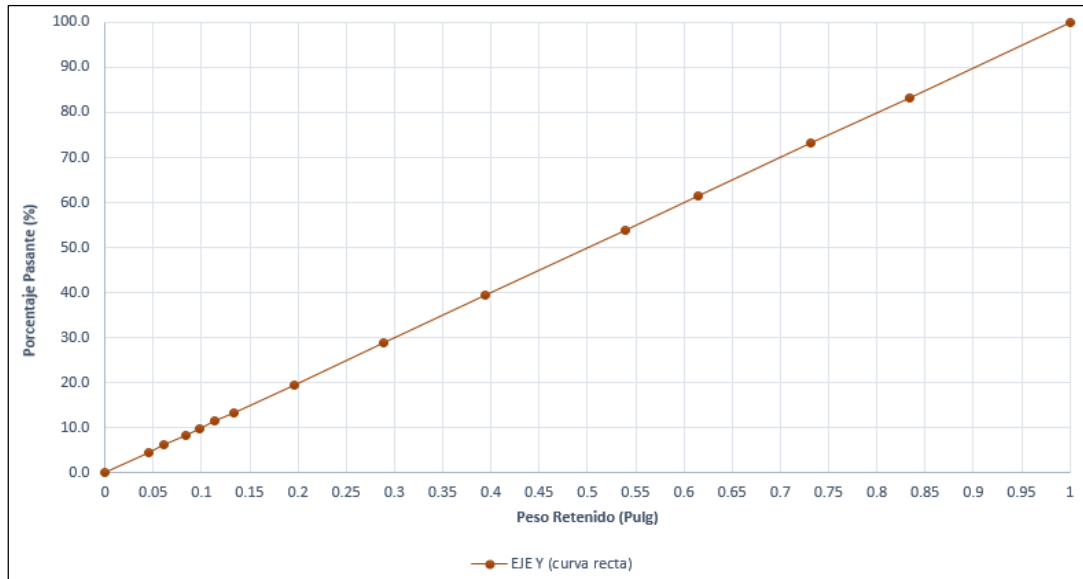


Figura 12. Curvas de densidad máxima para el gráfico de gradación de potencia de 0.45.

La fórmula que proporciona la densidad máxima o la cantidad mínima de vacíos (curva recta) es:

$$P_i = 100 * \left(\frac{d_i}{D}\right)^n$$

Donde:

- P_i : Porcentaje pasante del tamaño de un tamiz d_i .
- d_i : El tamaño de tamiz en evaluación
- D : Máximo tamaño del agregado

Fórmula para evaluar la distribución de tamaño de cada muestra es la siguiente:

$$P = 100 - \left(b * \frac{100}{total}\right)$$

Donde:

- P : Resultado final de curva de potencia por cada muestra.
- b : Peso retenido acumulado.
- $total$: Total del peso retenido en gramos.

Para la mina Rafael SAC., la gráfica de curva de potencia 0.45, ayudará a implementar una densidad máxima del suelo, a partir de evaluar las dosificaciones de mezcla, a fin de obtener un mejor comportamiento estructural en la capa de rodadura, cabe resaltar que a mayor densidad máxima, el suelo se consolida mejor, disminuyendo la cantidad de espacios vacíos, evitando asentamientos o huecos por el paso de los camiones en épocas de precipitaciones altas, de esta manera será nuestro segundo criterio y/o evaluación a cada mezcla hasta llegar a la óptima.

c. Límites de Atterberg (ASTM D4318)

Permite conocer las propiedades del material tales como su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad en el caso de suelos cohesivos.

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS).

Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla #40 (0.42 mm). Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte fina del suelo (< malla #200), sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

El procedimiento para realizar el ensayo de límite de Atterberg es (Cedeño, 2013):

- Se utiliza únicamente la parte del suelo que pasa por la malla # 40 (0.42 mm). Se procede a agregar o retirar agua según sea necesario y revolver la muestra hasta obtener

una pasta semi-líquida homogénea en términos de humedad. Para los limos y suelos arenosos con poco contenido de arcilla el ensayo se podrá realizar inmediatamente después de agregar agua. Para los limos arcillosos será necesario conservar la pasta aproximadamente 4 horas en un recipiente cubierto. Para las arcillas este tiempo deberá aumentarse a 15 o más horas para asegurar una humedad uniforme de la muestra.

- El límite líquido se determina sabiendo que el suelo remoldeado a $w = w_L$ tiene una pequeña resistencia al corte (aprox. 0.02 kg/cm^2) de tal modo que la muestra de suelo remoldeado necesita de 25 golpes para cerrar en $\frac{1}{2}$ pulgada dos secciones de una pasta de suelo de dimensiones especificadas más adelante.
- Se deberá iniciar el ensayo preparando una pasta de suelo en la cápsula de porcelana con una humedad ligeramente superior al límite líquido.
- Desmontar y secar la cápsula de la máquina de Casagrande, asegurándose que ella se encuentre perfectamente limpia y seca antes de iniciar el procedimiento
- Montar la cápsula en su posición para el ensayo
- Colocar entre 50 y 70 g de suelo húmedo en la cápsula, alisando la superficie a una altura de 1 cm con la espátula, cuidando de no dejar burbujas de aire en la masa de suelo
- Usando el acanalador separar el suelo en dos mitades según el eje de simetría de la cápsula; para una arcilla, el surco se puede hacer de una vez; los limos pueden exigir 2 o 3 pasadas suaves antes de completarlo, siendo este procedimiento aún más complejo cuando se trata de suelos orgánicos con raicillas
- Girar la manivela de manera uniforme a una velocidad de dos revoluciones/seg; continuar hasta que el surco se cierre en $\frac{1}{2}$ " de longitud; anotar el número de golpes, cuando éste sea inferior a 40
- Revolver el suelo en la cápsula de Casagrande con la espátula

- Tomar una muestra de aproximadamente 5 g de suelo en la zona donde se cerró el surco y pesarla de inmediato para obtener su contenido de humedad, lo que permitirá obtener un punto en el gráfico semi-logarítmico de humedad v/s número de golpes que se describe más adelante
- Vaciar el suelo de la cápsula de Casagrande a la de porcelana (que todavía contiene la mezcla de suelo inicial), continuar revolviendo el suelo con la espátula (durante el cual el suelo pierde humedad) y en seguida repetir hasta llegar a un número de golpes de 15 a 20.

d. Colapsabilidad Criterio de GIBBS

Cualquiera sea el tipo de estructura de suelo que se esté considerando, siempre es posible hablar de vínculos o fuerzas que unen o ligan una partícula a otra (consolidación). En unos casos, las partículas están en contacto directo entre sí (partícula-partícula) unidas por fuerzas externas o capilares, y en otros casos estas fuerzas o vínculos pueden tener carácter fisicoquímico o eléctrico, incluso no existir contacto directo entre las partículas (Hermosilla y Cárdenas, 2012).

Si la estructura del suelo se encuentra en estado de equilibrio, y un agente externo provoca una disminución o anulación de las fuerzas que vinculan unas partículas con otras, puede suceder que el suelo pase a un nuevo estado de equilibrio. Este proceso entre dos estados de equilibrio puede provocar o no, un cambio de la estructura del suelo, dependiendo de: La magnitud de los cambios provocados en los vínculos y/o fuerzas por el agente externo y el estado tensional existente en los vínculos (Hermosilla y Cárdenas, 2012).

Si los cambios provocados por el agente externo en las características de los vínculos, no son suficientes como para movilizar un cambio de estructura, ésta permanecerá inalterada. Sin embargo, la condición de equilibrio puede haber variado, dado que de alguna forma el agente ha “sensibilizado” al suelo. En cambio, si el estado tensional en los contactos es superior a la resistencia que tienen éstos durante el proceso, las partículas cambiarán de posición, produciendo un cambio de estructura y pasando a un nuevo estado de equilibrio que puede derivar muchas veces en el colapso del suelo (Hermosilla y Cárdenas, 2012).

Par medir la colapsabilidad se utiliza el criterio de Gibbs, un método cualitativo basado en una gráfica de límite líquido contra densidad natural seca y contiene una curva límite de colapsabilidad. La zona “colapsable” comprende de los suelos de baja densidad natural, indica que la humedad de saturación es superior a la humedad en el límite líquido, lo cual produce una disminución de la plasticidad y un mayor asentamiento. En la zona “no colapsable” los suelos son de alta densidad natural y la humedad de saturación es menor o igual a la humedad en el límite líquido en suelos, en estado plástico y manteniendo así su resistencia al deslizamiento (Clemente y Fibarr, 1981).

Fórmula para el uso del criterio de gibbs:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL}$$

Donde:

- *Yd: Densidad Seca*
- *LL: Límite líquido*

Definen como colapso a cualquier disminución rápida de volumen del suelo, producida por el aumento de cualquiera de los siguientes factores:

- Contenido de humedad (w)
- Grado de saturación (S_r)
- Tensión media actuante (T)
- Tensión de corte (σ)
- Presión de poros (u)

Reconociendo por lo tanto que el colapso de la estructura del suelo puede producirse por una variedad de procesos diferentes de la saturación. (Zur y Wiseman: (1973)

Establecida la definición general de colapso, nuestro análisis se centrara en aquellos suelos en los cuales el colapso de la estructura de suelos es provocado por un incremento del contenido de humedad. Por lo tanto, en lo sucesivo cuando se hable de suelos colapsables, se entenderá que son aquellos suelos, en que un aumento de contenido de humedad, provoca una brusca disminución de volumen, sin la necesidad de un aumento en la presión aplicada.

A partir de esta definición, se advierte:

- Por un lado, una destrucción o un cambio en la estructura que el suelo tenia originalmente
- Por otro lado, un agente externo: el agua, que provoca este fenómeno.

En la mecánica de suelos, clásica de los suelos saturados o de los suelos secos el fenómeno de colapso generalmente viene asociado a un cambio en el estado tensional del suelo. En cambio,

aquí, y en una primera definición, estaría provocado por un agente externo (cambio en el contenido de humedad).

En el proceso de consolidación de suelos saturados (teoría clásica de Terzaghi) también se produce una disminución de volumen, pero puede decirse que en muchos aspectos el colapso es lo contrario de la consolidación. (Reginatto 1977).

Para la mina Rafael SAC. evaluar la colapsabilidad del terreno es un aspecto fundamental, por las precipitaciones altas en época de invierno y la carga generada por los camiones mineros que transitan por la zona, generan asentamientos y deslizamientos de las partículas livianas (limos, arcillas), es por ello que esta teoría, evalúa cualitativamente la colapsabilidad o no colapsabilidad del material, a partir del LL del material, considerándolo como nuestro tercer criterio y/o evaluación a cada mezcla hasta llegar a la óptima.

e. Ensayo de compactación Proctor modificado (ASTM D 1557 78) (Método C)

Se realiza el ensayo Proctor modificado por el método C, que aplica 56 golpes por capa de suelo (5 capas) a una muestra dentro de un molde de tamaño estándar. El objetivo del ensayo es determinar la máxima densidad seca a la que puede llegar el material y el contenido de humedad óptimo que permita aquella condición. Este ensayo se encuentra normado en la Norma MTC E 115.

Los ensayos de Compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

f. Ensayo de valor de soporte de California CBR (MTC 132-2000)

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método que sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos (MTC, 2000).

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado (MTC, 2000).

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento (MTC, 2000).

La muestra se sumerge para poder preveer la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por ello, después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, se lo penetra con un pistón el cual está conectado a un pequeño "plotter" que genera una gráfica donde se representa la carga respecto la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra (MTC, 2000).

La gráfica obtenida por lo general es una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo; cuando el tramo inicial no es recto se le corrige (MTC, 2000).

Con la gráfica observamos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento (%), tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados (MTC, 2000)

g. Ensayo de Densidad con cono de Arena de Ottawa (MTC E 117-2000)

Este método es muy difundido para determinar la densidad de suelos compactados utilizados en la construcción de terraplenes de tierra, rellenos de carreteras y estructuras de relleno. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por método de ensayo normado. Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar. El uso de este método está limitado generalmente a suelos en una condición de no saturados. Este método no es recomendado para suelos que sean suaves o desmenuzables, o estén en una condición de humedad tal que el agua filtre al hoyo excavado. La precisión de este ensayo puede ser afectada por suelos que se deforman fácilmente o que sufran cambios volumétricos (MTC E 117-2000).

h. Ensayo de Abrasión Los Ángeles

Es una prueba que se aplica para averiguar la calidad global estructural del agregado grueso. Este método establece el procedimiento a seguir para determinar el desgaste, por abrasión, del agregado grueso, menor de 1½” (38 mm), utilizando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento para determinar el desgaste por abrasión de agregado grueso mayor a ¾“(19 mm) (MTC, 2016).

Este ensayo es una medida de la degradación de un agregado mineral de graduación estándar, resultado de una combinación de acciones incluyendo la abrasión o desgaste, impacto y trituración en un tambor de acero rotatorio que, con el un número específico de esferas de acero, dependiendo en número de la granulometría de la muestra de ensayo. Al girar el tambor, el plato de la repisa recoge el espécimen de ensayo y las esferas de acero, cargándolas alrededor hasta que son lanzadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y triturado. El contenido entonces gira dentro del tambor en una acción de desgaste y molienda, hasta que la placa de la repisa recoge el espécimen y las esferas y el ciclo se repite. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido se remueve del tambor y la porción de agregado se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida. Para este ensayo es requerido el ensayo de Análisis Granulométrico ASTM C 136 (MTC, 2016).

i. Ensayo del Speedy in Situ_Humedad óptima

Este ensayo es para determinar el contenido de humedad de suelos, arena y agregados finos en el campo. Es un método fácil y portátil. La cantidad de gas, que está producido cuando el agua y calcio de carburo están mezclados, reaccionan y es directamente proporcional a la cantidad de agua presente en la muestra y los resultados del porcentaje de humedad están tomados de un manómetro de presión. Es usado para la determinación de humedad de un espécimen de 20 g con un contenido máximo de humedad de 20% (UCV, 2012).

2.2.5.3 Estudios hidrológicos

La mina Rafael S.A.C., tiene como propiedad, estaciones metereológicas ubicadas en puntos estratégicos en toda la mina, de tal manera que pueda lecturar las precipitaciones acumuladas por día, para esta investigación se usó la data de la estación metereológica ubicada en el Botadero Este, lugar cercano al proyecto (ver Anexo III, se adjunta el cuadro a detalle

con las precipitaciones acumuladas durante los años 2013 al 2016), para ello se usa y procesa la información leída con el software Weatherlink³, esta data se utilizó para evaluar los días de tránsito en épocas de precipitaciones altas.

2.2.7. Evaluación de las vías mineras

2.2.7.1. Evaluación funcional

A) Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El índice de regularidad internacional (IRI) (en inglés International Roughness Index) es un parámetro que se utiliza en pavimentos, para determinar su regularidad y la comodidad en la conducción. Aunque la transcripción exacta del término roughness es "rugosidad", se ha adoptado "regularidad" como un calificativo más adecuado a la hora de definir el IRI.

La norma de ensayo ASTM E 867-06,1 define el concepto de Roughness como: "Desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal." (ASTM). La norma que hace referencia a la naturaleza y medición del IRI es la NLT-330/98.

Para el cálculo del valor del IRI, en grandes líneas, se procede en dos pasos: Inicialmente se miden las cotas del terreno, lo que nos permite elaborar un perfil longitudinal de la carretera. Los datos de este perfil se someten a un primer filtro, que mediante adecuaciones matemáticas (media móvil), genera un nuevo perfil corregido. A este perfil

³ Software Weatherlink es un programa que le permite conectarse al Davis Vantage Pro (Estación Meteorológica) y a su computadora personal, de tal forma que se pueda almacenar datos, verlos, graficarlos, analizarlos, exportarlos e imprimir los datos que se requiera.

corregido se le aplica un segundo filtro, consistente en la aplicación del modelo de cuarto de coche desarrollado anteriormente.

Finalmente, se define el IRI como el sumatorio de distancias medidas, en módulo sobre la horizontal, para la distancia considerada. En módulo quiere decir que computan tanto los aumentos como disminuciones de cota sobre la horizontal → al fin y al cabo ambos desplazamientos suponen una variación en la vertical de la masa suspendida. (WIKIPEDIA)

En definitiva, hemos llegado a la conclusión de que el IRI no es más que el valor del movimiento vertical acumulado del asiento del conductor del vehículo a lo largo de una distancia dada. Resulta, por ello, instintivo, pensar que, a mayor irregularidad en el firme, los desplazamientos verticales sobre la horizontal teórica, y, consecuentemente, el valor del IRI, serán mayores → el valor del IRI será mejor cuanto más nos acerquemos a la superficie plana teórica, teniendo en cuenta que este concepto es utópico, ya que se necesita un mínimo de rugosidad para garantizar la adherencia rueda-pavimento.

B) Dispatch

Modular Mining Systems, Inc. (2016), refiere que el Sistema de Información para Monitoreo de neumáticos del área de despacho (DISPATCH), es una solución en la gestión de las minas, disponible para minas a tajo abierto, permite implementar estrategias de producción específicas, utilizando una amplia gama de herramientas de minería. Al utilizar el hardware de última tecnología para uso en terreno, además de software de comunicaciones, el sistema DISPATCH genera mayor productividad y eficiencia por medio de una optimización probada en el campo mismo de la industria minera.

Las funciones avanzadas incluyen posicionamiento del equipo por GPS, monitoreo del estado del equipamiento, monitoreo del mantenimiento, gestión de mezclas y obtención de informes de producción. El sistema DISPATCH es considerado como el estándar de la industria para sistemas de gestión de flotas.

El área de Dispatch cumple las siguientes funciones:

a. Informes de Producción en tiempo real

Elaborar análisis de desempeño habituales o ad-hoc en un formato amigable basado en la web. Los informes se pueden convertir a PDF y se puede programar su entrega automática.

b. Alineamiento de los equipos de trabajo

Asigna, en forma automática, personal a los equipos, antes del comienzo del turno y se asegura de que cada equipo haya sido asignado a un operador calificado y adecuado. Recaba información desde distintos registros (Turnos, calificación de los equipos, fin de turno) ante de que se definan las asignaciones.

c. Gestión de Servicio de Combustible

Aumento de la eficiencia general del carguío al minimizar los episodios de relleno de combustible. La gestión de combustible se mejora al ubicar los camiones en la estaciones de combustible sólo en los momentos y en los niveles de combustible óptimos.

d. Análisis de Cargas

Captura de la información en tiempo real desde los sensores y desde los sistemas de carga de terceros, en los cargadores, en las palas y en los camiones.

e. Detección de Proximidad

Mejora la visión situacional de los operadores de los equipos con la ayuda del Módulo de Detección de Proximidad, que despliega advertencias visuales y sonoras de peligros provenientes de otros equipos habilitados o fijos que se encuentran en el área. La detección de proximidad basada en distancia es especialmente beneficiosa en aquellas áreas en donde se produce mayor congestión, tales como frentes de carguío y botaderos.

f. Equipos auxiliares

Monitorear el status de cada uno de los equipos auxiliares, priorizar las tareas y asignarles, en forma remota a los operadores. Monitorear el desempeño del mantenimiento, la operación del plan y los requerimientos de la flota, además de identificar las áreas con problemas para así mejorar la productividad.

g. Mezcla

Control de la mezcla de mineral en los chancadores y en los stockpiles, en conjunto con los algoritmos de despacho de los camiones, para maximizar la productividad y así lograr las metas de calidad del material.

h. Gestión de Neumáticos

Detectar, de forma preferente, el sobrecalentamiento de los neumáticos por medio de interfaces directas que envían información a los sistemas de monitoreo en línea de neumáticos. Minimizar los cortes por rocas por medio de un sistema de geo-tagging y de asignación automática de tareas de limpieza.

2.2.7.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

2.2.7.2.1. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO LIVIANO (LWD)

Los Deflectómetros en general son dispositivos dinámicos no destructivos, es una herramienta de prueba usada comúnmente en el campo de los sistemas de pavimentos para medir una capa o un módulo de superficie. Entre los diversos dispositivos de ensayo utilizado para la evaluación no destructiva de capas firmes in-situ, el Deflectómetro (LWD), se ha convertido en el foco de creciente interés por la cual se comenzó a exigir el cumplimiento de prueba de campo del módulo de superficie en capas de pavimento. El peso ligero del Deflectómetro portátil (LWD), se considera en general una herramienta relativamente rápida y económica si se utiliza adecuadamente (Quiñonez, 2015).

La evaluación estructural de pavimentos consiste básicamente en la determinación de la capacidad portante del sistema capa de rodadura-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de intervención, cuando el pavimento, por ejemplo, se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional consecuentemente aumenta la necesidad de su conservación o mantenimiento.

La evaluación estructural no destructiva, permite al Ingeniero Vial disponer de una herramienta racional con buena aproximación de forma rápida, a diferencia de ejecutar calicatas para tomar muestras y ensayarlas en el laboratorio, y posteriormente analizar cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo.

La metodología “no destructiva” se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un tratamiento superficial o alguna capa granular. Estas deflexiones reflejan una respuesta del sistema tratamiento superficial-subrasante o capa granular bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y “no destructiva”, es decir, no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema. Otra característica de la metodología de evaluación no destructiva es que por constituir la “muestra de ensayo” el terreno mismo, ésta representa el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas de materiales y subrasante) y además está “muestra” puede ser ensayada en cualquier momento de su vida sin disturbarla ni destruirla.

La evaluación estructural del pavimento mediante metodología no destructiva se fundamenta en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierra una valiosa información acerca de las características estructurales del tratamiento superficial y su subrasante. Para interpretar esta información en forma cuantitativa, se determinan los parámetros estructurales del sistema. Una vez determinados estos parámetros estructurales, puede usarse como insumo para establecer las necesidades de intervención. Podría decirse entonces que la metodología de evaluación estructural, por métodos no destructivos, es un proceso de cálculo inverso ya que utiliza la respuesta del sistema para establecer sus características estructurales, lo cual es generalmente opuesto a un proceso de diseño.

La deflexión es la medida de deformación elástica que experimenta un pavimento al paso de una carga y es función no solo del tipo y estado del pavimento, sino también del método y equipo de medida (Olarte, 2015). En el ensayo no solo se desplaza el punto bajo la carga, sino también un sector alrededor de ella, causando un conjunto de deflexiones, el cual se denomina cuenco o deformada.

El módulo resiliente también es una forma viable de verificar el estado del suelo, tratamiento superficial o capa granular. Puesto que cuando realizamos un diseño estructural de una vía, se procede a realizar ensayos de laboratorio los cuales nos dan como respuesta el módulo resiliente de cada capa y estos al ser comparados con los obtenidos con el ensayo de deflectometría podemos identificar el estado actual de la capa.

Los equipos que trabajan con el sistema de medida de deflexión y modulo bajo carga por impacto envían una fuerza de impacto transitoria al suelo; una masa es levantada a determinada altura y luego soltada sobre una placa circular amortiguadora en el terreno. Una fuerza de impulso transitoria se genera a causa de la caída de la masa, para este caso, la carga aplicada fue de 10 kN. Los desplazamientos verticales producidos en el terreno a causa del impacto, son detectados por el sensor situado al medio de la placa circular, además el modulo es hallado a través de este ensayo.

Se aplicó una carga dinámica y los módulos y deflexiones producidas fueron medidas por medio de un sensor ubicado al medio del plato de diámetro 0.30 m y registradas automáticamente en un dispositivo móvil el cual es sostenido por el operador. Para llevar a cabo las mediciones se tuvo en cuenta lo establecido en las normas: ASTM D 4694-96 (2003), ASTM D 4695-03 y ASTM D 5858-96 (2003), el Manual de Gestión de Carreteras del MTC y el manual de inventarios viales 2014.

Las medidas de deflexión se realizaron entre dos a tres puntos por progresiva establecida y entre ellas una distancia 20 y 40 metros.

A continuación, se presentan algunas ventajas del empleo del deflectómetro de impacto liviano en la medición de deflexiones:

- Tiene la capacidad para modelar con mayor aproximación una rueda en movimiento, tanto en magnitud como en tiempo de aplicación de carga.
- Es un método de evaluación estructural no destructivo del pavimento existente.
- Es un método de evaluación estructural preciso y rápido (alto rendimiento en ejecución de ensayos).
- Permite el retro-cálculo de parámetros de diseño (módulo resiliente de la subrasante, número estructural efectivo y módulo equivalente del pavimento).
- Permite identificar sectores con deficiencia estructural.
- Verificación del cumplimiento de requisitos de recibo de obra.
- Permite aplicación de diferentes valores de carga.
- Durante la construcción de pavimentos permite un adecuado control en la homogeneidad de las diferentes capas de la estructura construida.
- Se evalúan las propiedades del terreno bajo las actuales condiciones de tráfico.

Este equipo "LWD", se conecta de forma inalámbrica a un computador portátil o a uno de bolsillo, al cual transmite en forma instantánea los valores medidos por la celda de carga y el geófono. Con estos valores el software instalado en el computador calcula y muestra inmediatamente el valor de módulo de superficie de la capa evaluada, según la siguiente ecuación.

Dónde:
$$Eo_{LWD} = \frac{f * \sigma * a}{\delta} (1 - \mu^2)$$

Eo_{LWD} : Modulo de Superficie.

f: Distribución de tensión.

a: Presión aplicada.

a: Radio del plato de carga.

8: Deflexion Central.

JI : Valor de Poisson.

- El programa genera y muestra instantáneamente los gráficos históricos de impacto y deflexión de todos los sensores activos.
- Las mediciones obtenidas son transferidas para procesamiento posterior en hoja electrónica o documento de texto. La medición correspondiente a una caída se puede obtener en aproximadamente 40 a 60 segundos. Los parámetros de radio de Poisson y factores de distribución de esfuerzos se pueden definir en la configuración del usuario.

2.2.7.3. Evaluación superficial

2.2.6.3.1 URCI - UNPAVED ROAD CONDITION INDEX (Evaluación de daños en vías no Pavimentadas)

La condición de superficie está relacionada a muchos factores, incluyendo integridad estructural, capacidad estructural, dureza y un rango de deterioración. Estos factores pueden ser calculados mediante la observación y medición de la dificultad sobre la superficie.

A) Evaluación de daños

La condición de los tramos no pavimentados del corredor está determinada por el Índice de Condición de Carreteras No Pavimentadas (URCI-Unpaved Road Condition Index), el cual es un indicador numérico basado en una escala de 0 a 100. Su escala y rangos asociados son mostrados en la Tabla 1 y es similar al Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para carreteras pavimentadas.

Tabla 3. Rangos de clasificación Metodología URCI

Rango	Clasificación - URCI
100-85	Excelente
85-70	Muy Buena
70-55	Buena
55-40	Justa
40-25	Pobre
25-10	Muy Pobre
10-0	Falló

Existen dos métodos de inspección. El primero es un examen rápido hecho desde un vehículo en movimiento; el segundo, envuelve mediciones detalladas de dificultades en unidades de muestra, siendo éste el método utilizado en el presente inventario. Los siete tipos de falla para carreteras no pavimentadas son las siguientes:

- Sección transversal incorrecta
- Drenaje inadecuado en el borde de la carretera
- Corrugaciones
- Polvo
- Baches
- Ahuellamientos
- Agregado suelto

Las descripciones y niveles de severidad para cada tipo de defecto son definidas por el USACE TM 5-626- Unsurfaced Road Maintenance Management.

B) Cálculo del URCI

Se calcula la densidad para cada tipo de defecto (con excepción del defecto-tipo, Exceso de polvo).

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Cantidad de fallas}}{\text{Área de la unidad de muestra}} \times 100\%$$

Se calcula la densidad para una unidad simple de una determinada sección de vía. Es el menor componente de la red. Cada sección esta dividida en unidades simples para la ejecución de las inspecciones de las condiciones de la vía. Para vías no pavimentadas, una unidad simple se define como un tramo de vía con aproximadamente 250 m² (cerca de 50 m de extensión).

Utilizando las curvas de deducción de valores, se buscan los valores deducibles para cada tipo de defecto y el nivel de gravedad, ver Figura 13.

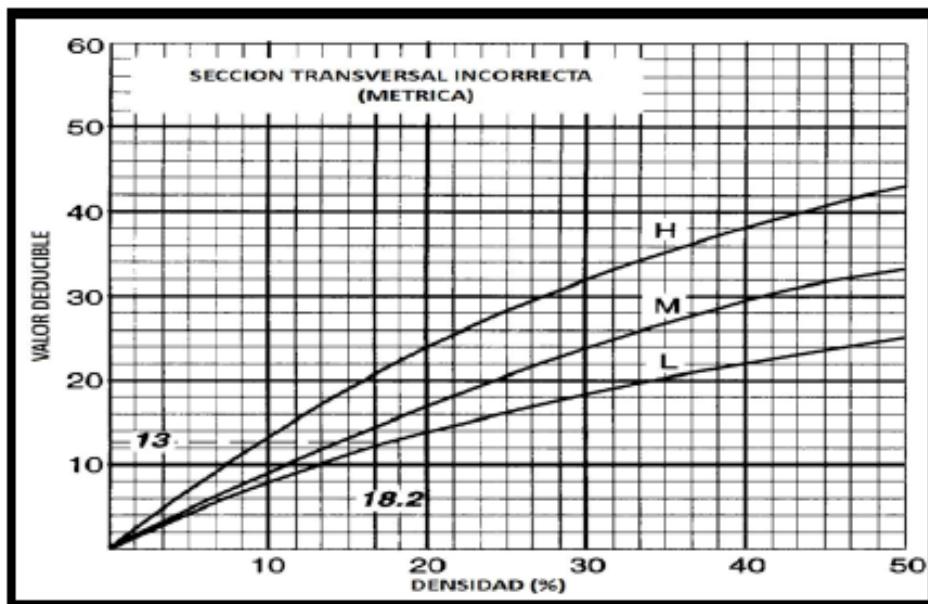


Figura 13. Curva de deducción de valores

Para iniciar esta etapa, encuentre el Valor deducible Final (VDF) y el valor "q". El VDF es la suma de todos los valores deducibles, mientras que "q" es el número de valores individuales de Valores Deducibles que con un valor mayor que 5, ver Figura 14.

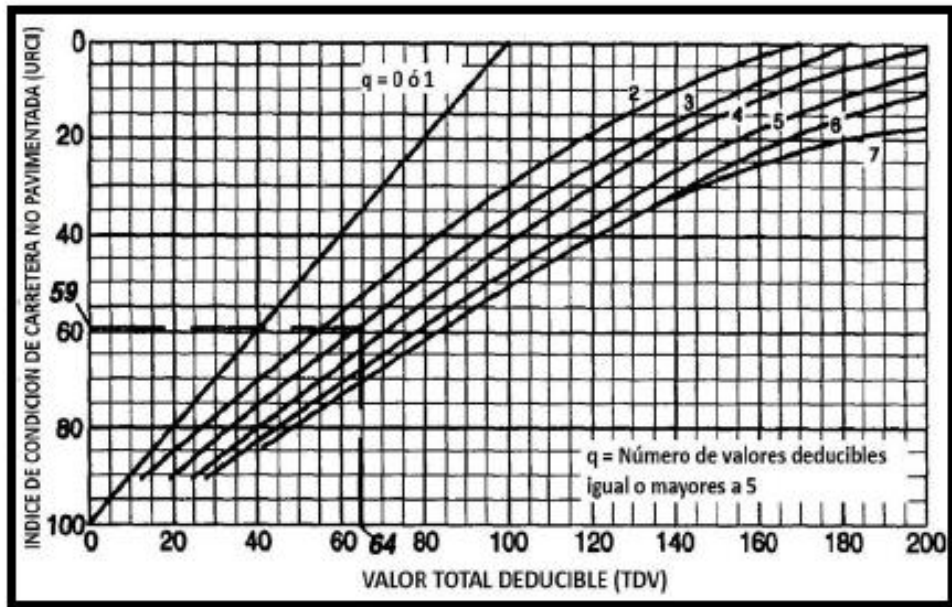


Figura 14. Curva de deducción de valores Finales

C) Nivel de severidad de las fallas

A continuación, en la Tabla 4 se pueden observar los criterios que se deben de considerar para determinar el nivel de severidad de las fallas.

Tabla 4. Niveles de severidad de fallas para URCI

TIPO DE FALLAS	NIVEL B (BAJO)	NIVEL M (MEDIO)	NIVEL A (ALTO)	
1. SECCION TRANSVERSAL INCORRECTA (BOMBEO)	Baja cantidad de pozos de agua	Cantidad moderada de pozos de agua	Cantidad elevada de pozos de agua	
2. ONDULACIONES	Depresiones prof. (<) de 3 cm.	Depresiones prof. de 3-8 cm.	Depresiones prof. (>) de 8 cm.	
3. SURCOS	Surco prof. (<) de 3 cm.	Surco prof. de 3-8 cm.	Surco prof. (>) de 8 cm.	
4. BACHES	Diámetro (<) de 30 cm.	D= 30-60 cm.	D= 60-90 cm.	D (>) de 90 cm.
Altura Max. de 1-5 cm.	B	B	M	M
Altura Max. 5-10 cm.	B	M	A	A
Alt. Max. (>) de 10 cm.	M	A	A	A
5. POLVO	Visibilidad preservada	Visibilidad parcialmente obstruida	Graves Problemas de visibilidad	
6. PERDIDA DE AGREGADOS	(<) a 5 cm.	De 5 a 10 cm.	(>) de 10 cm.	
7. DRENAJE INADECUADO	Vegetación y desechos depositados	Vegetación y piedras más erosiones, depositados	Agua fluyendo hacia la pista o filtraciones de plataforma	

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Métodos y alcance de la investigación

Se utiliza el método experimental descriptivo el cual describe los hechos y fenómenos actuales. Es decir, se va a recopilar, tabular e interpretar la información de una manera imparcial. En la presente investigación se realizarán ensayos de laboratorio de suelos en las diferentes muestras con la aplicación de geomateriales, como lastre, rechazado, morrena y voladura, Con ello se evalúa el que otorgue un correcto comportamiento funcional, estructural y superficial en la sección de control que experimenta vehículos de alto tonelaje.

3.2 Población y muestra

- **Población:** Registro de Dispatch con las velocidades promedio de todos los camiones Komatsu / Caterpillar con carga que transiten por la sección con lastre y sección con la muestra de control.
- **Muestra:** Velocidad promedio de los camiones Komatsu / Caterpillar con carga que transiten por la sección de mejor dosificación adecuada.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de dato se realizó:

- a. Para determinar el mejoramiento funcional con el uso de materiales, se utilizó los 4 geomateriales existentes en la mina Rafael SAC (Lastre, Voladura, Rechazado y Morrena), a los cuales se les hizo un estudio granulométrico, evaluando sus propiedades, posteriormente se realizó la mezcla a estos 4 geomateriales con diferentes

dosificaciones, de manera que podamos obtener la más óptima, apoyados por 3 criterios de evaluación, detallado a continuación:

- **Gradación (Ensayo granulometría):** Ensayo en base al análisis granulométrico por el peso retenido en cada tamiz, se evalúa que la curva obtenida es la óptima cuando ésta se encuentra dentro de los husos de diseño (parámetros), obteniendo un **Suelo bien graduado**.
 - **Densidad (Curva potencia 0.45):** Es una representación gráfica del tamaño del tamiz frente al porcentaje de agregado pasando ese tamaño, sin embargo, el tamaño del tamiz se eleva a la potencia de 0.45, para determinar la línea de densidad máxima y ajustar la gradación estimada, obteniendo un **Suelo con densidad máxima**.
 - **Colapsabilidad (Criterio de Gibbs):** Método cualitativo basado en una gráfica de límite líquido contra densidad natural seca y contiene una curva límite de colapsabilidad. La zona “colapsable” comprende de los suelos de baja densidad natural, indica que la humedad de saturación es superior a la humedad en el límite líquido, lo cual produce una disminución de la plasticidad y un mayor asentamiento. En la zona “no colapsable” los suelos son de alta densidad natural y la humedad de saturación es menor o igual a la humedad en el límite líquido en suelos, en estado plástico y manteniendo así su resistencia al deslizamiento, concluyendo **Suelos Colapsables o No Colapsables**.
- b. Una vez determinada la dosificación óptima del material con el uso de geomateriales a partir de la evaluación de los 3 criterios, se realizaron los siguientes ensayos en el

laboratorio de Geotecnia de la mina Rafael SAC: CBR, Proctor Modificado, Granulometría, Índice de Plasticidad y ensayo de Abrasión los Ángeles. Las pruebas y ensayos fueron registradas en una hoja de excel adjunta, para poder evaluar las mejoras que representa cada tramo.

- c. Ya conociendo la dosificación adecuada, se ejecutó la prueba en campo con dos tramos definidos de similares características, evitando que la evaluación se vea perjudicada por alguna estructura adicional en uno de los dos tramos, se ejecutó el tramo de sección con mejor dosificación bien adecuada y la otra sección de muestra con lastre (material usado actualmente para el mantenimiento correctivo a las vías).
- d. Previo a dar tránsito a los camiones mineros por ambos tramos, se procedió a realizar la verificación de compactación con los ensayos de densidad al material conformado, con la ayuda del cono de arena de Ottawa, evaluando y certificando que se realizó una buena compactación del material, que tenga una buena capacidad portante para que pueda soportar el paso de los camiones mineros.
- e. Una vez puesto las dos secciones a trabajar, se recolectó el tiempo en km/h que demora en transitar los camiones con carga minera por las secciones (Sección lastre y sección de mejor dosificación adecuada), para ello se utilizó como herramienta el registro obtenido por el área de Dispatch de Operaciones Mina con la ayuda de balizas ubicadas en la transición de ambos tramos.

- f. Determinada la velocidad promedio de ambos tramos evaluados, se determinó si la sección con dosificación adecuada contribuye o no en la productividad de la mina Rafael SAC.

3.4. Instrumentos de medición

- a. Para determinar el mejoramiento funcional con los geomateriales a disposición se realizaron 3 criterios de evaluación:
- Análisis granulométrico de suelo por tamizado (ASTM D422, ASTM D1140) lo cual nos permitirá saber que proporciones cumplen o está dentro de lo ideal, encontrando así un terreno bien graduado.
 - Densidad óptima con la curva de potencia 0.45, el cual permite evaluar la buena relación entre finos y gruesos, a fin de obtener una buena densidad, capaz de consolidar el material al ser compactado.
 - Colapsabilidad, criterio de Gibbs, nos ayuda a evaluar si el material mezclado pueda ser colapsable ante cualquier tipo de saturación de material a causa de las precipitaciones altas.
- b. Para evaluar la densidad óptima del mejoramiento funcional de vías con los geomateriales a disposición se realizó el ensayo del Proctor Modificado (ASTM D 1557 78), el cual se busca una compactación mínima del 95% del Proctor Modificado.
- c. El Grado de Compactación del suelo se midió con el ensayo Densidad de campo (AASHTO T -191).
- d. Para determinar la plasticidad, se realizó el ensayo de Índice de Plasticidad (Límites de Atterberg ASTM D4318).
- e. Para determinar la dureza, se realizó el ensayo de Abrasión Los Angeles.
- f. Para obtener la humedad durante la ejecución de la vía, se realizó el ensayo del Speedy in situ, de tal manera de obtener el porcentaje óptimo de agua en la mezcla.

- g. Para obtener la capacidad de soporte de ambos materiales, se realizó el ensayo de valor de soporte de California CBR (MTC E132-2000).
- h. El instrumento de medición para la velocidad fue con el apoyo del centro de DISPATCH OPERACIONES MINA, y todos los datos fueron registrados en un Excel para poder trabajarlos, indica promedio de velocidades de camiones durante el tiempo evaluado.

3.5. Técnicas de procesamiento de datos

Los datos registrados de las velocidades de los camiones de carga, fueron lecturados y promediados diariamente por el centro de control Dispatch, para luego realizar un análisis de serie de tiempo. La serie de tiempo se realizó para determinar la velocidad máxima y mínima de los camiones que transiten por ambas secciones ejecutadas. Esto para determinar el aumento de productividad de la sección de mejor dosificación adecuada, respecto a la sección con lastre.

3.6. Proceso constructivo de conformación de vías mineras, MTC “*Manual de diseño de Carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*”

3.6.1. Dimensionamiento del ancho mínimo del derecho de vía

El MTC indica que el ancho mínimo debe considerar la clasificación funcional de la carretera, en concordancia con las especificaciones establecidas por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001 del MTC del Perú, sin embargo para vías mineras, el dimensionamiento para calcular el ancho de vía se basa en función al ancho del camión komatsu, al ser 9.25m, por indicativos el ancho no debe ser no menor a 3 veces, es decir 27.75m mínimo por seguridad, para la vía en construcción se usó un ancho operativo que varía entre 30m a 35m.

3.6.2. Distancia de visibilidad en la vía

El MTC indica que distancia de visibilidad es la longitud continua hacia delante de la carretera que es visible al conductor del vehículo. En diseño, se consideran tres distancias: la de visibilidad suficiente para detener el vehículo; la necesaria para que un vehículo adelante a otro que viaja a velocidad inferior en el mismo sentido; y la distancia requerida para cruzar o ingresar a una carretera de mayor importancia. Para la mina Rafael SAC, no se considera adelantamientos de vehículos en tránsito por la complejidad de los camiones mineros, por seguridad si un vehículo se encuentra detenido en la calzada por fallas mecánicas, dará aviso al área de Operaciones Mina, para proceder con la delimitación del área y ordenar el sobrepase al vehículo inoperativo. Sin embargo, por seguridad se recomienda diseñar un alineamiento de carretera de tal manera que exista una visibilidad de parada por parte de los conductores en mina.

3.6.3. Peralte de la carretera

El MTC denomina “peralte a la sobre elevación de la parte exterior de un tramo de la carretera en curva con relación a la parte interior del mismo con el fin de contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga”, pues se recomendada para peraltes en superficies normalmente construidas en caminos de acarreo de minas de tajo abierto con precipitaciones altas y de superficie rugosa es de 5%. (Pankaj, *et al* p, 231), de esta manera garantizamos un escurrimiento por gravedad.

3.6.4. Coordinación entre el diseño horizontal y el diseño vertical

El MTC indica que el diseño de alineamientos horizontal y vertical no debe realizarse independientemente, pues para obtener seguridad y velocidad uniforme, debe de existir una

relación entre ambos diseños, por ello se recomienda para la mina Rafael SAC, que la pendiente longitudinal para el tránsito de camiones mineros sea no menor a 1.5% y no mayor a 3%, por el peso de carga y para garantizar el escurrimiento por gravedad de lodo generado por precipitaciones altas, así mismo el peralte transversal sea no mayor a 5%.

3.6.5. Estabilidad de taludes

El MTC indica que el proyectista realizará una evaluación general de la estabilidad de los taludes existentes sobre la base de un recorrido minucioso de la carretera e identificará los taludes críticos o susceptibles de inestabilidad. En este caso se determinará la inclinación de los taludes definiendo la relación H : V de diseño (se considerará los parámetros obtenidos de ensayos y cálculos o tomando en cuenta la experiencia del comportamiento de los taludes de corte in situ y/o ejecutados en rocas o suelos de naturaleza y características geológicas, geotécnicas similares que se mantienen estables ante condiciones ambientales semejantes). Los taludes de corte dependerán de la naturaleza del terreno y de su estabilidad, pudiendo utilizarse (a modo referencial) las relaciones de corte en talud siguientes los que son apropiados para los tipos de materiales (rocas y suelos) indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Taludes de corte

Clase de terreno	Talud (V: H)		
	H < 5	5 < H < 10	H > 10
Roca fija	10 : 1	(*)	(**)
Roca suelta	6 : 1 - 4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados cementados	4 : 1	(*)	(**)
Suelos consolidados compactos	4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados comunes	3 : 1	(*)	(**)
Tierra compacta	2 : 1 - 1 : 1	(*)	(**)
Tierra suelta	1 : 1	(*)	(**)
Arenas sueltas	1 : 2	(*)	(**)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2 hasta 1 : 3	(*)	(**)

(*) Requiere banquetta o análisis de estabilidad

La mina Rafael SAC, evalúa si existen rocas colgadas en las paredes de los taludes, procediendo con desguinchado o pasado de cadena, disminuyendo el riesgo de caída de rocas.

Los taludes de relleno, igualmente, estarán en función de los materiales empleados, pudiendo utilizarse (a modo de taludes de relleno referenciales) los siguientes taludes que son apropiados para los tipos de material incluidos en la Tabla 6(MTC):

Tabla 6. Materiales empleados para los Taludes

Materiales	Talud (V: H)		
	H < 5	5 < H < 10	H > 10
Enrocado	1 : 1	(*)	(**)
Suelos diversos compactados (mayoría de suelos)	1 : 1.5	(*)	(**)
Arena compactada	1 : 2	(*)	(**)

(*) Requiere banquetta o análisis de estabilidad

3.6.6. Plantillado topográfico

El trabajo topográfico es un punto muy importante en la construcción de vías, para garantizar un control adecuado entre el diseño horizontal y vertical, por ello se realiza el diseño creando una plantilla de cotas a partir del perfil longitudinal, se calcula las cotas para el peralte del 5%, por último se realiza el estacado de la vía a fin de tener un nivel adecuado de corte hasta llegar al nivel subrasante (Ver Figura 15).



Figura 15: Plantillado topográfico para evaluar niveles de corte.

3.6.7. Corte del terreno

Una vez que se tenga el plantillado general en las partes laterales de la calzada, y de haberse conformado las bermas de seguridad en base a las consideraciones indicadas

anteriormente, se procede con el corte de la vía, en la Figura 14 se puede visualizar al tractor D11T realizando el corte, con un ancho de vía efectiva de 35m, garantizando la pendiente transversal del 5% para escurrimiento por gravedad del lodo.

3.6.8. Carguío y eliminación del material

Se debe de eliminar el material cortado por la maquinaria auxiliar, apoyando el carguío con el cargador frontal y transportarlo hacia los botaderos con el camión Cat 777 se debe de monitorear el corte del material a fin de evitar exceso de corte, por ende relleno en zonas puntuales, ver Figura 16.



Figura 16: Corte del terreno con tractor D11T, para conseguir subrasante con pendiente 5%

3.6.9. Taludes

El MTC indica que los taludes para las secciones en corte y relleno variarán de acuerdo a la estabilidad de los terrenos en que están practicados. Las alturas admisibles del talud y su inclinación se determinarán en lo posible, por medio de ensayos y cálculos o tomando en cuenta la experiencia del comportamiento de los taludes de corte ejecutados en rocas o suelos de naturaleza y características geotécnicas similares que se mantienen estables ante condiciones ambientales semejantes,, por ello para la mina Rafael SAC, para la conformación de bermas de seguridad, considerando el diseño geométrico de vías en minas de tajo abierto, tener en cuenta la altura de berma mínima de $\frac{3}{4}$ a la altura de la llanta del camión (diámetro), en este caso $\frac{3}{4}$ 3.60m = 2.70m de altura mínima por seguridad, con un diseño de talud de 37°.

3.6.10. Subrasante

El MTC indica que la subrasante es la capa superficial de terreno natural. Para construcción de carreteras se analizará hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20 m. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima. Se identificarán cinco categorías de subrasante:

- S0: Subrasante muy pobre CBR < 3%
- S1: Subrasante pobre CBR = 3% - 5%
- S2: Subrasante regular CBR = 6 - 10%
- S3: Subrasante buena CBR = 11 - 19%
- S4: Subrasante muy buena CBR > 20%

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante muy buena y buena; a 0.80 m cuando se

trate de una subrasante regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y a 1.20 m cuando se trate de una subrasante muy pobre. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario (MTC).

La subrasante es un punto muy importante para recepcionar y soportar el peso generado por el paso de camiones, por ello para el caso de la mina Rafael SAC, según estudios, obtenemos una subrasante muy buena, sin embargo se colocó subdrenes subterráneos para evitar posibles saturaciones del material causado por el nivel freático.

3.6.11. Drenaje subterráneo

El MTC indica que el drenaje subterráneo se proyectará para controlar y/o limitar la humedad de la plataforma y de los diversos elementos del pavimento de una carretera. 93 Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito Sus funciones serán alguna o varias de las siguientes:

- a) Interceptar y desviar corrientes sub superficiales y/o subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera.
- b) Hacer descender el nivel freático.
- c) Sanear las capas del pavimento

El dren subterráneo estará constituido por una zanja en la que se colocará un tubo con orificios perforados, juntas abiertas, o de material poroso. Se rodeará de un material permeable, material filtro, compactado adecuadamente, y se aislará de las aguas superficiales por una capa impermeable que ocupe y cierre la parte superior de la zanja (MTC), pues para la mina Rafael SA, se usó el Dren Francés, sistema que está compuesto por canales subterráneos de material

granular de diámetro 20”, con especificaciones indicadas en la parte inferior, estos canales, captan y conducen las aguas generadas por las precipitaciones hacia las pozas existentes.

Para el diseño de drenaje de la vía, se ha conformado los drenes cada 70m a 100m de separación de manera transversal a la vía, con una sección típica de profundidad 0.9m a 1.2m, ancho de 1.5m con caída homogénea hacia la ventana, a 67 grados promedio con respecto a la ventana, para mayor cobertura y alcance sobre las filtraciones existentes, así evitamos que los finos saturen el dren y no pueda servir como estructura, se recomienda rellenar y nivelar hasta la subrasante con una capa de rechazado (ver figuras 17 y 18), luego ser tapado con el geotextil, recubriendo lados laterales.



Figura 17: Conformación de Dren Francés para garantizar el drenaje subterráneo generado por las precipitaciones altas



Figura 18: Sellado y compactado de dren francés con material rechazado

3.6.12. Capa de afirmado

El MTC indica que el material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica obligatoria en la carretera de afirmado. El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas. Asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Por ello para la mina Rafael SAC, se evaluó previamente una dosificación adecuada que permita el mejoramiento funcional a la vía minera, la dosificación adecuada está conformada por: 3 Lastre, 7 Rechazado, 1 Voladura y 1 Morrena

Se realizó la mezcla del material en chancadora secundaria, transportado con volquetes de 15m³ de capacidad y camiones Cat Serie 777, siendo descargados al pie de la motoniveladora para el tendido correspondiente (ver Figura 17), el proceso a seguir es evaluar el porcentaje de humedad que contiene dicha mezcla con el Ensayo del Speedy, se recomienda la humedad óptima del 6%, según ensayo del Proctor Modificado, de acuerdo a ello, se tiende y se compacta o humectar el material hasta llegar a lo óptimo.

Para el cálculo del material de transporte por día se debe de medir Largo x Ancho x Altura de la capa, no debe de exceder recomendable 30cm (se realizó el cálculo por el método del Asstho, para evaluar el espesor mínima de la capa) para una mejor compactación, a todo ello se multiplica por el factor de esponjamiento, debido a que el material se encuentra en estado “Suelto”, todo ello obedece al rendimiento diario en m³ de tendido de material de las motoniveladoras en uso, con esto se busca que la totalidad del material transportado durante el día sea compactado, de lo contrario se realiza el cuidado del material cubriéndolo con plástico blanco por posible eventuales precipitaciones durante noche, que haga que el material se sature y por ende sea acolchonado, tapado del material a fin de guardia, evitando que sea saturado y perjudique la labor del día siguiente.

Para la compactación del material, se recomienda de 7 a 9 ciclos por cada tramo, a fin de optimizar la compactación del mismo, con rodillo liso de peso de 20Tn de apisonamiento como mínimo, para obtención de mayor densidad.



Figura 19: Descarga de material combinado, de chancadora secundaria.

3.6.13. Ensayos de densidad de campo

El MTC indica que deberán de identificarse los tramos homogéneos con una longitud mínima de 1500m, clasificar el material de subrasante y definir el CBR de diseño. En los puntos críticos, si los hubiera, se efectuarán trabajos especiales necesarios para definir su solución.

Para este proyecto, se realizó los ensayos de densidad de campo con el Cono de Arena de Ottawa, el cual representa una forma indirecta obtener el volumen del agujero de 15cm de diametro utilizando para ello, una arena estandarizada (Arena de Ottawa) compuesta por partículas cuarzosas, sanas, no cementadas, de granulometría redondeada y comprendida entre las mallas N° 10 ASTM (2,0 mm.) y N° 35 ASTM (0,5 mm.), con este ensayo verificamos el grado de compactación del material a una capa de 15cm, se recomienda realizar el ensayo de densidad en in situ por el método de reemplazo de agua, siguiendo a la norma D5030-ASTM.

Dicho ensayo con la arena de Ottawa se realizó cada 100m para cada conformación de capa, haciendo la corrección de peso con piedras retenidas en el tamiz $\frac{3}{4}$ ", tal y cual se realizó para el ensayo de Proctor Modificado, los resultados obtenidos deben de estar dentro del rango del 97% al 100% del valor obtenido por el Ensayo del Proctor Modificado, este ensayo nos permite evaluar la densidad o grado de compactación, certificando una buena calidad en la construcción del mismo.

Se recomienda realizar los ensayos, delimitando el área de trabajo, tal como se visualiza en la Figura 20, cada vez que haya interacción con vehículos transitando por la zona, evitando posibles accidentes.



Figura 20: Ensayo de densidad de campo, verificar compactación óptima

3.6.14. Capa superficial del afirmado

El MTC recomienda la colocación de la capa superficial del afirmado es opcional, pero de colocarse el espesor de esta capa se deducirá del espesor total calculado para la capa de afirmado. El espesor de la capa superficial del afirmado, no será menor al mínimo constructivo de 100mm. Un buen material para capa superficial de afirmado deberá estar constituido principalmente de grava triturada y arena gruesa con partículas más finas para llenar los vacíos y una porción pequeña de arcilla para actuar como ligante. El material debe ser de buena estabilidad, resistente a la abrasión. No permitir el levantamiento de polvo que provoque un mínimo desgaste de neumáticos, económico y de fácil mantenimiento, para la mina Rafael SAC, se recomienda realizar un sellado de vías con material rechazado, para darle mayor rugosidad a la capa de rodadura.

3.6.15. Drenaje Superficial

El MTC indica que el drenaje superficial tiene como finalidad alejar las aguas de la carretera para evitar el impacto negativo de las mismas sobre su estabilidad, durabilidad y transitabilidad. El adecuado drenaje es esencial para evitar la destrucción total o parcial de una carretera y reducir los impactos indeseables al ambiente debido a la modificación de la escorrentía a lo largo de éste. El drenaje superficial comprende: la recolección de las aguas procedentes de la plataforma y sus taludes, la evacuación de las aguas recolectadas hacia cauces naturales y la restitución de la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera.

Por ello para garantizar el buen funcionamiento de la vía, se incluyó al diseño una pendiente transversal de 5%, así evitar empozamiento de agua, todo el lodo se transporta por cunetas de sección típica 1.50m de ancho y una profundidad variable de 0.20m a 1.20m, con pendientes longitudinales mayores a 1.5%, para ello se conformaron ventanas para eliminación

del lodo hacia las pozas existentes, por espalda de las bermas, tal como se muestra en la Figura 21, estas ventanas tienen una separación entre si de 70m a 100m aproximadamente.



Figura 21: Ejecución de ventanas para drenaje

En la Figura 22 se visualiza la buena conformación de taludes, con rocas desguinchadas, esto evita la caída de rocas hacia el interior de la vía, pudiendo obstaculizar las cunetas y el drenaje superficial.

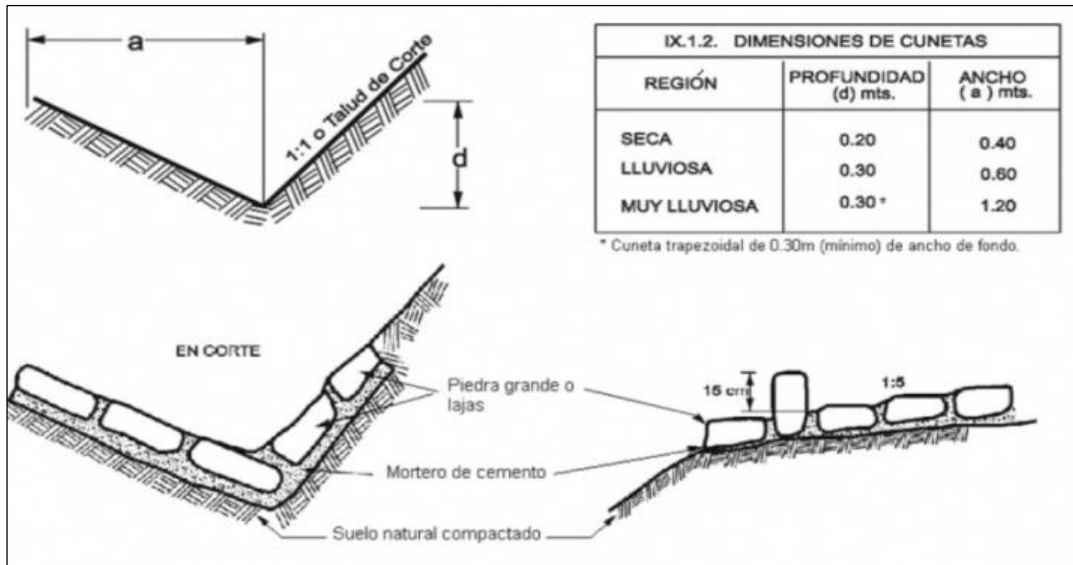


Figura 22: Conformación de cunetas para garantizar drenaje

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Estudios hidrológicos

En la presente investigación se realizó un estudio de las precipitaciones en la zona trabajada, esto para evaluar y determinar la época más crítica en la cual se debe de realizar las pruebas, pues el problema del mantenimiento de las vías de acarreo se pronuncia en épocas de precipitaciones altas, además de la existencia de granizo que obstaculiza el trabajo.

Por ello se realizó el análisis durante varios años para poder tener un registro confiable con el apoyo de la estación metereológica ubicada en el Botadero Este cercano al proyecto. En este estudio se tomó las precipitaciones acumuladas durante los años 2013 al 2016, obteniendo la data de las precipitaciones acumuladas por mes.

En la Figura 21, se observa la acumulación diaria de precipitaciones por mes, correspondiente de enero a diciembre, de los años 2013, 2014, 2015 y 2016. Para elaborar el diagrama en excel de la figura mencionada, se tuvo que adjuntar, procesar y evaluar los datos de registros de precipitaciones, obtenidos durante el tiempo en mención, que se muestra en detalle en el Anexo III. En el cual se visualiza el registro de precipitaciones arrojadas por la estación meteorológica, durante los años en mención, los meses con menores precipitaciones inician en junio, julio, agosto y setiembre, meses donde, si bien hay presencia de precipitaciones, estas no afectan a las vías de acarreo pues no son intensas como lo son en época de invierno. La época donde se empieza a registrar precipitaciones altas, inicia en octubre, extendiéndose hasta abril o mayo del año siguiente. En algunas fechas, como es el caso del año 2015 se pude apreciar que las precipitaciones se prolongaron, empezando desde setiembre y terminando en el mes de mayo del 2016.

Así también, según la Figura 23 se puede deducir que la mayor acumulación de precipitación es en el mes de marzo del 2013 llegando a 267 mm.

Se acota que en la Figura 23, se indica en que temporada se registra mayor presencia de precipitaciones altas para así determinar los días más críticos de evaluación y evaluar el periodo de mantenimiento de la vía y el desenvolvimiento de la misma.

Por ello, definió realizar la conformación de la vía durante los meses de agosto a diciembre del año 2016, época donde se registra menor precipitación, ayudando a una mejor conformación y compactación del material, evitando la saturación de la misma por lluvias.

Luego del análisis, se definió realizar la evaluación y comparación del tramo con material tratado con respecto al tramo sin tratamiento durante los días 03 al 26 de febrero del 2017*, debido a que es el mes donde se registra acumulación de precipitaciones altas según lo registrado en el periodo 2013 a 2016, con las precipitaciones acumuladas por año, resumen que se visualiza en la Figura 24.

*Se escogió estas fechas, para obtener datos más críticos durante la temporada del año, a fin de evaluar el aspecto donde se va a requerir de mayor número de mantenimientos y el desenvolvimiento de la mezcla con dosificación adecuada.

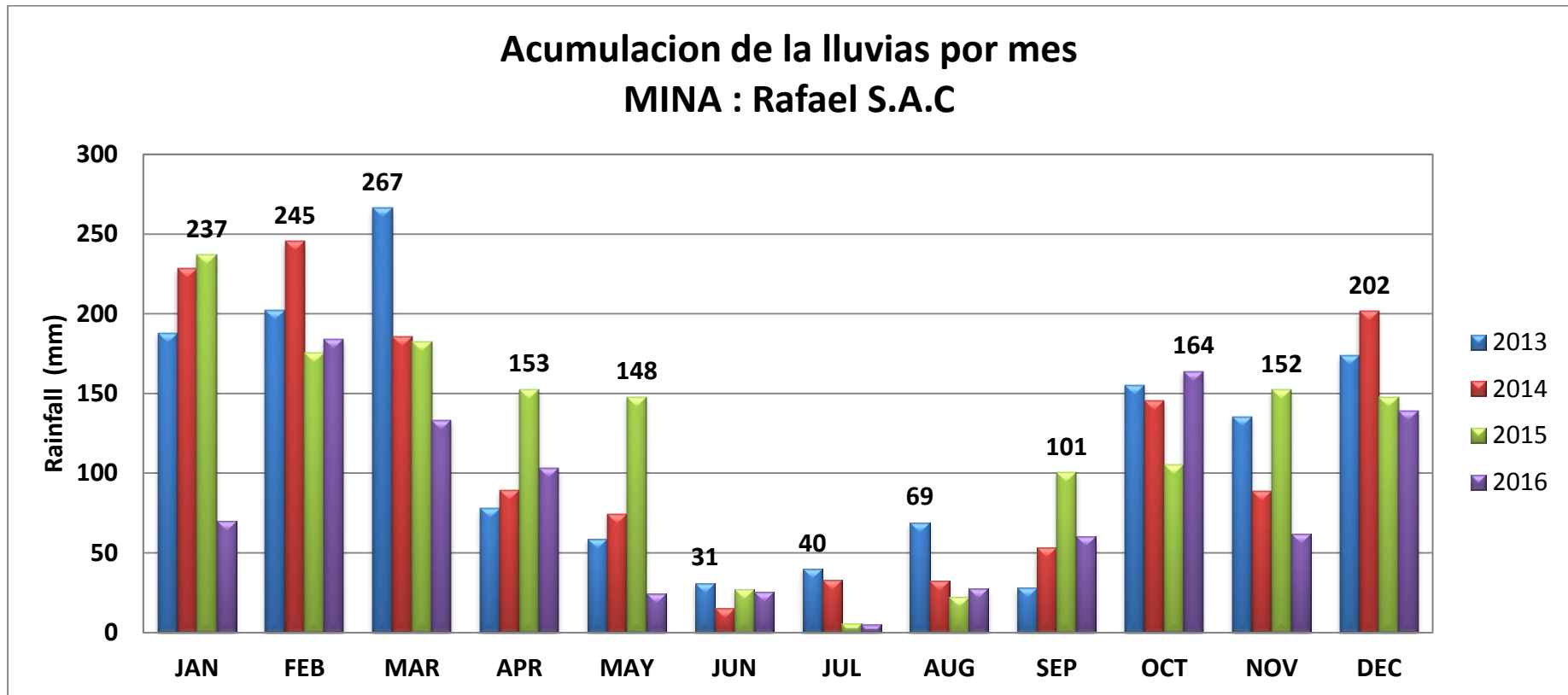


Figura 23: Registro de acumulación de lluvias por mes desde 2013 hasta el 2016.

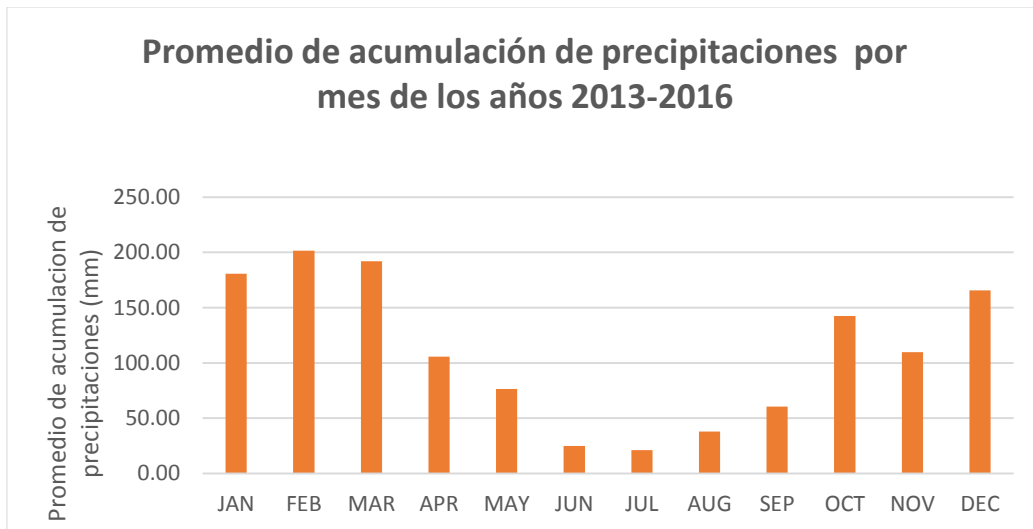


Figura 24: Promedio de acumulación de precipitaciones por mes de los años 2013-2016

Para evaluar el impacto que genera las precipitaciones altas en temporadas de invierno, se realizó un comparativo con respecto al registro de anomalías de precipitaciones del Fenómeno del Niño costero 2017 (Figura 25), el cual se comparó con el registro del departamento de Lima por la magnitud que representó el fenómeno en dicha zona.

Promedio de acumulación de precipitaciones en la Mina Rafael SAC, registrado con la estación metereológica durante los años 2013 al 2016:

- Enero: 180mm
- Febrero: 205 mm
- Marzo: 193 mm
- Abril: 105 mm
- Mayo: 75 mm
- Junio: 26 mm
- Julio: 22 mm
- Agosto: 41 mm
- Septiembre: 55 mm

- Octubre: 143 mm
- Noviembre: 110 mm
- Diciembre: 161 mm

El registro de precipitaciones en el departamento de Lima, alcanzó los 300 a 550mm, es decir realizando un comparativo con el promedio de acumulación del mes de febrero (205mm), visualizamos que la mina tiene un porcentaje de incidencia del 48.23%, es decir anualmente en época de invierno, la mina Rafael SAC soporta la mitad del volumen de precipitaciones que causó desastres el año 2017, llamado Fenómeno del Niño Costero.

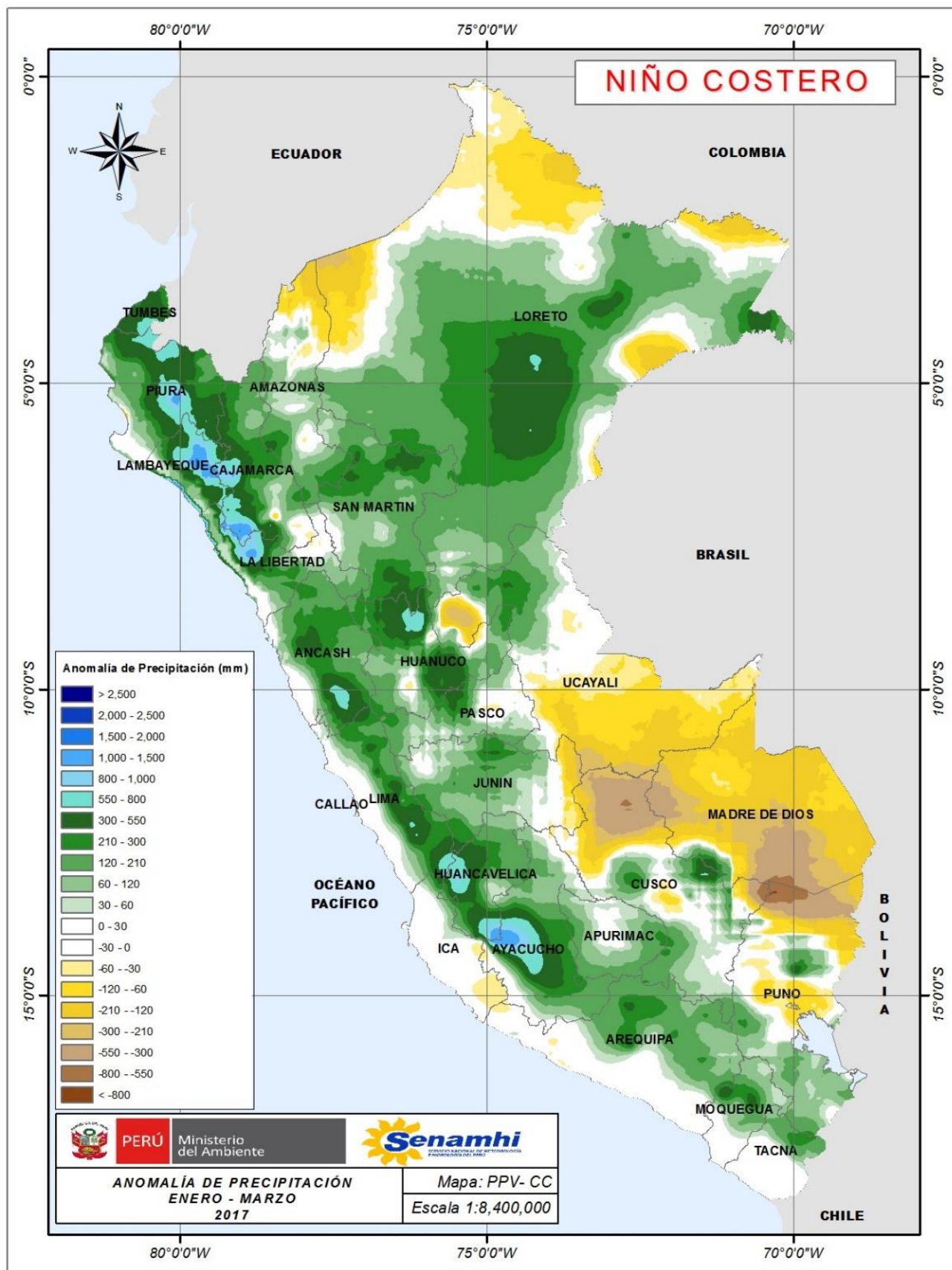


Figura 25: Anomalías de precipitaciones, Fenómeno del Niño Costero 2017

4.2. Ubicación de los tramos del trabajo de investigación

La investigación se realizó en una vía con 2 tramos de similares características, el primero se denomina sección control con lastre (sin tratamiento) y el segundo tramo control con muestra de mejoramiento funcional (mezcla mejorada). La longitud del tramo sin tratamiento es de 1040 m (color amarillo), tramo con tratamiento es de 1035 m (color verde). En la Figura 26, se puede observar los tramos seleccionados para el estudio en la Mina Rafael S.A.C., así mismo la ubicación de 3 balizas usadas para la investigación, en los puntos A, B y C, donde se desarrolla el cambio de velocidades por el paso de los camiones mineros.

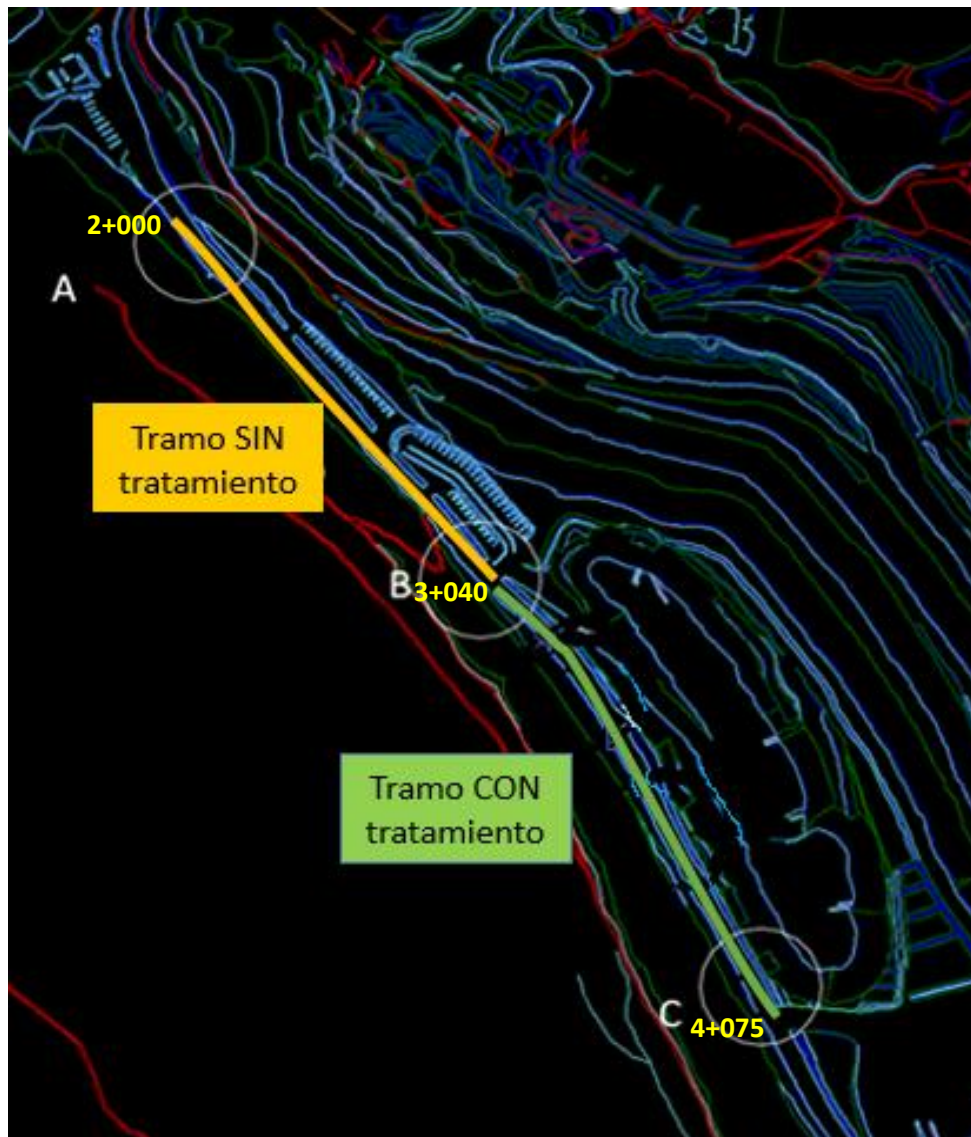


Figura 24: Tramos de las vías con y sin tratamiento

4.3 Vía de acarreo de la mina Rafael S.A.C.

Según diseño de vías de acarreo, estas deben tener un ancho operativo mínimo de tres veces el ancho del equipo de acarreo más grande sin considerar cunetas y muros para encontrarse en condiciones estándar que permita el libre tránsito de 2 camiones mineros (ambos en simultáneo en sentidos contrarios). En cuanto a los muros de seguridad, siempre deben tener la altura mínima de las $\frac{3}{4}$ partes de la altura del neumático del equipo más grande que circula por la vía. Para este caso, los camiones que transitan por la mina Rafael S.A.C varían entre Caterpillar y Komatsu, siendo el Komatsu Modelo 980E el camión de mayor dimensión y mayor capacidad de extracción minera, 650tn de carga, el ancho de esta maquinaria es de 9.75 m, lo cual hace que la vía tenga un ancho mínimo de 29.25m según diseño, Actualmente, el ancho operativo de las vías varía entre 30m a 35m.

Así también, el acceso que se utiliza actualmente en la mina Rafael S.A.C. está conformado por una pendiente hacia un lado “Súper”según el tipo de sección transversal. Debido a la fuerte presencia de lluvias en la unidad minera se ha colocado una cuneta en la parte derecha de la vía.

La capa de rodadura de la vía debe permanecer uniforme con bombeo del 5% en dirección a la cuneta paralela a la vía, sin presencia de deformaciones, empacamientos o cualquier otro elemento que no asegure un tránsito continuo, garantizando el drenaje adecuado.

El relleno de la vía será con material preparado, con suelo de mejor dosificación adecuada, a partir de la evaluación de los criterios de granulometría, mejor densidad con curva 0.45 y colapsabilidad con Gibbs.

4.4 Geomateriales de la mina Rafael S.A.C.

a) Morrena

Las morrenas están compuestas por sedimento suelto constituido por partículas de diferentes tamaños sin estratificación ni clasificación. Este conjunto de materiales ha sido arrastrado y arrancado por el glacial durante su discurso, siendo depositado en formas de líneas a lo largo del recorrido de este.

El material de morrena de la mina Rafael SAC está conformado por 74.6% de gravas, 24% de arena y 1.3% de finos, teniendo una humedad es de 13.7%.

b) Lastre

Es una combinación de materiales granulares (grava y arena) de mala calidad, utilizada en obras civiles. Este material de relleno se obtiene de forma natural de la explotación de sustancias de suelo y rellenos y es suplido en granulometría fina y gruesa.

El material de lastre de la mina Rafael SAC. está conformado 99.8% de gravas y solo 0.2 % de finos (no presenta arena), teniendo una humedad de 3.2 %.

c) Rechazado

Es un material que se encuentra en los trabajos de la explotación minera, obtenidos después de la chancadora.

El material de rechazado de la mina Rafael SAC está conformado por 57.2% de gravas, 37.1% de arena y 5.7% de finos, teniendo una humedad de 3.2%.

d) Voladura

Son materiales granulares que quedan después de las voladuras realizadas en la explotación de las minas.

El material de voladura de la mina Rafael SAC por está conformado 99.3% de gravas y solo 0.7 % de finos (no presenta arena), teniendo una humedad de 3.2%.

4.5. Determinación de la propuesta de dosificación

4.5.1. Granulometría, densidad y colapsabilidad

Para determinar la mezcla mejorada con los geomateriales existentes en mina, se obtiene de la combinación de lastre, voladura, rechazado y morrena, para ello se realizó un estudio de granulometría, con los husos consolidados, recomendados por el MTC, TDM asfaltos y propios ensayos del área de Geotécnia Operaciones Mina.

Con los 4 geomateriales disponibles en la cantera de la mina Rafael S.A.C., se realizaron 14 mezclas con diferentes proporciones, a las que llamaremos muestras, con la

finalidad de determinar una mezcla adecuada que mejore la productividad de la mina. En la Tabla 4, se puede observar las 18 muestras que se realizaron para el estudio de granulometría, densidad y colapsabilidad, de acuerdo a las dosificaciones mezcladas hasta obtener la más indicada, capaz de obtener un buen desenvolvimiento ante los 3 criterios de evaluación, la cual se muestra a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Dosificaciones de los geomateriales de la cantera Rafael S.A.C.

Muestras	Voladura (V)	Lastre (L)	Rechazado (R)	Morrena (M)
M-1	1	1	1	2
M-2	1	1	1	1
M-3	2	1	3	1
M-4	3	2	6	1
M-5	4	2	4	1
M-6	3	1	5	1
M-7	5	3	5	1
M-8	1	1	7	2
M-9	4	1	9	1
M-10	3	1	6	1
M-11	4	2	8	1
M-12	2	2	6	0.5
M-13	0.5	3	6	1
M-14	1	3	7	1
M-15	1	2.5	7	0.5
M-16	1.5	1	6	1.5
M-17	2	1	7	2
M-18	2	1	7	1.5

Fuente Mina Rafael SAC.

- **MUESTRA 1: (1 lastre + 1 voladura + 1 rechazado + 2 morrena)**

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.5667$$

Concluyendo que para la M-1, con un LL=25.37, el material corresponde a un **SUELO COLAPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

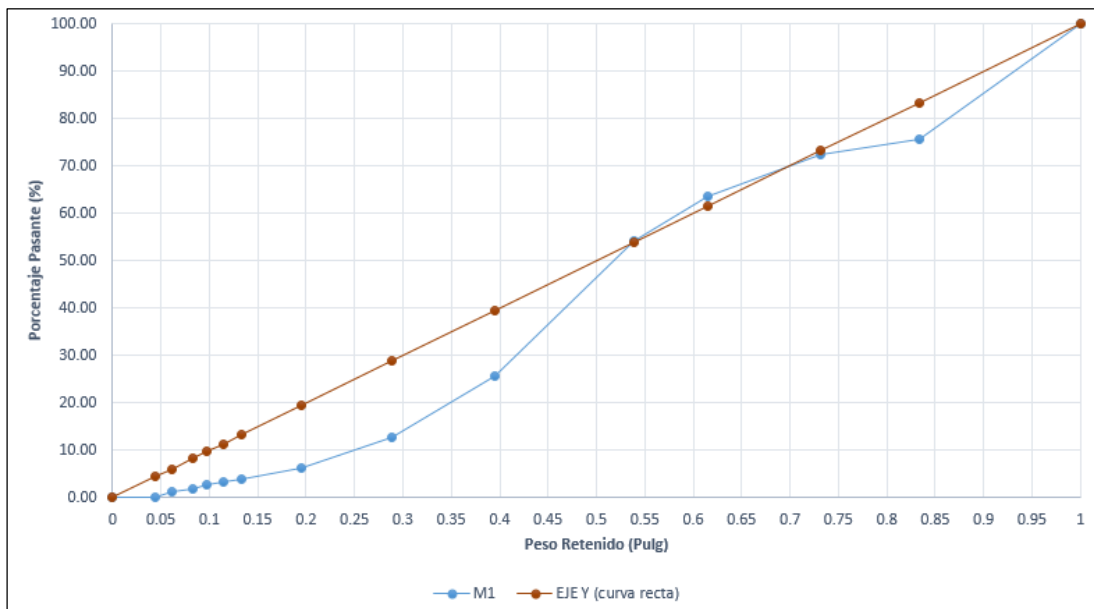


Figura 28: Curva de potencia 0.45 para la muestra 1 (M-1)

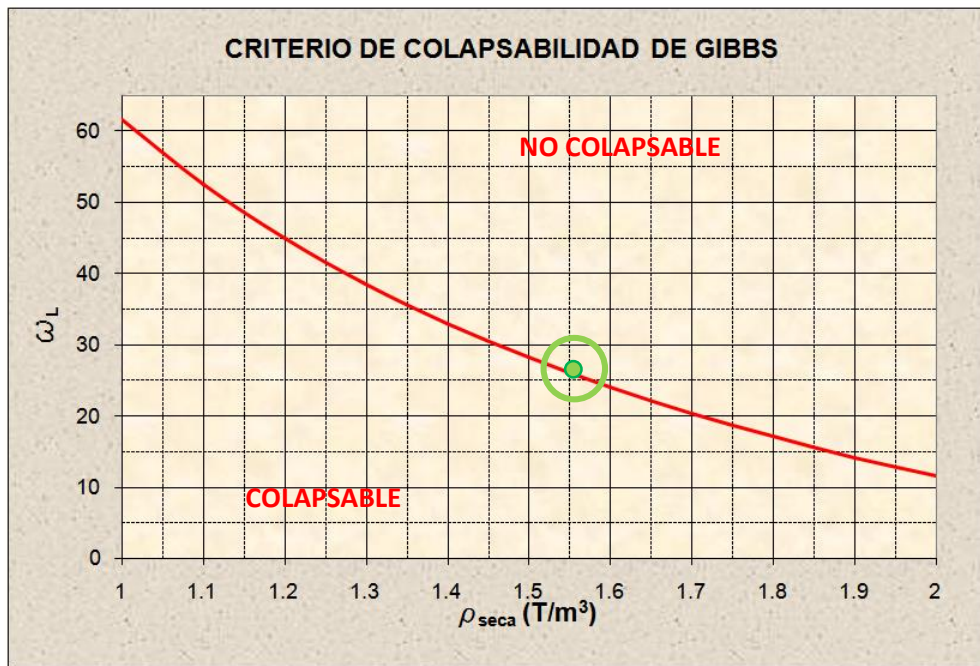


Figura 29. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-1)

- **MUESTRA 2: (1 lastre + 1 voladura + 1 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 30 se puede observar que al mezclar la dosificación indicada para la muestra 2, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 se obtiene una mejora en la curva granulométrica para los tamices de menor diámetro, sin embargo, se observa que requiere de mayor material grueso para ajustar la gráfica dentro de los husos, por ello concluimos que **SUELO MAL GRADUADO**.

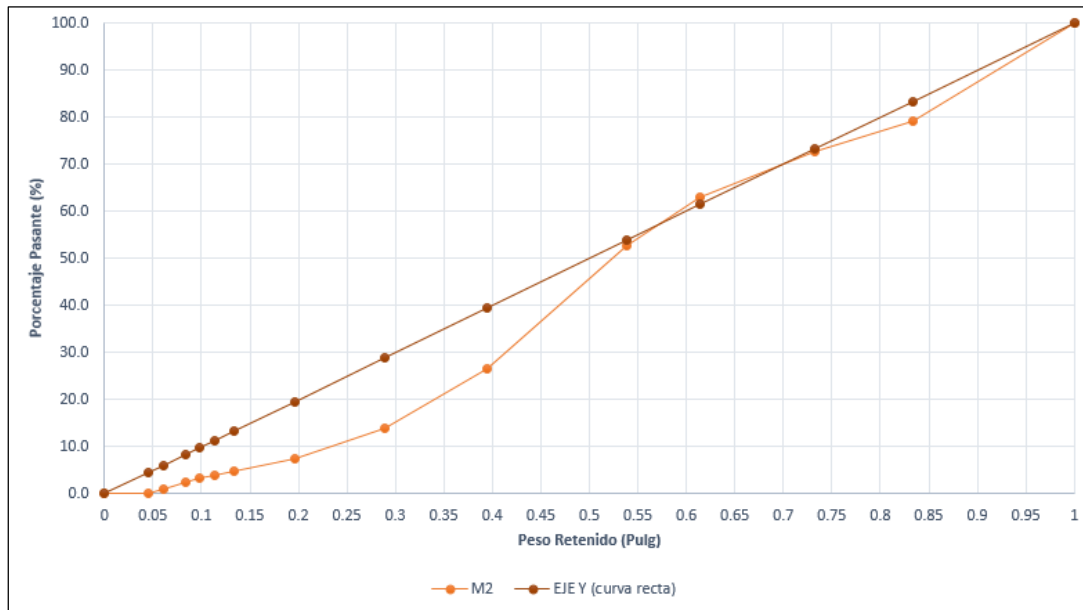


Figura 31: Curva de potencia 0.45 para la muestra 2 (M-2)

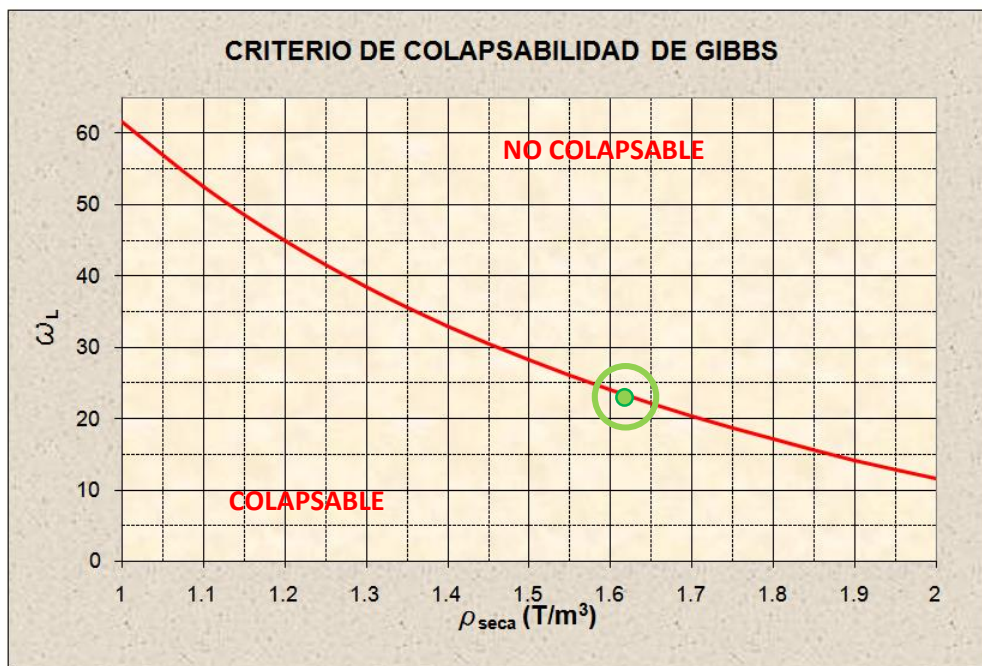


Figura 32. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-2)

- **MUESTRA 3: (1 lastre + 2 voladura + 3 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 33 se puede observar que al realizar la mezcla de la muestra 3, mencionada en la parte superior, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y

D1140 se obtiene una mejora en tamiz de 1" por el incremento de 2 dosificaciones de rechazado, sin embargo se requiere de mayor cantidad del mismo material, para adecuar la curva dentro de los husos indicados, por ello se concluye **SUELO MAL GRADUADO**.

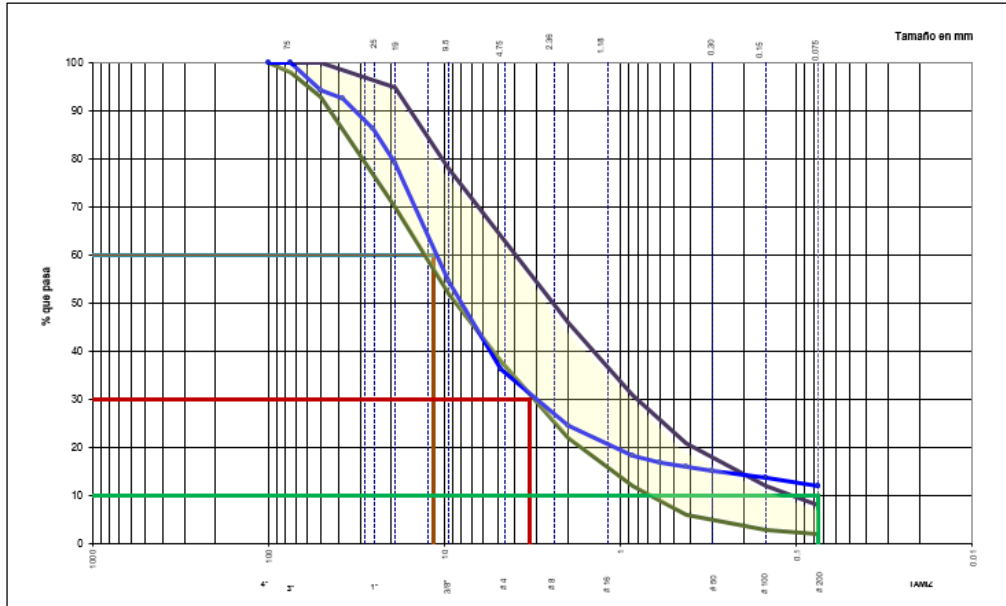


Figura 33: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 3 (M -3)

En la Figura 34 se puede observar para la muestra 3, en la Curva de potencia 0.45 se visualiza en la gráfica, una mejora con respecto a los materiales finos en los tamices indicados (#4 al #200), al agregar 2 dosificaciones de rechazado, hay un reajuste en el tamiz 3/8", acercándonos a la más a la óptima, sin embargo, requiere reajustar el material grueso por la cantidad de finos mostrado por la gráfica, por ello **SUELO CON MALA DENSIDAD**.

En la Figura 35 se puede observar para la muestra 3, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.645$$

Concluyendo que para la M-3, con un $LL=22.31$, el material corresponde a un **SUELO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

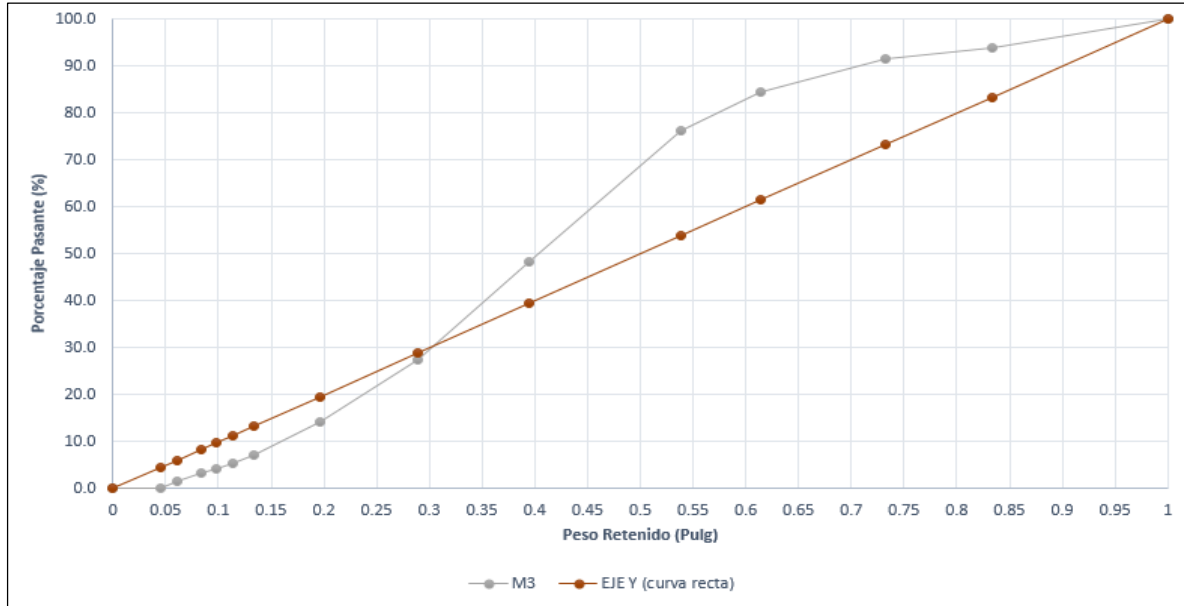


Figura 34: Curva de potencia 0.45 para la muestra 3 (M -3)

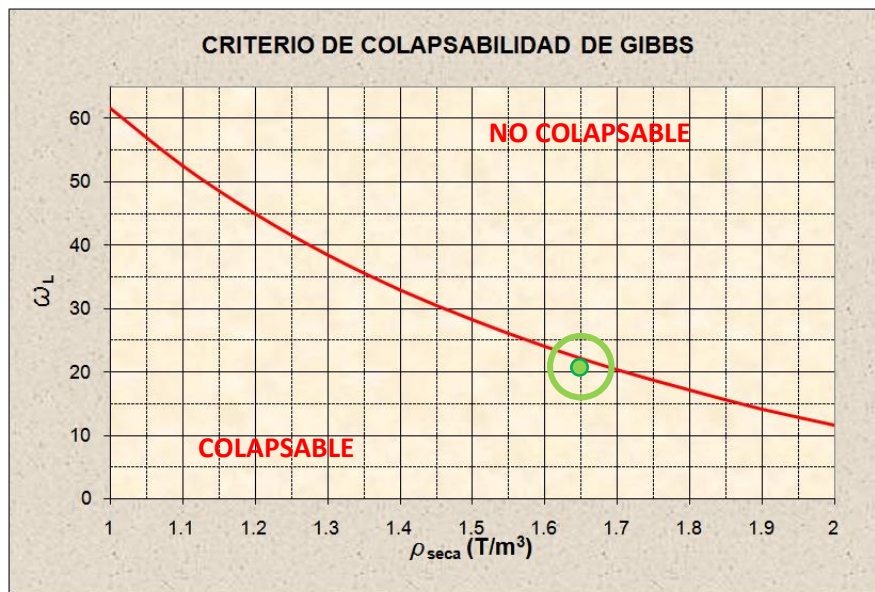


Figura 35. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-3)

- **MUESTRA 4: (2 lastre + 3 voladura + 6 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 34 se puede observar que, al realizar la mezcla con la dosificación indicada, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 se obtiene mejoras en la curva granulométrica por incremento de 3 dosificaciones de material rechazado, adecuándose mejor en el tamiz #4, sin embargo, los tamices #100 y #200 no se ubican dentro de los husos según diseño, por ello se concluye **SUELO CON GRADACIÓN REGULAR**.

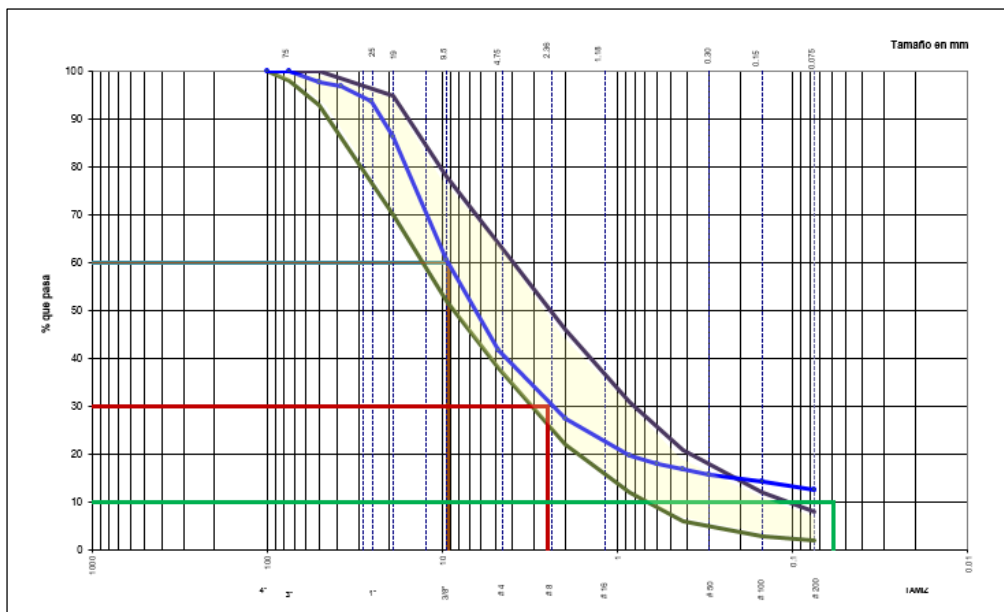


Figura 36: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 4 (M-4)

En la Figura 37 se puede observar que al realizar la mezcla 4, al incrementar 1 dosificación de lastre, hace que la curva obtenga mayor material granular en el tamiz de 1”, alejándose de la línea deseada, por ello se concluye un **SUELO MAL GRADUADO**.

En la Figura 38 se puede observar para la muestra 4, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.851$$

Concluyendo que para la M-4, con un $LL=15.56$, el material corresponde a un **SUELO COLAPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

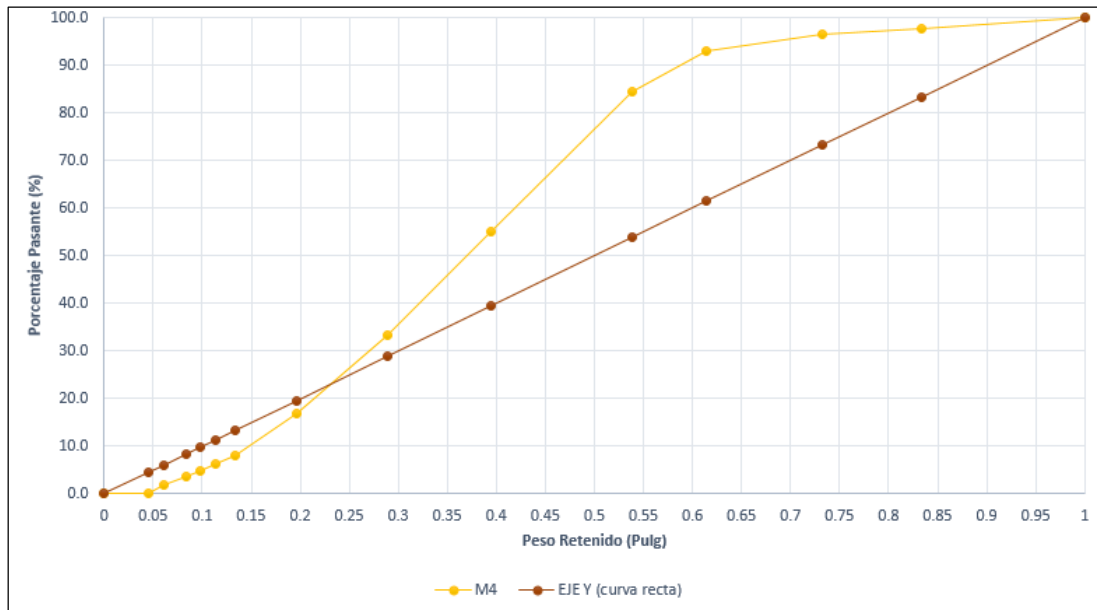


Figura 37: Curva de potencia 0.45 para la muestra 4 (M-4)

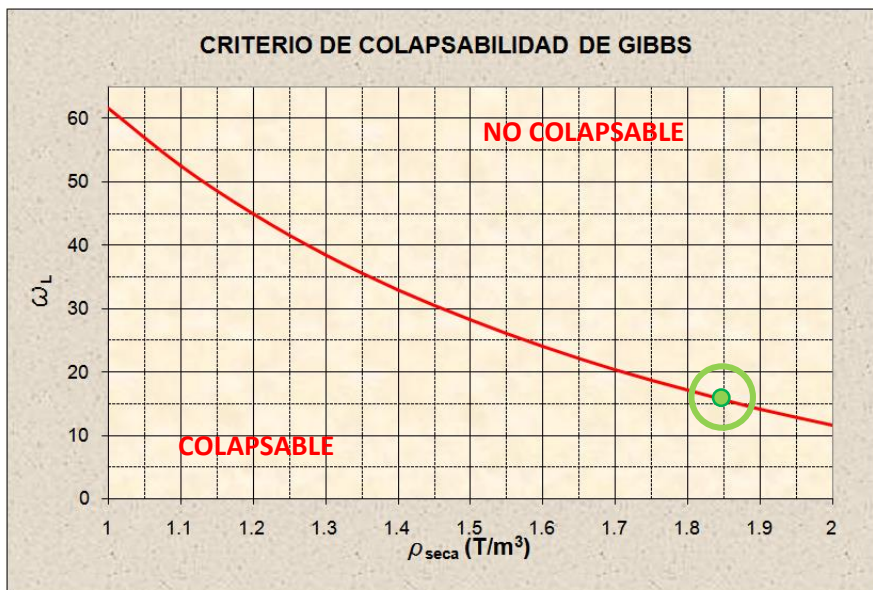


Figura 38. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-4)

- **MUESTRA 5: (2 lastre + 4 voladura + 4 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 39 se puede observar que al realizar la mezcla disminuyendo material rechazado, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 se obtiene una curva por debajo del huso grueso, concluyendo que, al disminuir el material rechazado, la curva se distorsiona en los tamices 3/8" y #4, obteniendo así un **SUELO MAL GRADUADO**.

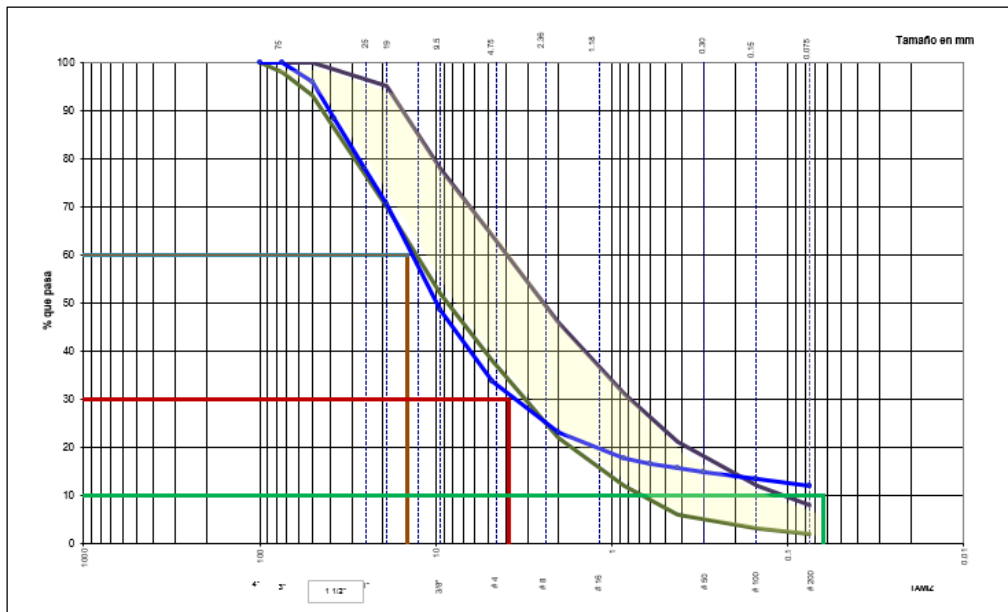


Figura 39: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 5 (M-5)

En la Figura 40 se puede observar en la gráfica para la muestra 5 un mejoramiento notorio en los tamices 1 1/2", 1" y 3/4" por el incremento de 1 dosificación adicional de voladura

y la disminución de 2 dosificaciones de rechazo, con una paridad entre materiales gruesos y finos obteniendo así un **SUELO CON DENSIDAD REGULAR**.

En la Figura 41 se puede observar para la muestra 5, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 2.038$$

Concluyendo que para la M-5, con un LL=10.59, el material corresponde a un **SUELO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

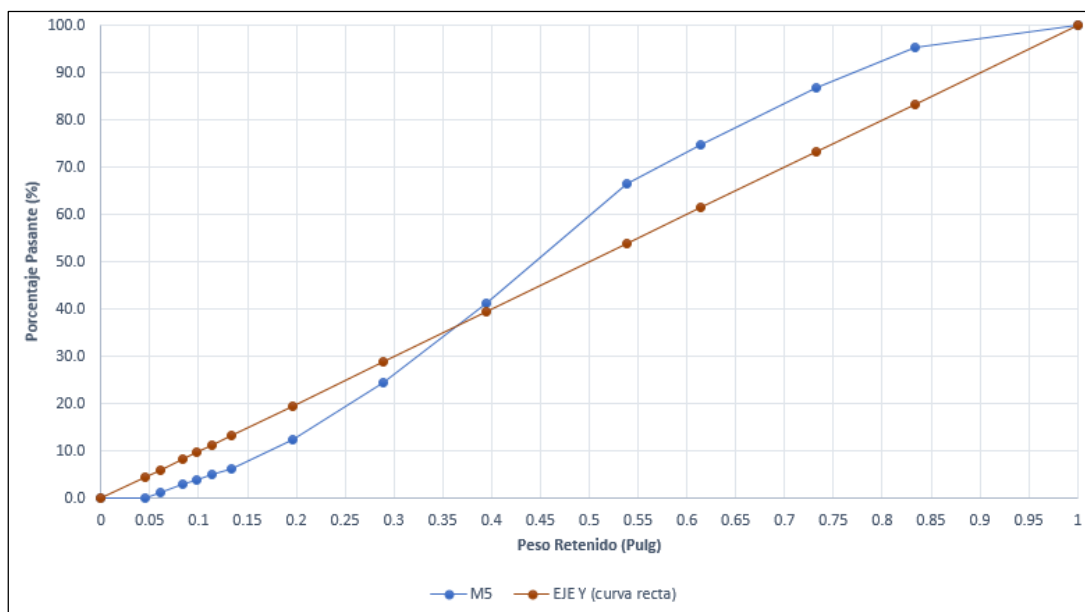


Figura 40: Curva de potencia 0.45 para la muestra 5 (M-5)

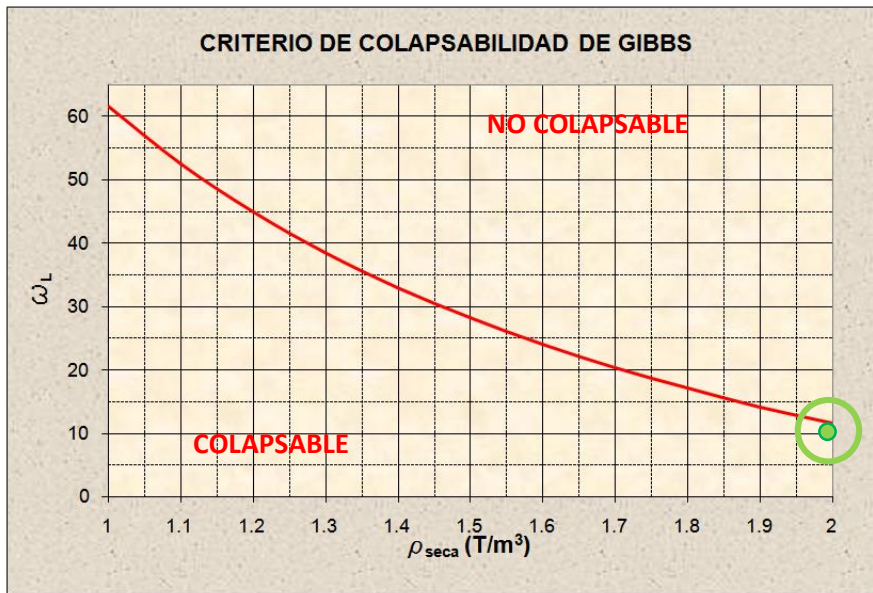


Figura 41. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-5)

- **MUESTRA 6: (1 lastre + 3 voladura + 5 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 42 se puede observar, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 obtenemos variación en la gráfica fuera de husos tamices #4 y #10 por incremento de rechazado y disminución de lastre, concluyendo **SUELO MAL GRADUADO**.

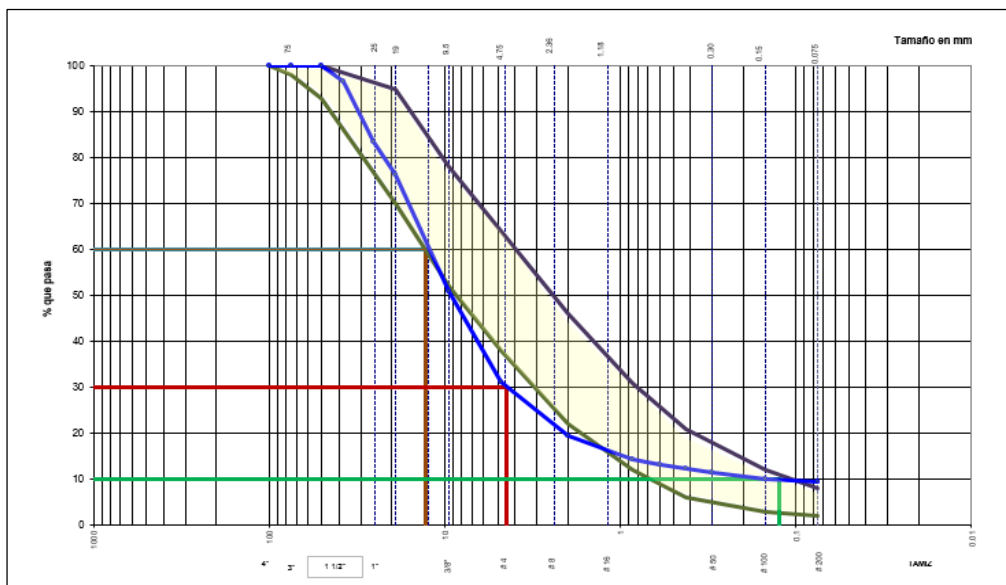


Figura 42: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 6 (M-6)

En la Figura 43 se puede observar que para la muestra 6, en la gráfica, existe una variación negativa con respecto a la línea de potencia 0.45, aumentando la cantidad de finos y un desequilibrio en los tamices de 1” a 2”, concluyendo un **SUELO CON MALA DENSIDAD**, se recomienda aumentar material granular para equilibrar la densidad.

En la Figura 44 se puede observar para la muestra 6, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.978$$

Concluyendo que para la M-6, con un LL=12.11, el material corresponde a un **SUELO NO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

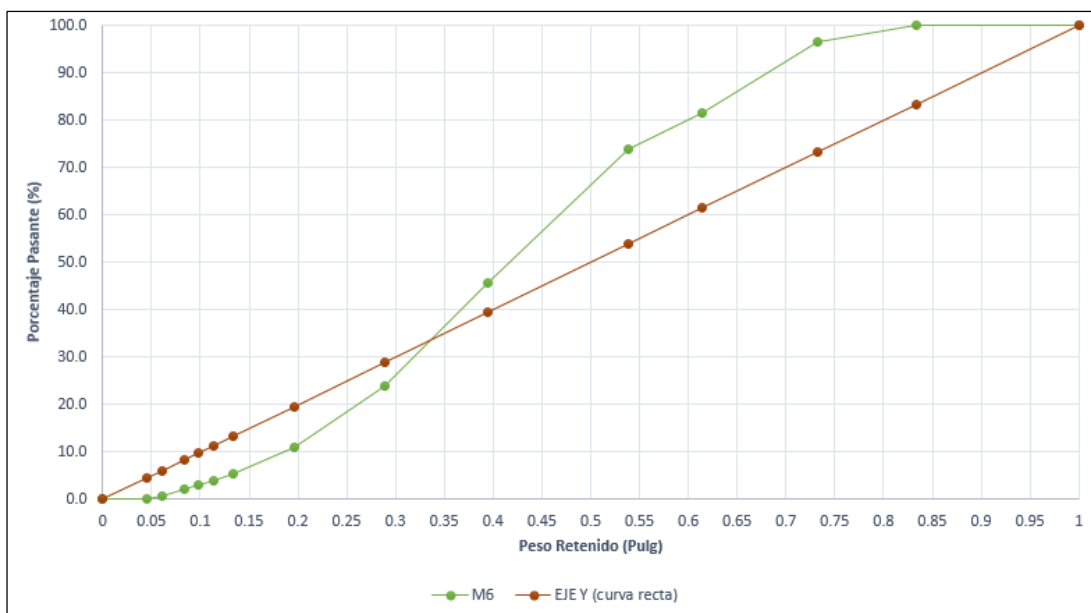


Figura 43: Curva de potencia 0.45 para la muestra 6 (M-6)

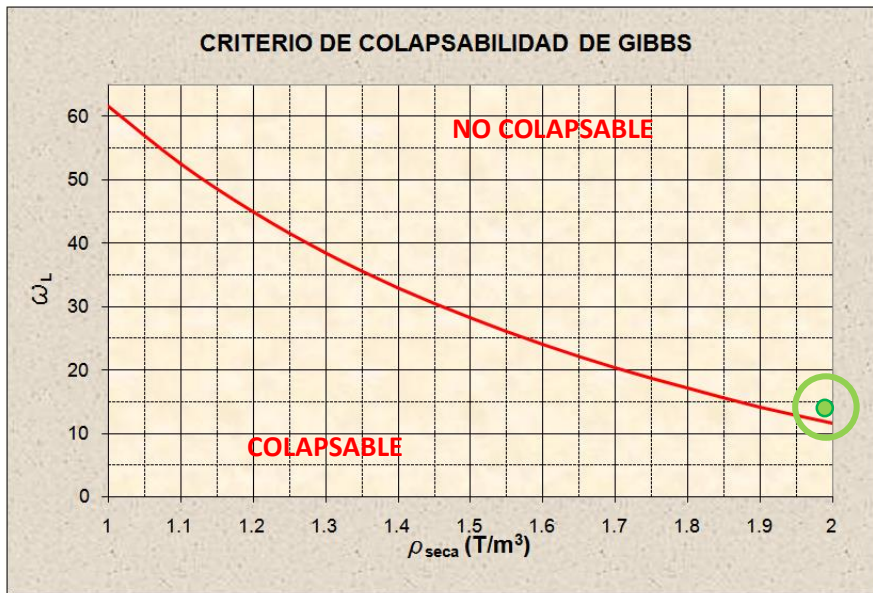


Figura 44. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-6)

- **MUESTRA 7: (3 lastre + 5 voladura + 5 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 45 se puede observar, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 se incrementa voladura, lastre y rechazado, el cual distorsiona la curva granulométrica, variando demasiado con respecto a los husos, por demasiada cantidad de material de voladura, concluyendo un **SUELO MAL GRADUADO**.

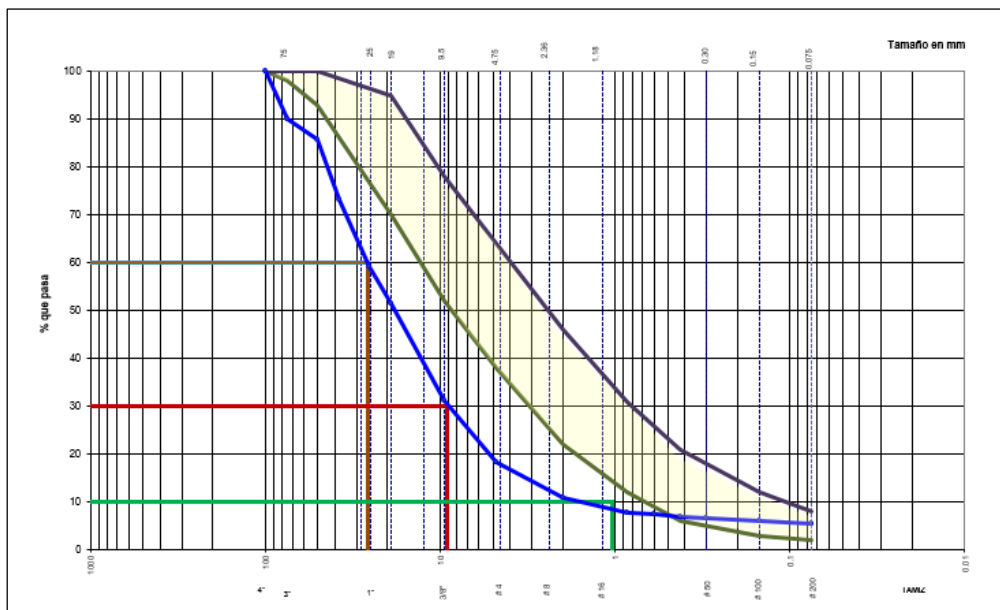


Figura 45: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 7 (M -7)

En la Figura 46 para la muestra 7, con el material incrementado, indicado anteriormente, hace que la curva mejore considerablemente, adecuándose más a la línea de potencia 0.45 en los tamices de 2" a ¾", sin embargo, se recomienda aumentar la cantidad de rechazado para llegar a lo estimado, **SUELO CON DENSIDAD REGULAR.**

En la Figura 46 se puede observar para la muestra 6, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 2.126$$

Concluyendo que para la M-7, con un LL=8.58, el material corresponde a un **SUELO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

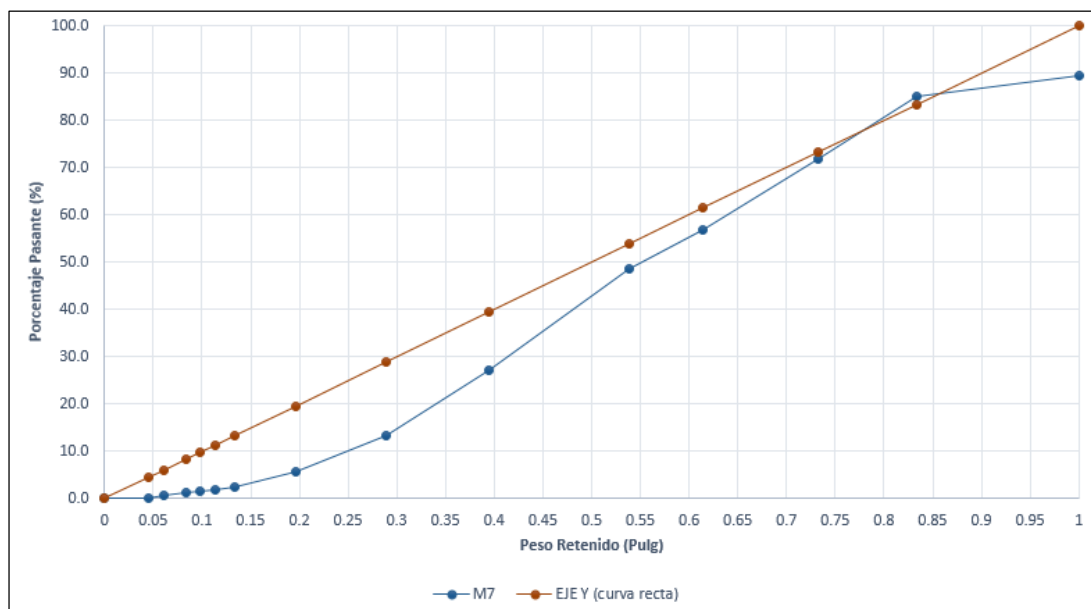


Figura 46: Curva de potencia 0.45 para la muestra 7 (M-7)

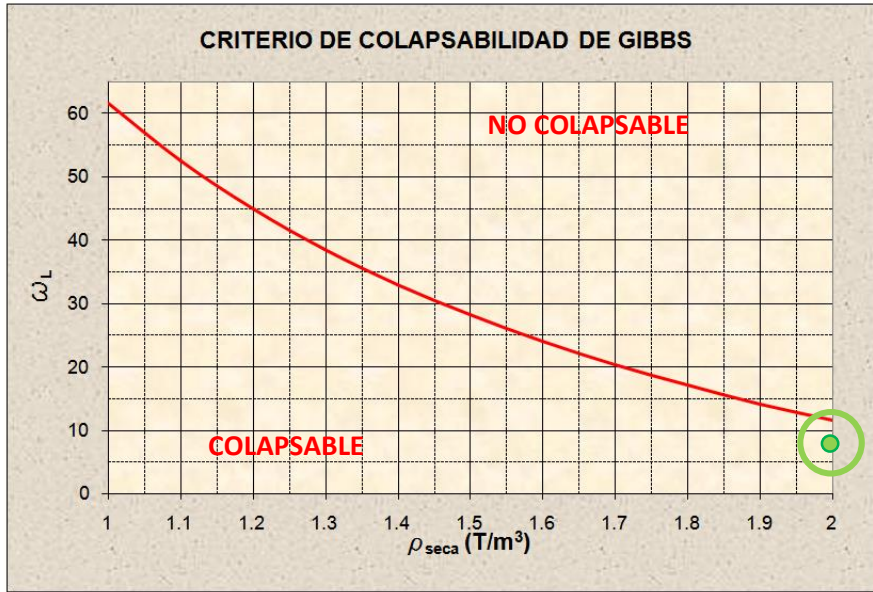


Figura 47. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-7)

- **MUESTRA 8: (1 lastre + 1 voladura + 7 rechazado + 2 morrena)**

En la Figura 48, variamos el lastre, voladura, rechazado y morrena, realizando el análisis por tamizado ASMT D422 y D1140, observamos una mejora con respecto a los tamices 3” al #20, limitándose al huso de material grueso, **SUELO CON GRADACION REGULAR.**

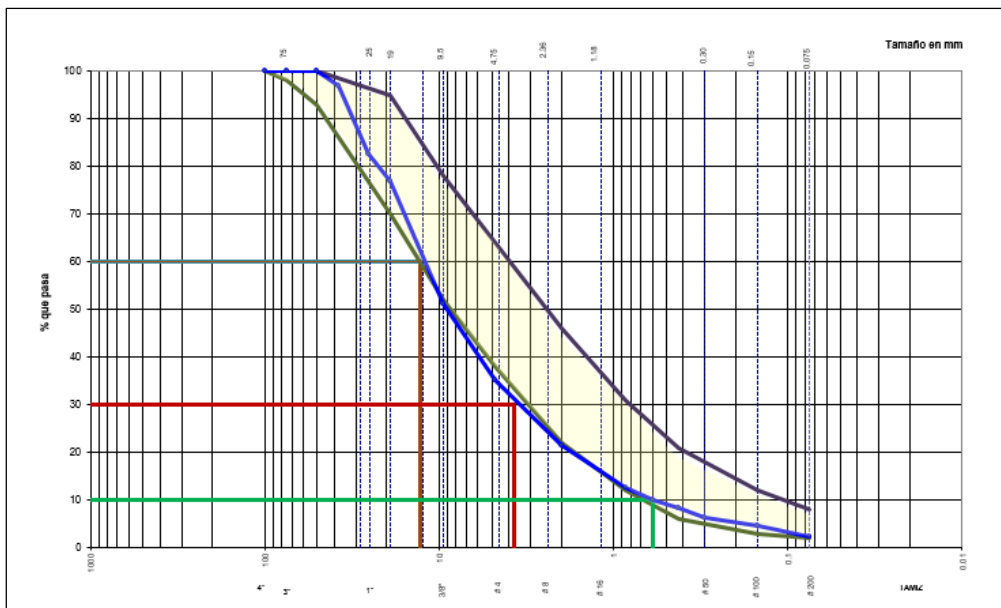


Figura 48: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 8 (M -8)

En la Figura 49 se puede observar que para la muestra 8 según la Curva de potencia 0.45 hay una variación completa entre gruesos y finos, por la disminución de material lastre y voladura, obteniendo un mayor porcentaje pasante en los tamices 2" a 3/8", alejándose de la línea de potencia estimada, concluyendo **SUELO CON MALA DENSIDAD**.

En la Figura 50 se puede observar para la muestra 8, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.699$$

Concluyendo que para la M-8, con un LL=20.42, el material corresponde a un **SUELO NO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

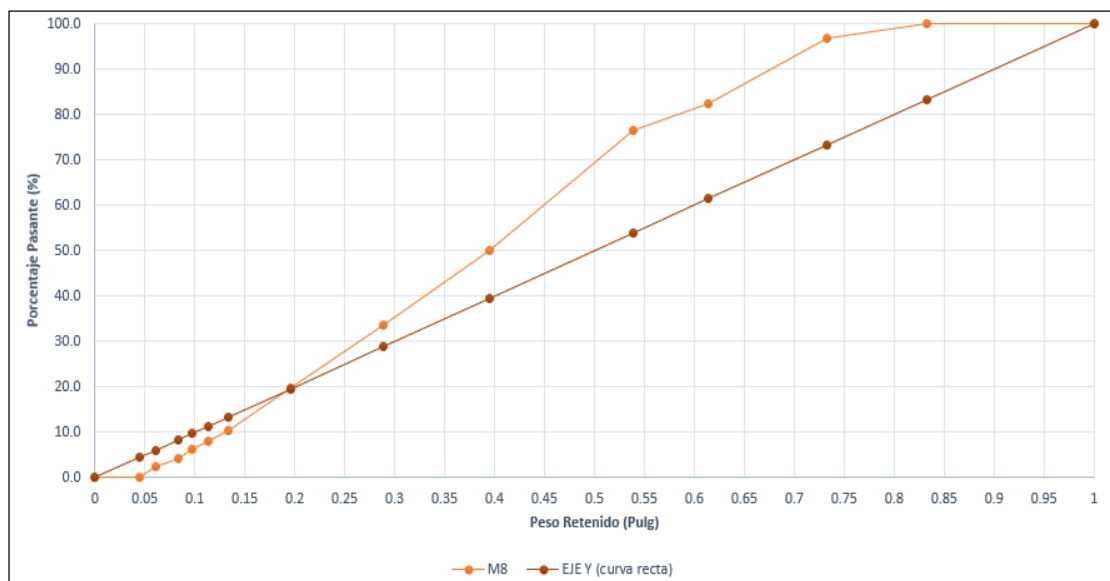


Figura 49: Curva de potencia 0.45 para la muestra 8 (M -8)

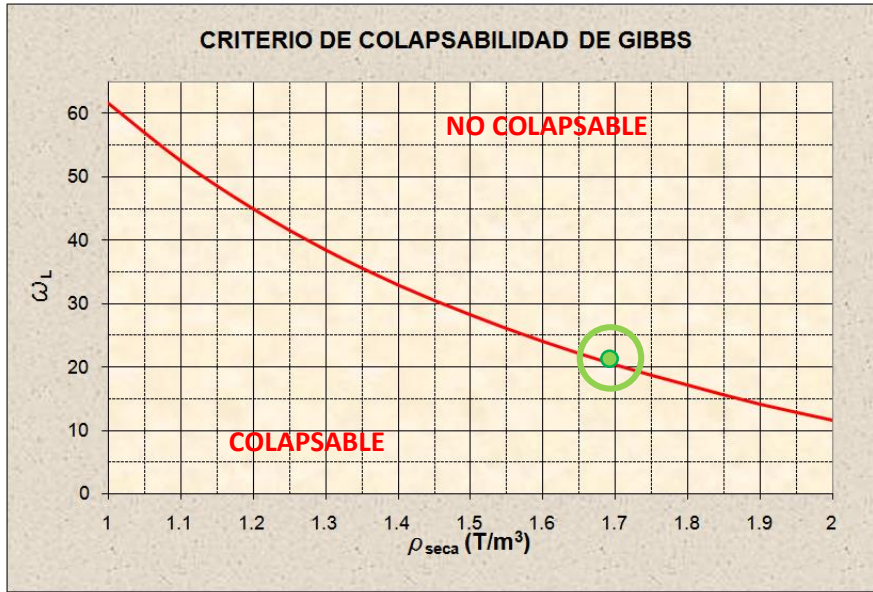


Figura 50. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-8)

- **MUESTRA 9: (1 lastre + 4 voladura + 9 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 51 se observa, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 una curva variada con respecto al anterior en los tamices 3/8" al #200, distanciándose de los husos según diseño, se recomienda disminuir la cantidad de voladura y rechazado, para afinarlo dentro de lo estimado, concluyendo **SUELO MAL GRADUADO**.

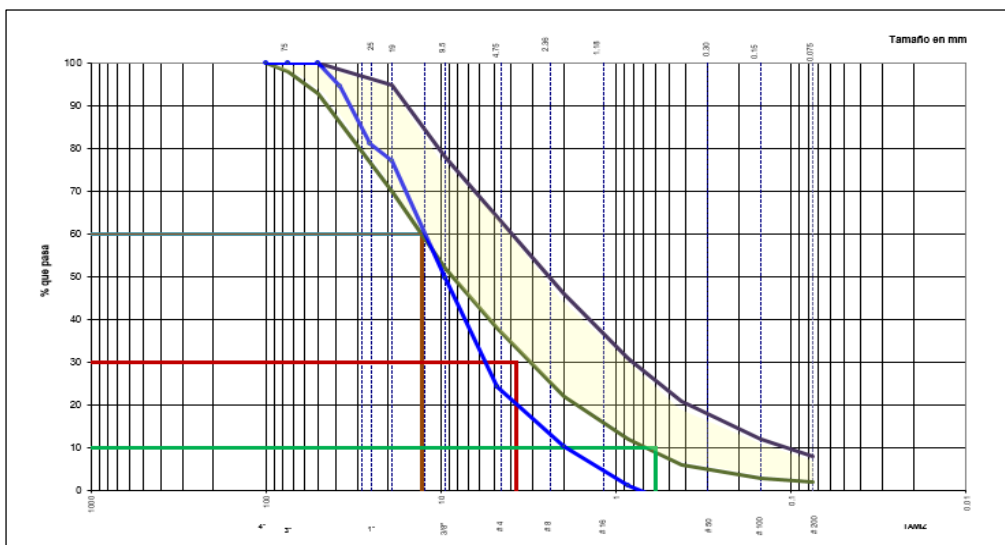


Figura 51: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 9 (M -9)

En la Figura 52 se puede observar para la muestra 9 según la Curva de potencia 0.45 una variación mínima con respecto a la M-8, en los tamices 2” a 3/8”, concluyendo **SUELO CON MALA DENSIDAD.**

En la Figura 53 se puede observar para la muestra 9, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.933$$

Concluyendo que para la M-9, con un LL=13.27, el material corresponde a un **SUELO NO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

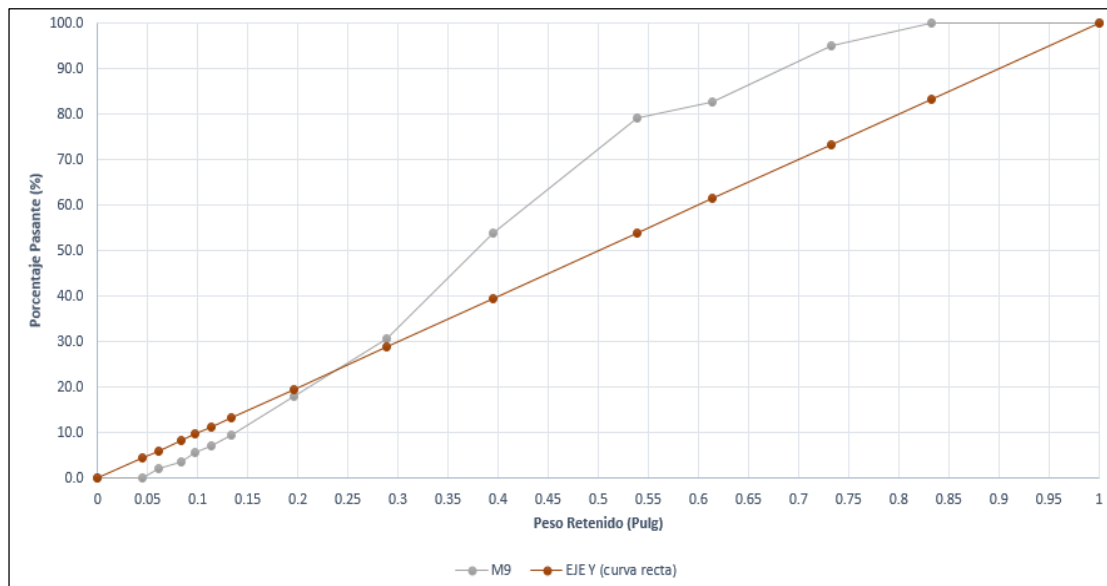


Figura 52: Curva de potencia 0.45 para la muestra 9 (M-9)

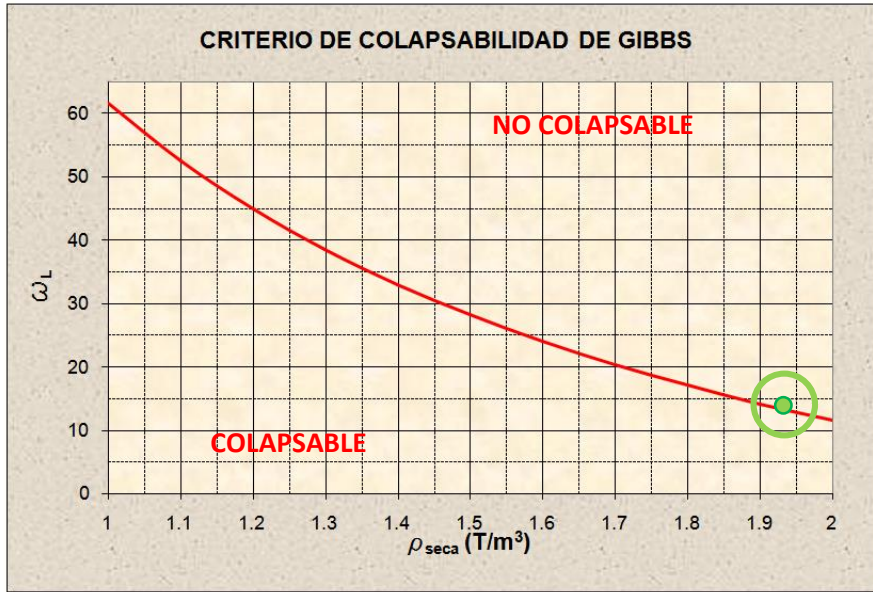


Figura 53. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-9)

- **MUESTRA 10: (1 lastre + 3 voladura + 6 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 54 se puede observar para la muestra 10, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 I, una gran mejora en la curva, ingresando dentro de los husos en su totalidad, pues se concluye un **SUELO CON BUENA GRADACIÓN**, sin embargo, se recomienda mayor cantidad de gruesos para darle rigidez y soporte a la vía.

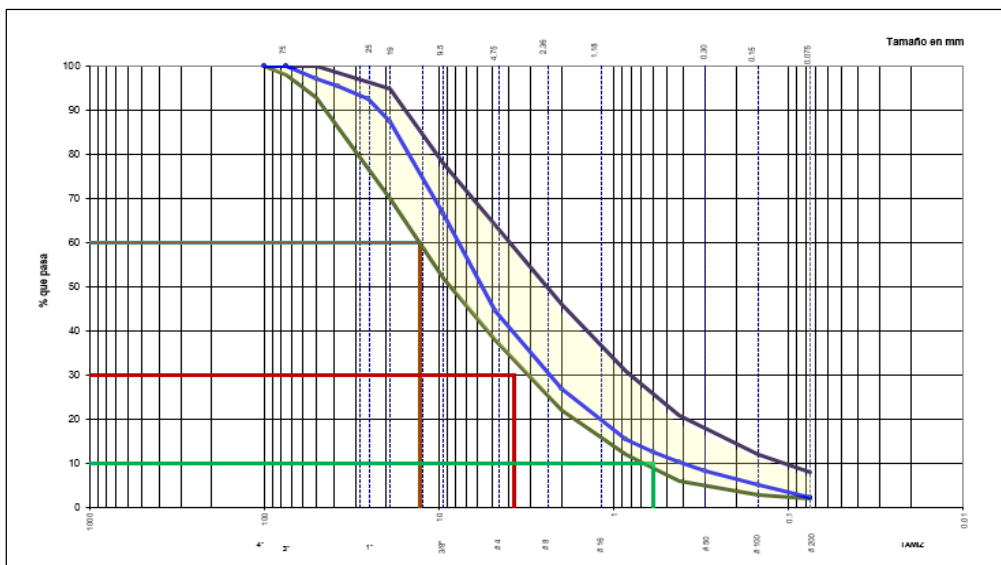


Figura 54: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 10 (M -10)

En la Figura 55 se puede observar para la muestra 10 en la Curva de potencia 0.45 un ligero alejamiento con respecto a la M-9, distanciándose por completo de la línea de densidad estimada, esto se debe al porcentaje entre finos y gruesos, se recomienda incrementar material lastre, concluyendo un **SUELO CON MALA DENSIDAD**.

En la Figura 56 se puede observar la misma dosificación de mezcla, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.88$$

Concluyendo que para la M-10, con un LL=14.67, el material corresponde a un **SUELO COLOPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

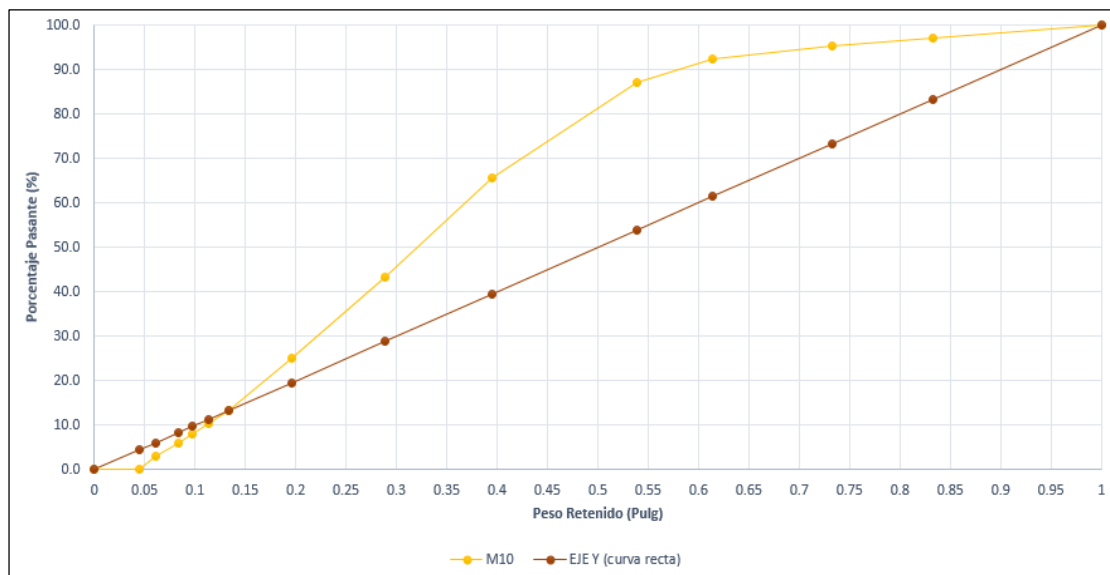


Figura 55: Curva de potencia 0.45 para la muestra 10 (M-10)

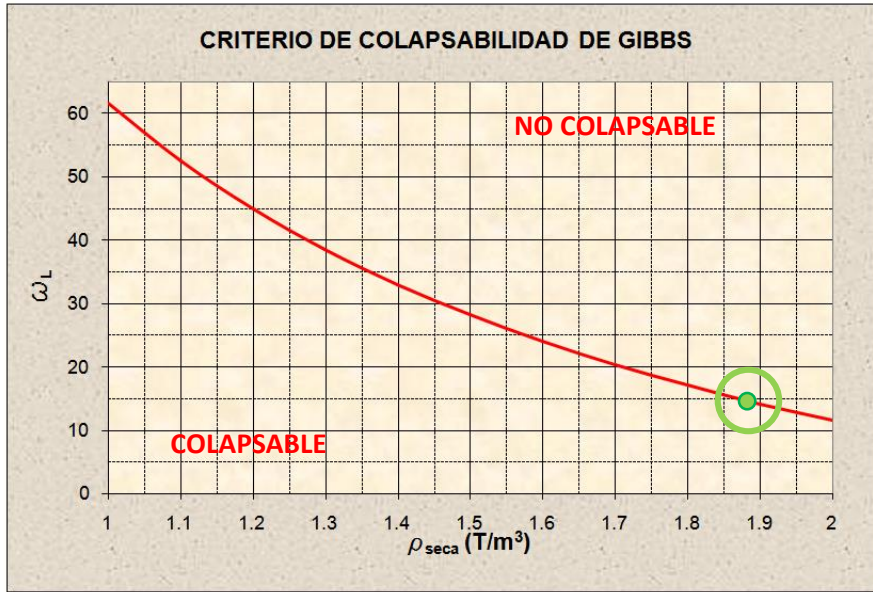


Figura 56. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-10)

- **MUESTRA 11: (2 lastre + 4 voladura + 8 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 57 para la muestra 11, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 se obtiene una curva regularmente fuera de los husos según diseño, en los tamices 3/4" al # 20, concluyendo **SUELO MAL GRADUADO**.

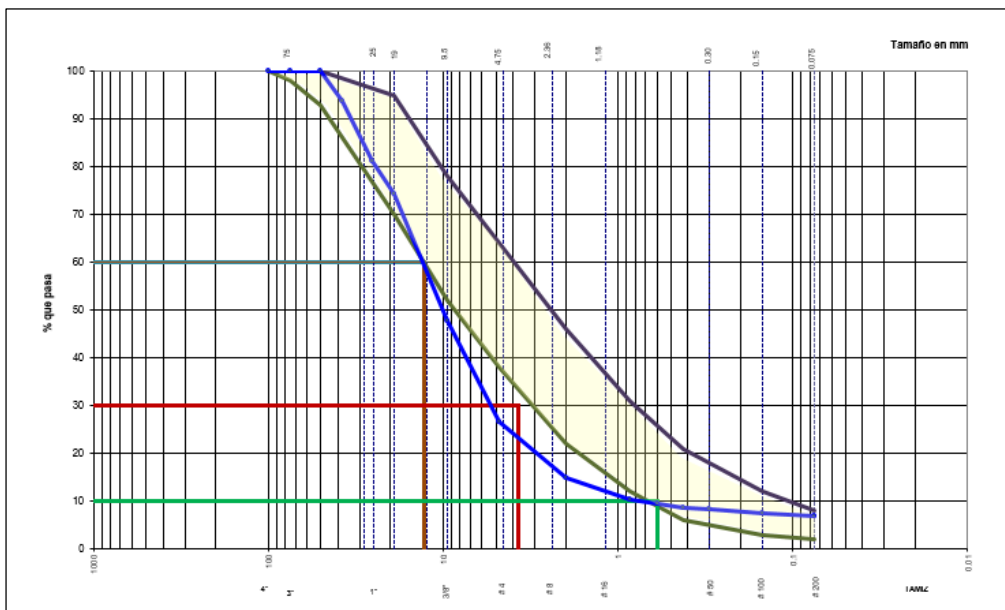


Figura 57: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 11 (M -11)

En la Figura 58 para la muestra 11, según la Curva de potencia 0.45 se logra percibir un reajuste de la curva, gracias al incremento del material de voladura, sin embargo se visualiza que el material necesita disminuir la cantidad de rechazado, para equilibrar la densidad, se concluye **SUELO CON MALA DENSIDAD**.

En la Figura 59 se puede observar para la muestra 9, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 2.044$$

Concluyendo que para la M-11, con un LL=10.45, el material corresponde a un **SUELO NO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

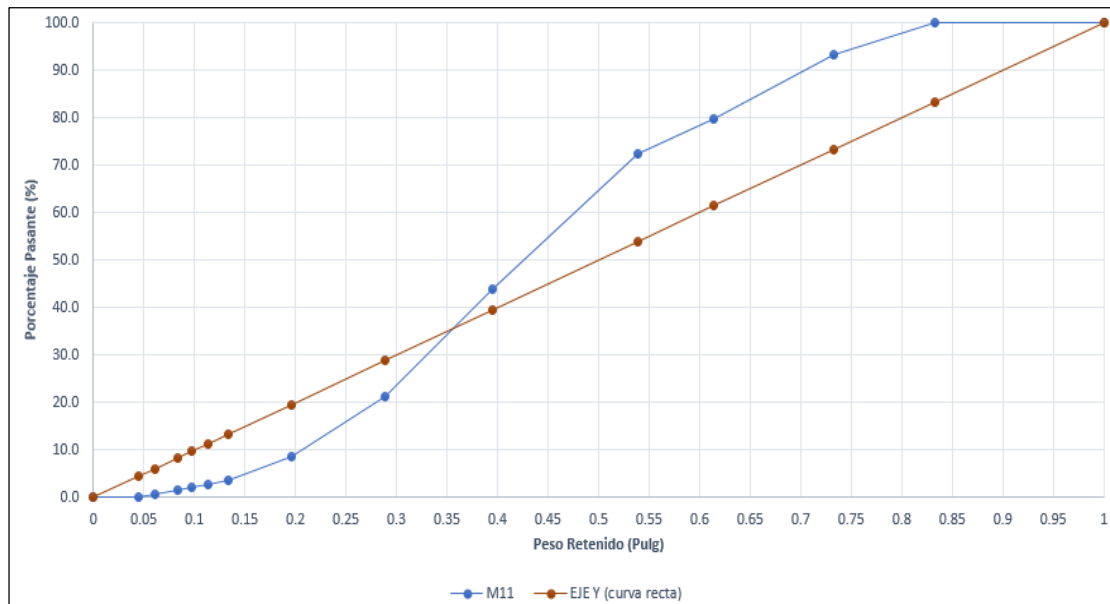


Figura 58: Curva de potencia 0.45 para la muestra 11 (M -11)

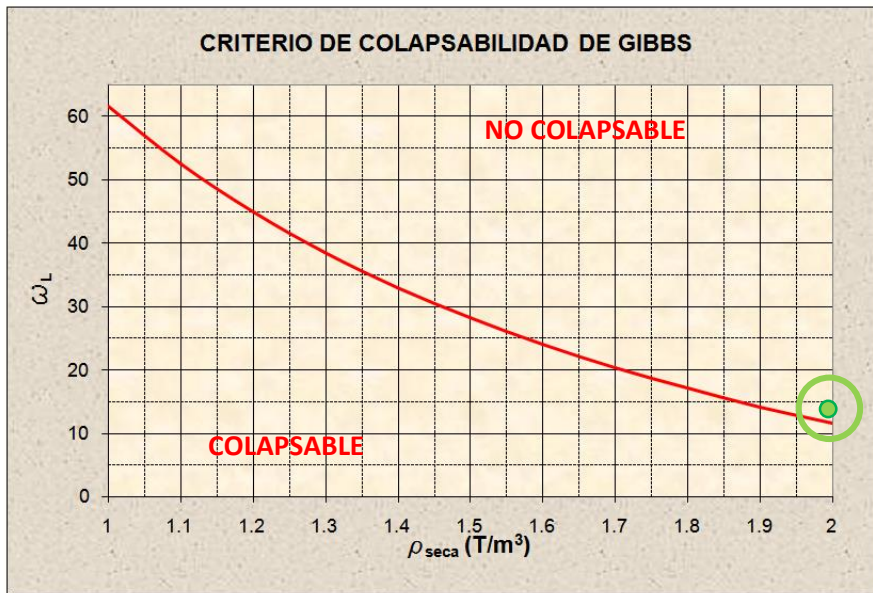


Figura 59. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-11)

- **MUESTRA 12: (2 lastre + 2 voladura + 6 rechazado + 0.5 morrena)**

En la Figura 60 se puede observar para la muestra 12, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, se visualiza una mejora en la curva granulométrica, sin embargo, se requiere mejorar la curva para los tamices #4 al #30, se concluye **SUELO MAL GRADUADO**.

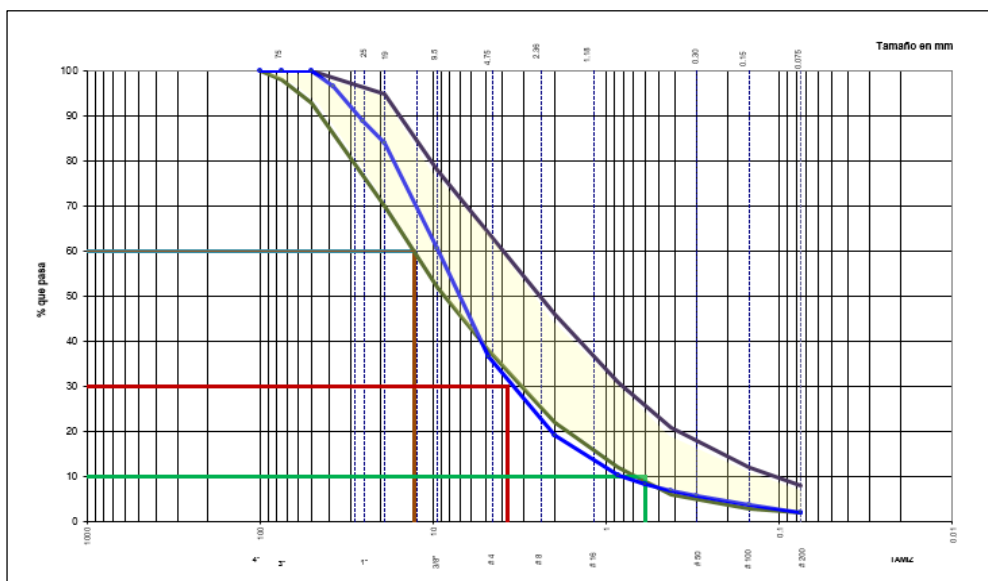


Figura 60: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 12 (M -12)

En la Figura 61 se observa para la Curva de potencia 0.45 un ligero desplazamiento en los tamices de agregado grueso, no obteniendo una buena densidad, seguir disminuyendo la cantidad de material de voladura, **SUELO CON MALA DENSIDAD.**

En la Figura 62 se puede observar para la muestra 12, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.895$$

Concluyendo que para la M-12, con un LL=14.32, el material corresponde a un **SUELO COLAPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

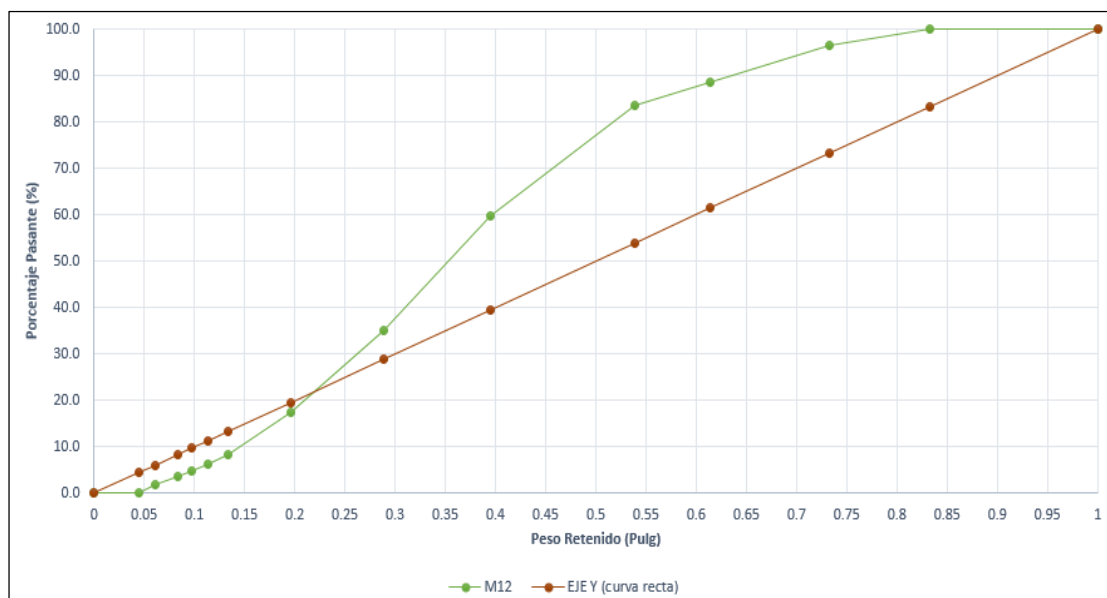


Figura 61: Curva de potencia 0.45 para la muestra 12 (M-12)

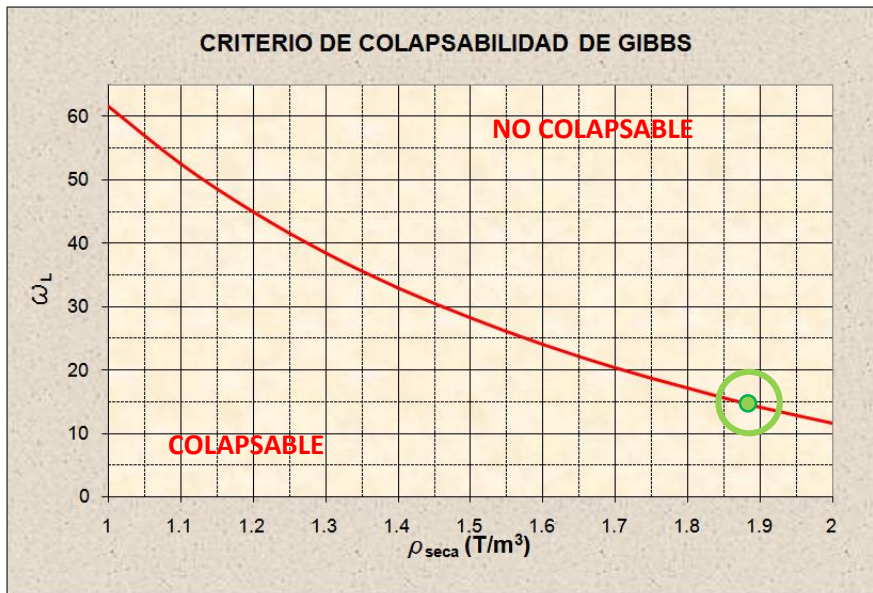


Figura 62. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-12)

- **MUESTRA 13: (3 lastre + 0.5 voladura + 6 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 63 según granulométrico por tamizado ASMT D422 y D1140 una curva mejorada con el tamiz de 3/8" fuera de los husos, se recomienda mantener la dosificación entera para el material de voladura, se concluye **SUELO CON GRADACIÓN REGULAR.**

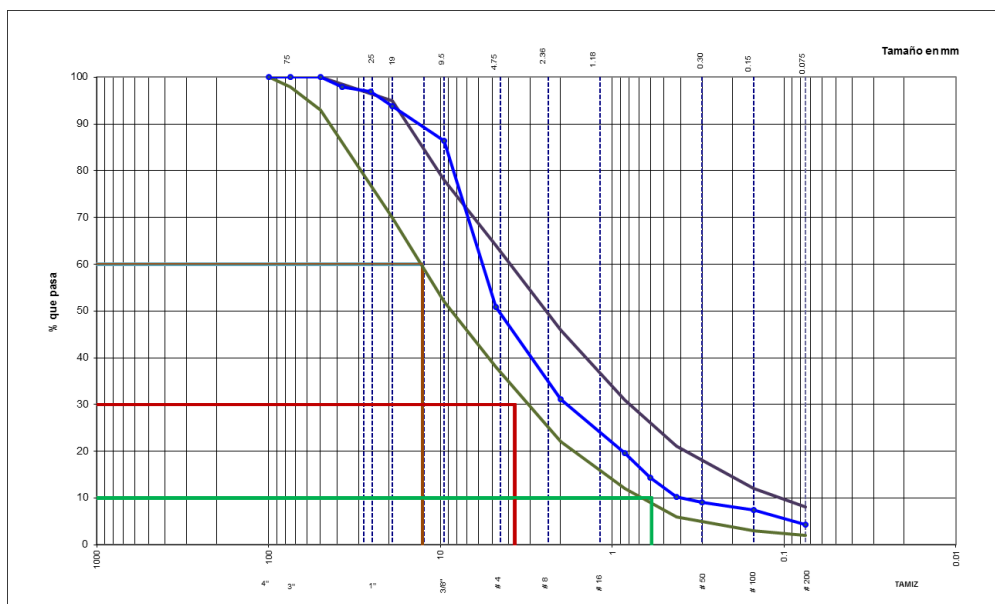


Figura 63: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 13 (M -13)

En la Figura 64 se puede observar para la muestra 13, según la Curva de potencia 0.45 se percibe una gran mejora, afinándose más a la curva de potencia deseada, con el incremento de 1 dosificación adicional de material de lastre (hace que exista mayor peso retenido), a la vez se completó a 1 dosificación entera a la morrena, por lo que se concluye **SUELO CON MALA DENSIDAD**.

En la Figura 65 se puede observar para la muestra 12, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.681$$

Concluyendo que la M-12, con LL=21.02, el material corresponde a un **SUELO NO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

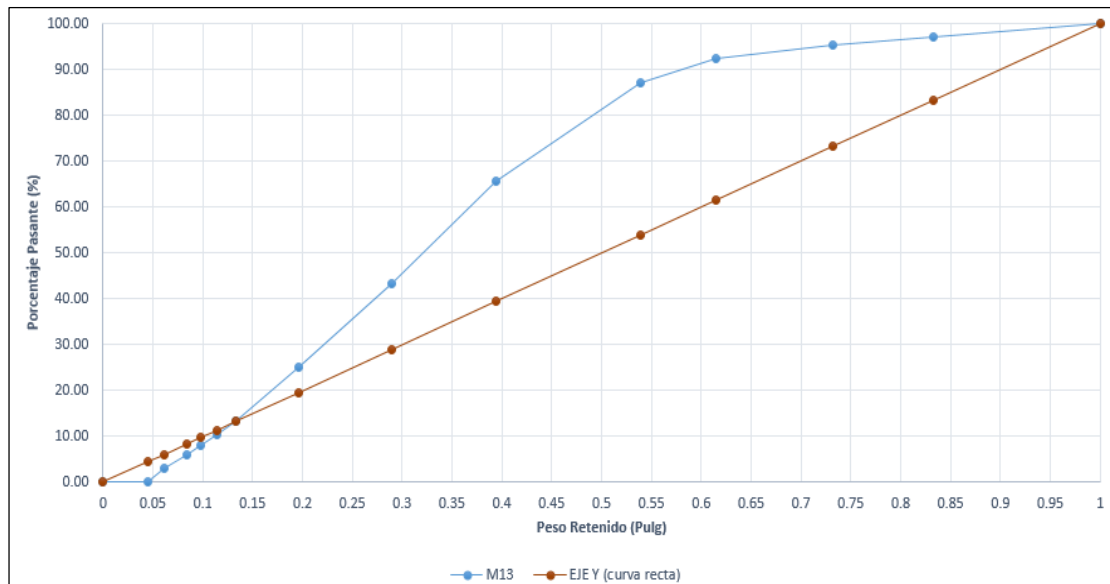


Figura 64: Curva de potencia 0.45 para la muestra 13 (M-13)

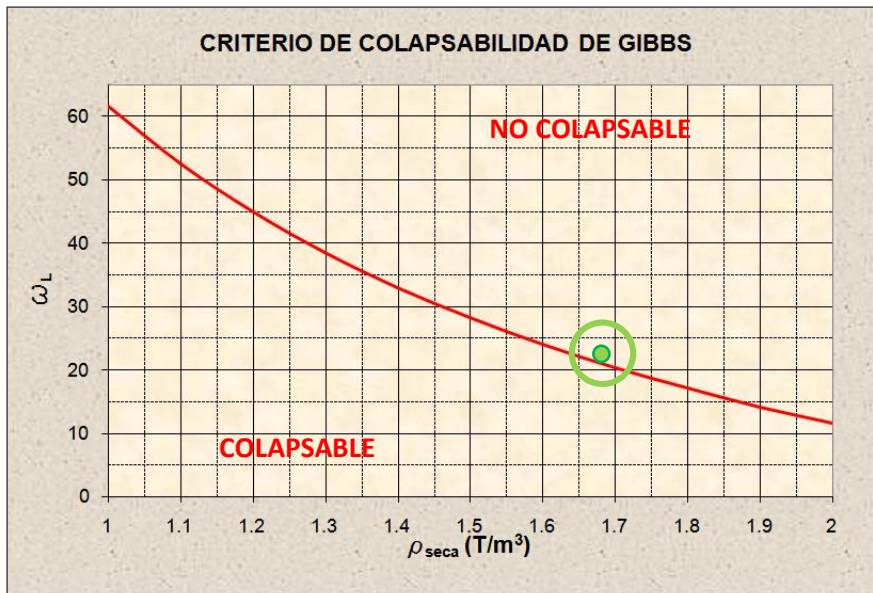


Figura 65. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-13)

- **MUESTRA 14: (3 lastre + 1 voladura + 7 rechazado + 1 morrena)**

En la Figura 64 se puede observar la curva granulométrica final con dosificación deseada, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, con una ligera inclinación hacia el material grueso, manteniéndose dentro de los husos según diseño, concluyendo **SUELO BIEN GRADUADO**.

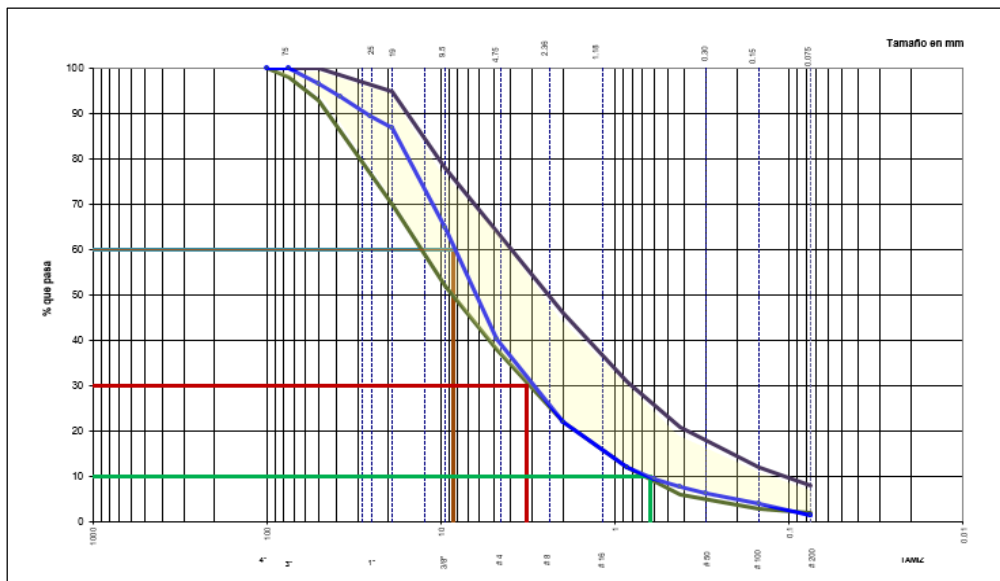


Figura 65: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 14 (M-14)

En la Figura 66 se observa en la Curva de potencia 0.45 una gran diferencia al aumentar 1 dosificación de material rechazado (hace que disminuya el porcentaje pasante, adecuándose casi en todos los tamaños de tamices a la línea recta de la potencia 0.45), llegando a la conclusión que la muestra óptima para una dosificación adecuada es esta última (3L + 1V + 7R + 1M), concluyendo **SUELO CON BUENA DENSIDAD**.

En la Figura 67 se observa la mezcla, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.766$$

Concluyendo que para la M-14, con un LL=18.14, el terreno corresponde a un **SUELO NO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

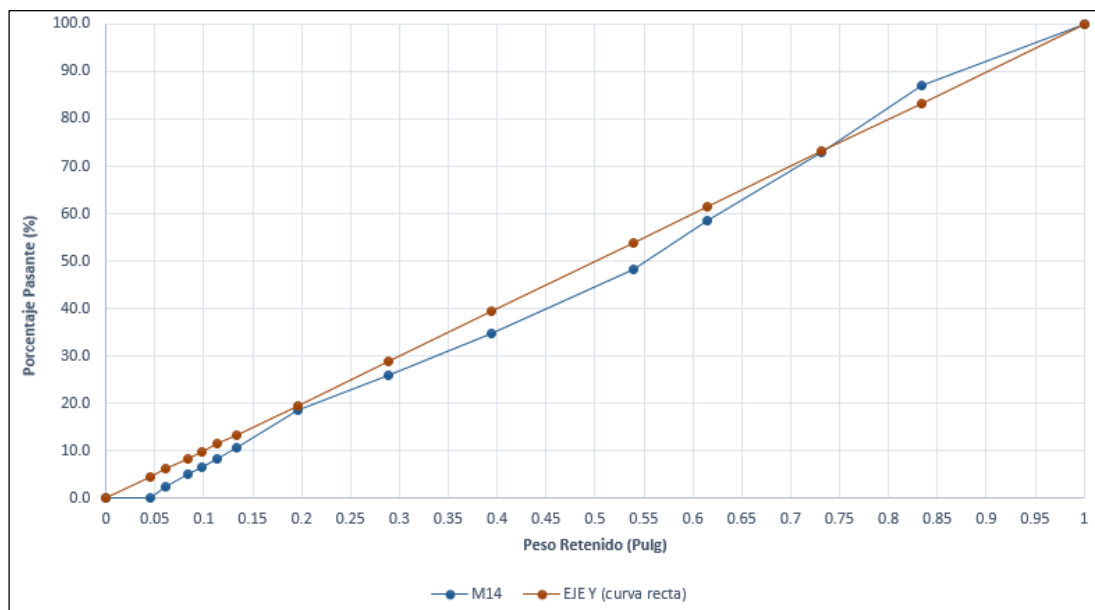


Figura 67: Curva de potencia 0.45 para la muestra 14 (M-14)

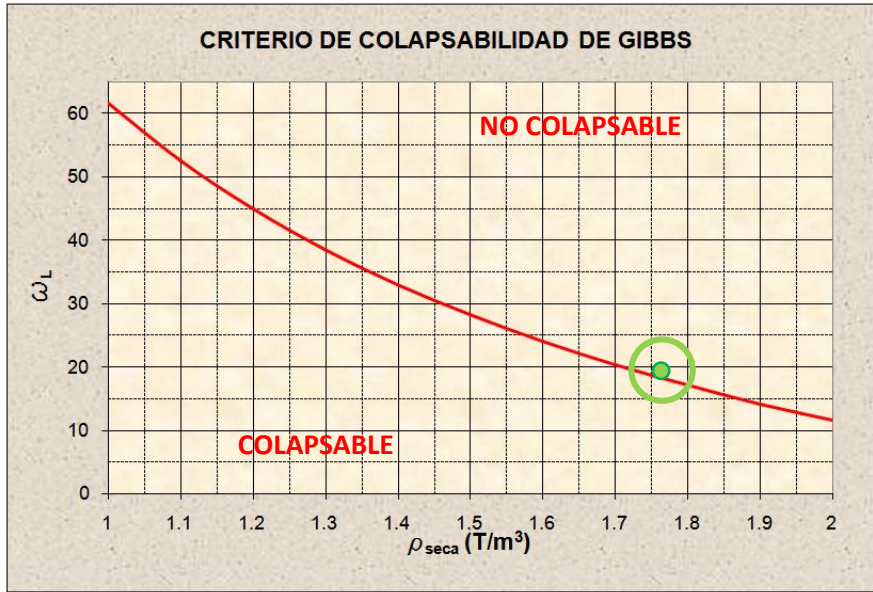


Figura 68. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-14)

- **MUESTRA 15: (2.5 lastre + 1 voladura + 7 rechazado + 0.5 morrena)**

En la Figura 69 se observa la curva granulométrica, según análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, con una ligera desviación fuera del huso, concluyendo **SUELO REGULARMENTE GRADUADO**.

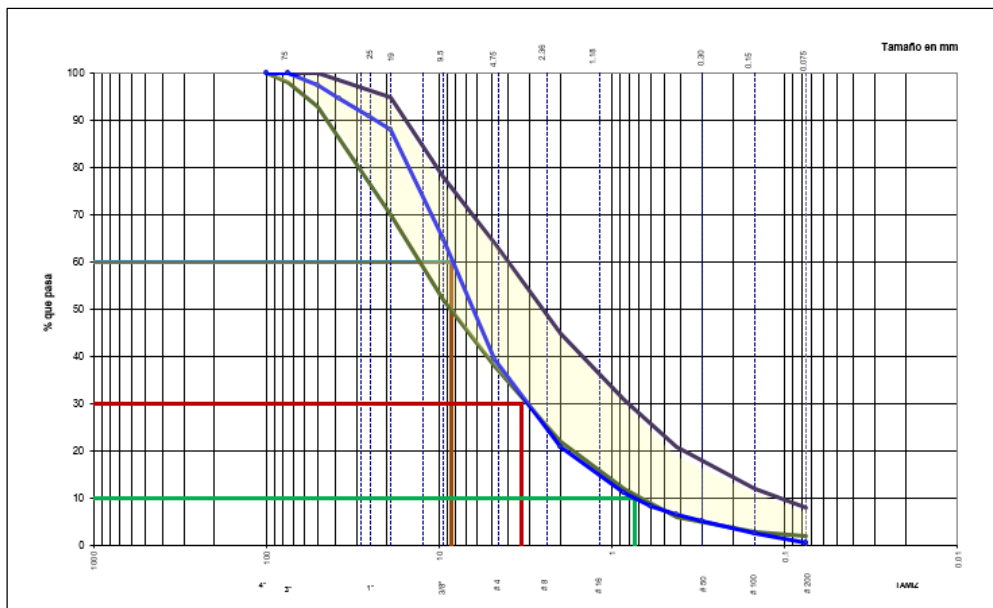


Figura 69: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 15 (M-15)

En la Figura 70 se observa en la Curva de potencia 0.45 una gran diferencia al aumentar material lastre, adecuándose casi en todos los tamaños de tamices a la línea recta de la potencia 0.45, llegando a la conclusión que la muestra óptima para una dosificación adecuada, concluyendo **SUELO CON BUENA DENSIDAD**.

En la Figura 71 se observa la mezcla, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.935$$

Concluyendo que para la M-15, con un LL=13.21, el terreno corresponde a un **SUELO COLAPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

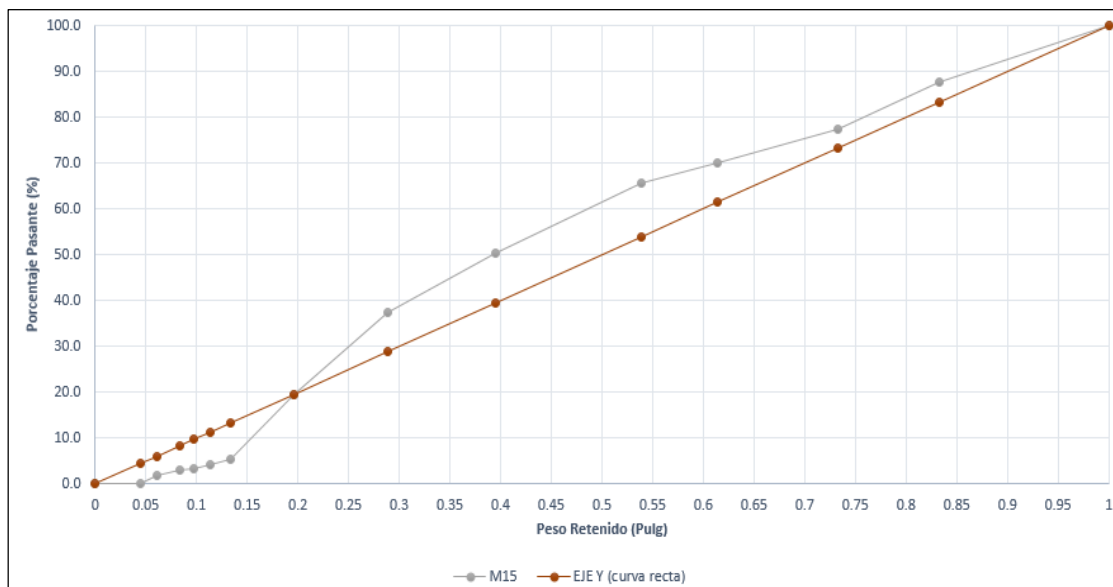


Figura 70: Curva de potencia 0.45 para la muestra 15 (M-15)

Figura 72: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 16 (M-16)

En la Figura 73 se observa en la Curva de potencia 0.45 un ligero distanciamiento con respecto a la curva de potencia 0.45, concluyendo **SUELO CON DENSIDAD REGULAR**.

En la Figura 74 se observa la mezcla, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.570$$

Concluyendo que para la M-16, con un LL= 25.22, el terreno corresponde a un **SUELO COLAPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

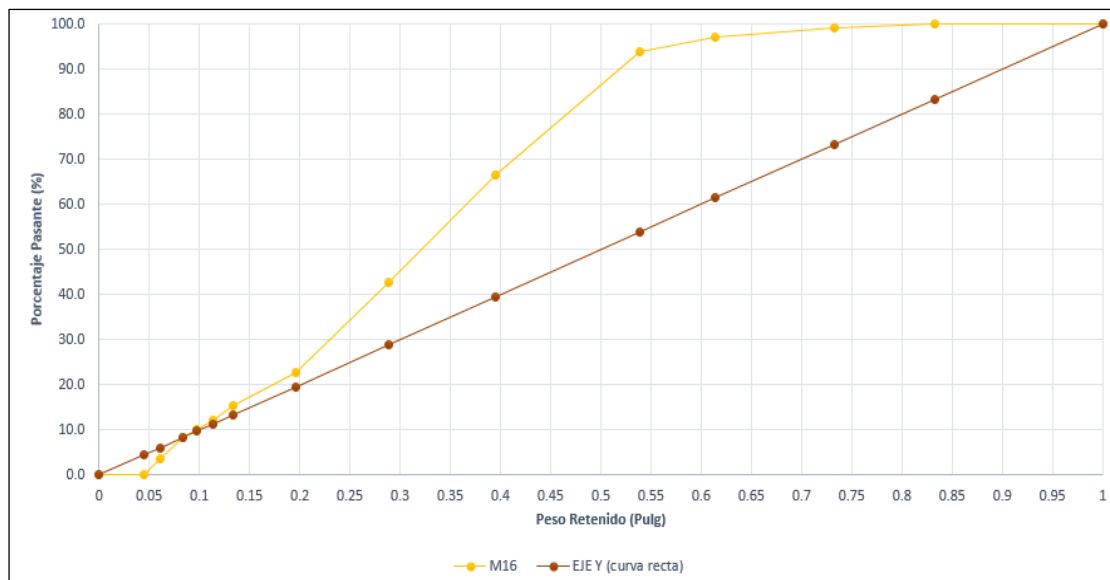


Figura 73: Curva de potencia 0.45 para la muestra 16 (M-16)

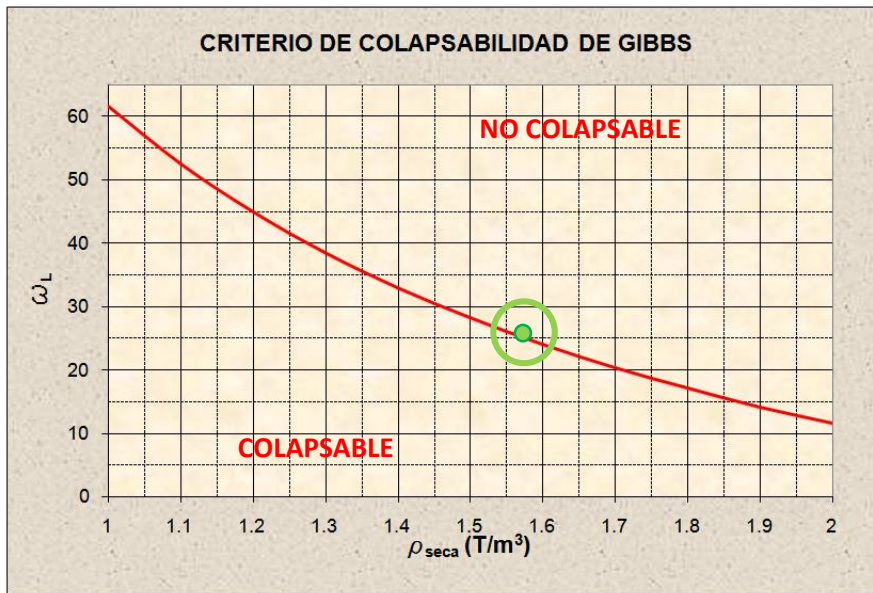


Figura 74. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-16)

- **MUESTRA 17: (1 lastre + 2 voladura + 7 rechazado + 2 morrena)**

En la Figura 75 se observa la curva granulométrica final con dosificación deseada, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, con una ligera desviación en los tamices de menor diámetro, concluyendo **SUELO BIEN GRADUADO**.

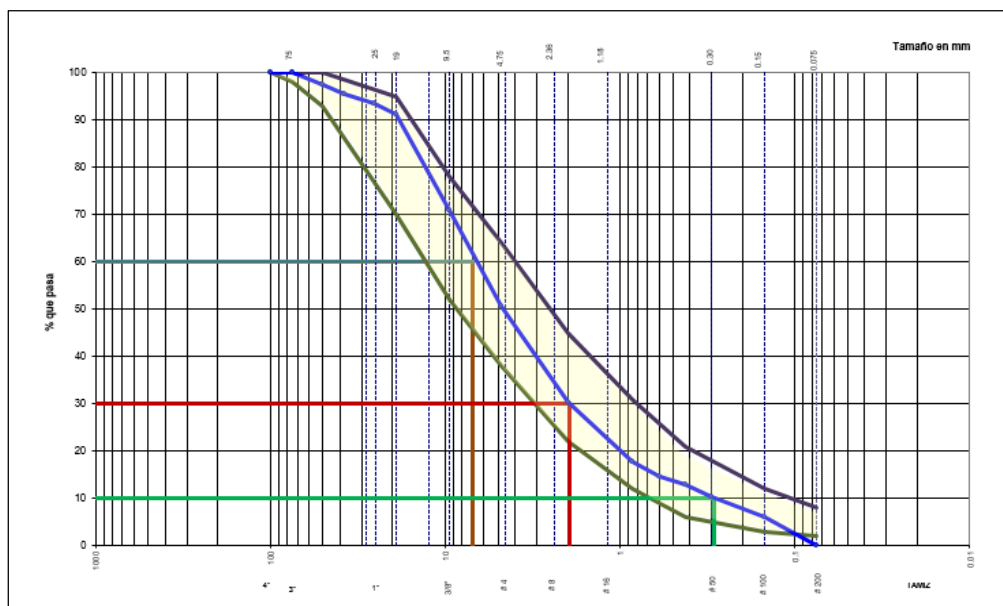


Figura 75: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 17 (M-17)

En la Figura 76 se observa en la Curva de potencia 0.45 una gran distancia y alejamiento con respecto a la curva patrón 0.45, concluyendo **SUELO CON MALA DENSIDAD**.

En la Figura 77 se observa la mezcla, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.527$$

Concluyendo que para la M-17, con un LL= 27.04, el terreno corresponde a un **SUELO COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

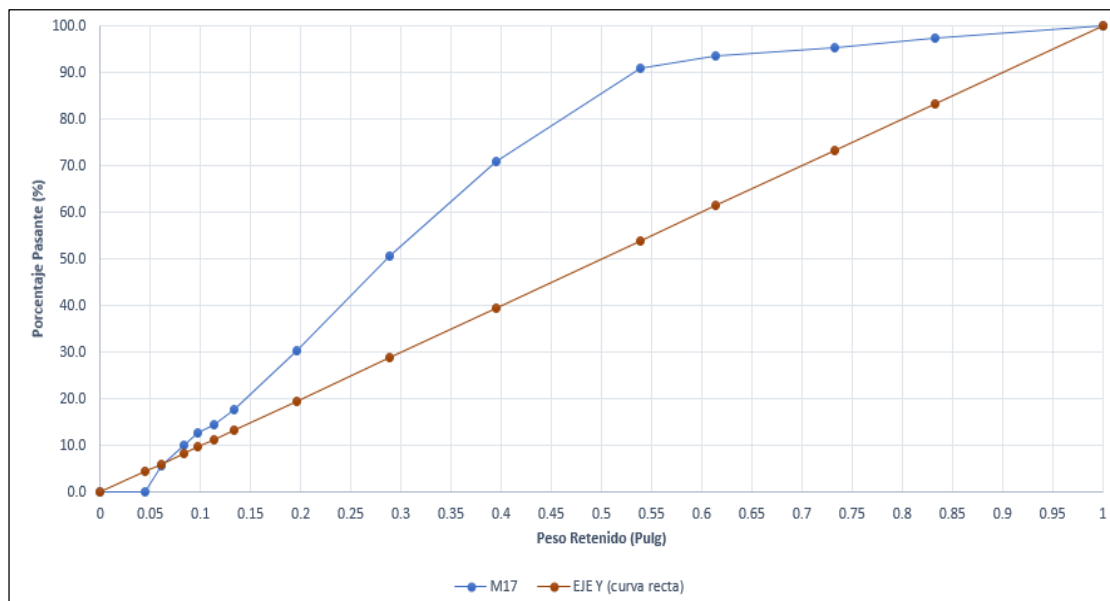


Figura 76: Curva de potencia 0.45 para la muestra 17 (M-17)

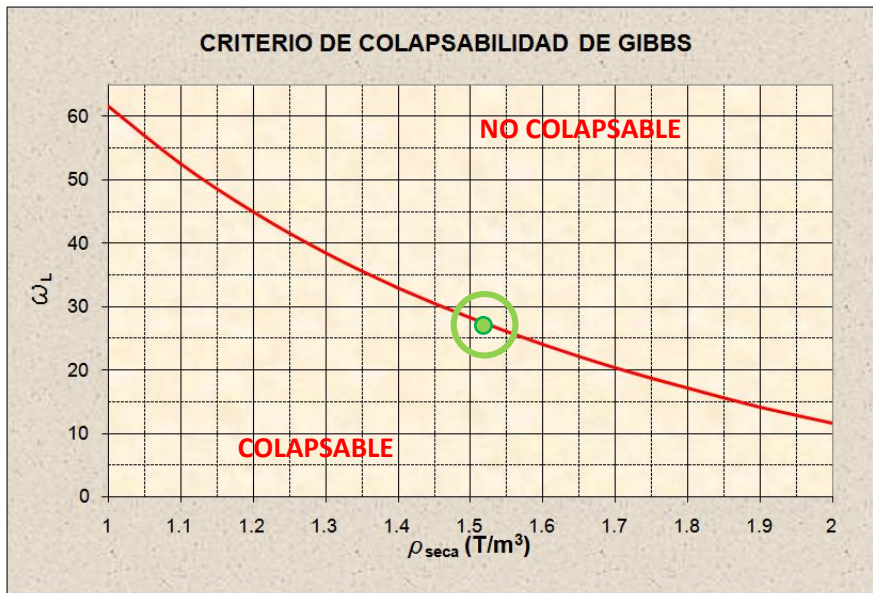


Figura 77. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra (M-17)

- **MUESTRA 18: (1 lastre + 2 voladura + 7 rechazado + 1.5 morrena)**

En la Figura 78 se puede observar la curva granulométrica, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, con una ligera inclinación hacia el material grueso, manteniéndose dentro de los husos según diseño, concluyendo **SUELO BIEN GRADUADO**

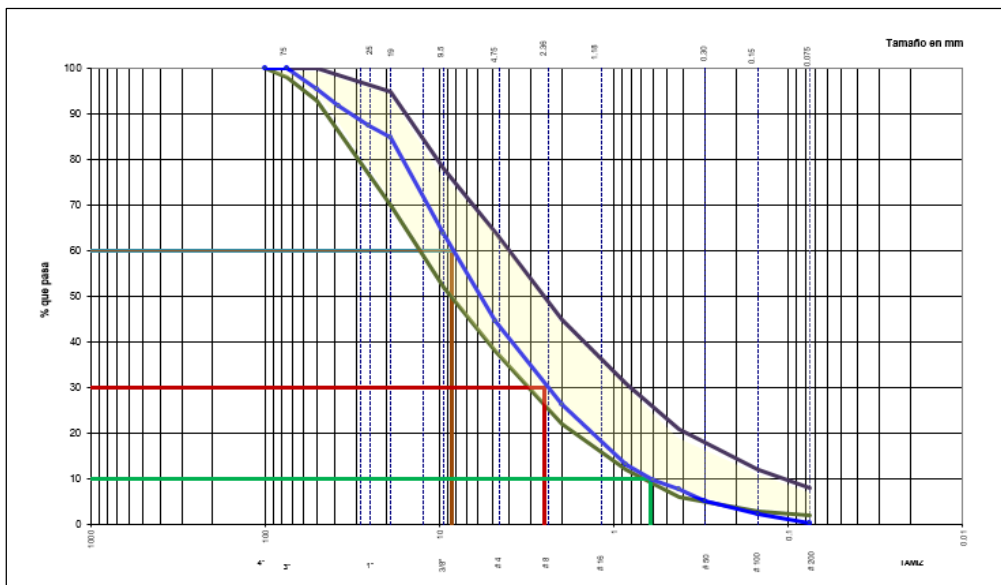


Figura 78: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra 18 (M-18)

En la Figura 79 se observa en la Curva de potencia 0.45 una distancia con respecto a la curva de potencia patrón 0.45, por la cantidad de material de voladura insertada, concluyendo **SUELO CON MALA DENSIDAD.**

En la Figura 80 se observa la mezcla, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 1.661$$

Concluyendo que para la M-18, con un LL= 21.75, el terreno corresponde a un **SUELO COLAPSABLE REGULAR** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

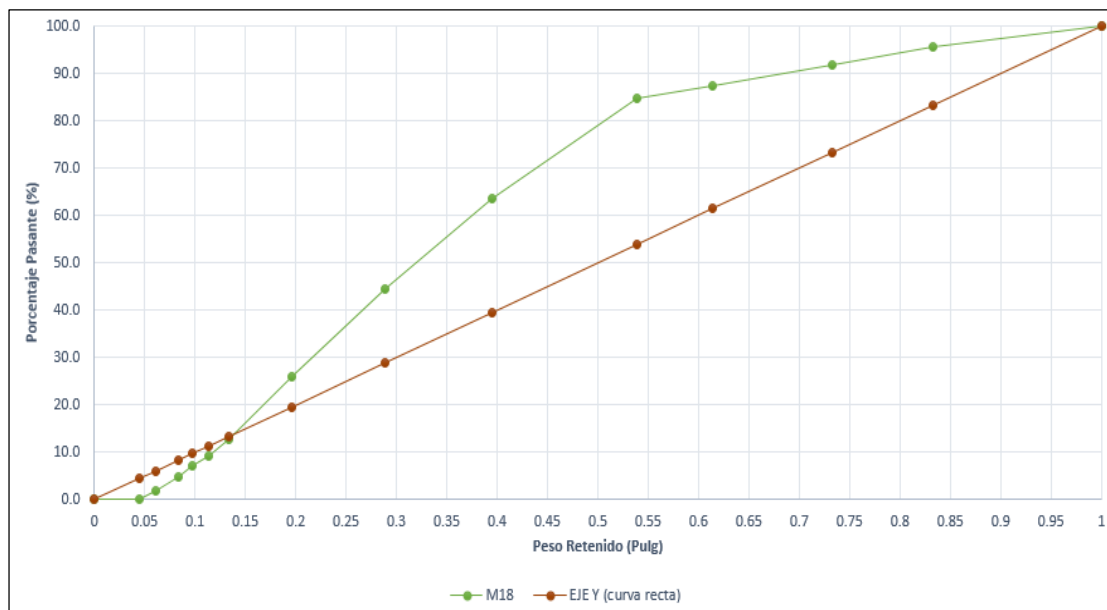


Figura 79: Curva de potencia 0.45 para la muestra 18 (M-18)

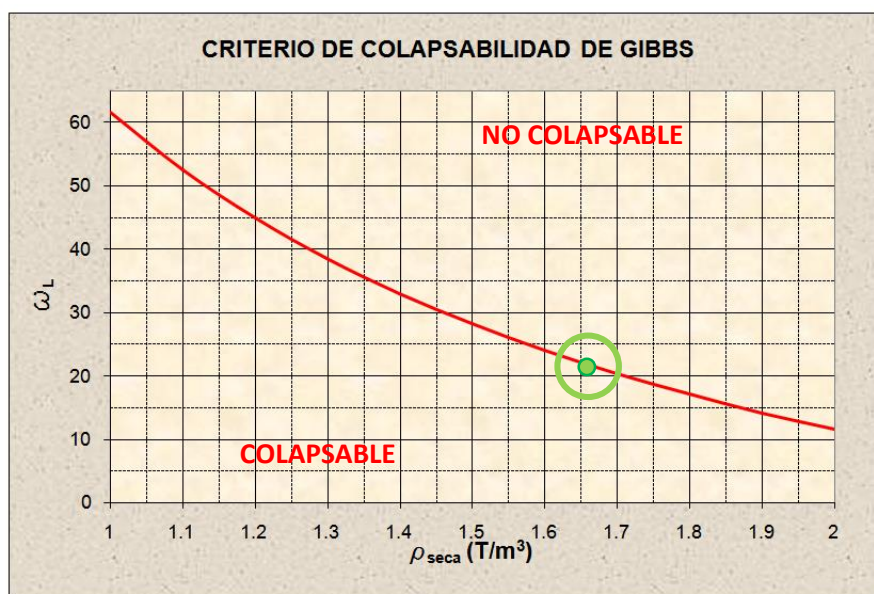


Figura 80. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra 18 (M-18)

A continuación, la Tabla 8 muestra el resumen con respecto a la evaluación de las 18 muestras para obtener la de mejor dosificación adecuada, mediante un “NO CUMPLE”, “SI CUMPLE” y “REGULAR”, en base a un análisis visual de acuerdo a los parámetros establecidos por cada tipo de criterio de evaluación (Gradación, curva 0.45 y Gibbs).

Tabla 8: Cuadro resumen de evaluación de criterios a las 17 muestras

EVALUACIÓN	GRADACIÓN	CURVA 0.45	GIBBS
M-1	NO CUMPLE	REGULAR	REGULAR
M-2	NO CUMPLE	REGULAR	NO CUMPLE
M-3	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
M-4	REGULAR	NO CUMPLE	REGULAR
M-5	NO CUMPLE	REGULAR	NO CUMPLE
M-6	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE
M-7	NO CUMPLE	REGULAR	NO CUMPLE
M-8	REGULAR	NO CUMPLE	SI CUMPLE
M-9	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE
M-10	SI CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
M-11	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE
M-12	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
M-13	REGULAR	NO CUMPLE	SI CUMPLE
M-14	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
M-15	REGULAR	SI CUMPLE	REGULAR
M-16	SI CUMPLE	REGULAR	REGULAR
M-17	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
M-18	SI CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR

En la figura 81 se puede observar la evolución de las muestras realizadas según la dosificación aplicada, donde se aprecia que según las pruebas realizadas tanto de gradación, curva 0.45 y Gibbs la muestra 14 es la que mejor evolución ha tenido, cumpliendo con lo requerido.

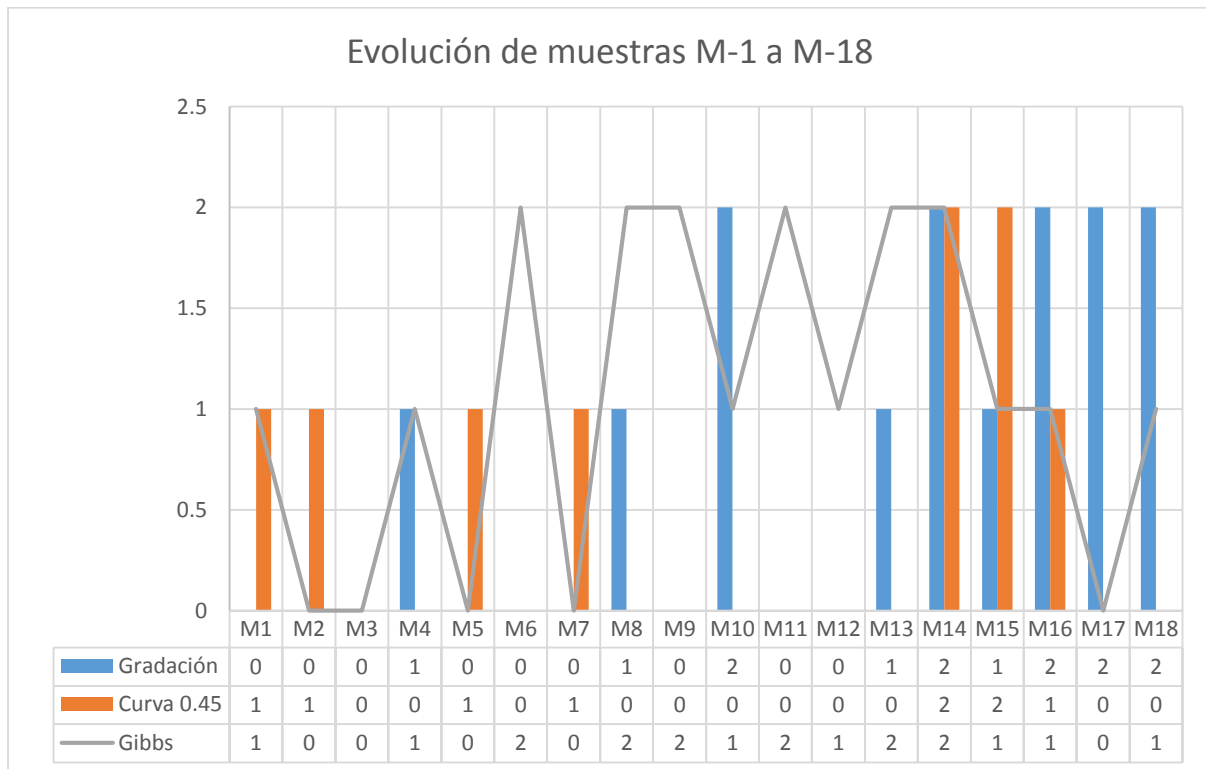


Figura 81. Evolución de las muestras realizadas según la dosificación aplicada

La dosificación que más se adecúa a los husos según el diseño granulométrico, se obtuvo del ensayo de la Muestra 14, para ello el criterio de evaluación resumido para la figura 81, detalla lo siguiente:

- 0: Representa NO CUMPLE
- 1: Representa REGULAR
- 2: Representa SI CUMPLE

El cual para resumir, se detalla que entre las Mezclas 14 al 18 se obtiene mejor gradación, mientras que entre las Mezclas 7 al 14 se obtiene un buen criterio de Gibbs, quiere decir que es menor la probabilidad de colapsabilidad de terreno, mientras que entre las Mezclas 14 al 16 se verifica que entre ellas existe una buena mezcla con densidad adecuada, verificado por la curva de potencia 0.45.

Se visualiza en las Figuras 79, 80 y 81, la evolución por la que desarrollan las curvas granulométricas hasta llegar a la indicada, definiéndose con los husos para una mejor percepción, llegando a la conclusión que la curva perteneciente a la muestra 14 (color azul) es la más adecuada e indicada para desarrollar el proyecto de vías, sumado con los análisis de Evaluación de densidad óptima con la curva de potencia 0.45 y con el Criterio de Colapsabilidad de Gibbs, obteniendo una mejor consolidación.

En las gráficas de la curva de potencia 0.45, Figura 82, 83 y 84 se logra percibir una mejoría con respecto a la curva anterior, obteniendo como resultado la curva de la muestra 14 (color marron) la que más se adecua a la estimada (color plomo), siendo evaluada con la siguiente dosificación: 1 Voladura, 3 Lastre, 7 Rechazado y 1 Morrena, estas serán mezcladas para obtener nuestra Sección con dosificación adecuada, la cual se evaluará con respecto a la Sección control con lastre.

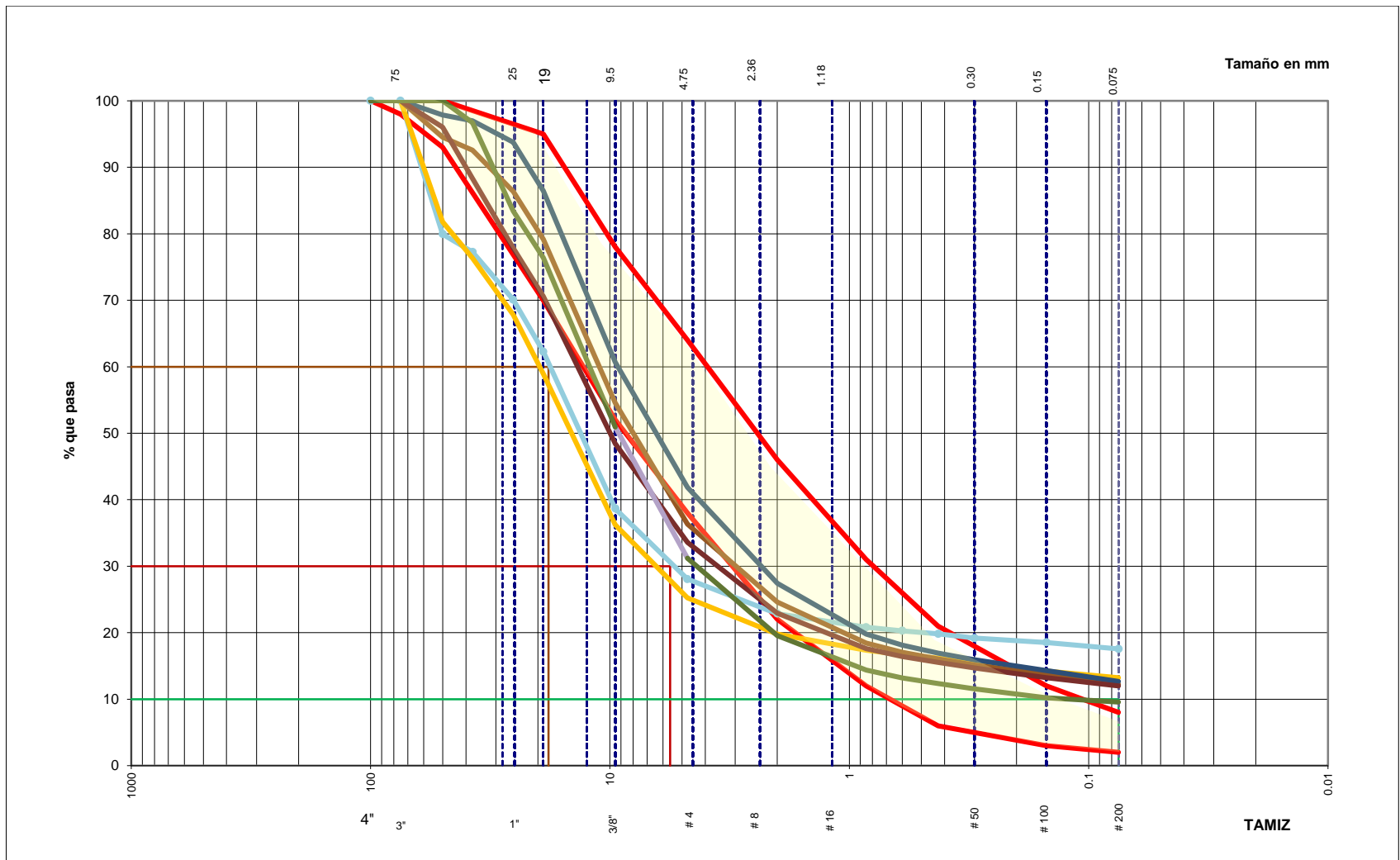


Figura 82. Curvas de granulometría de las M-1 hasta la M-6

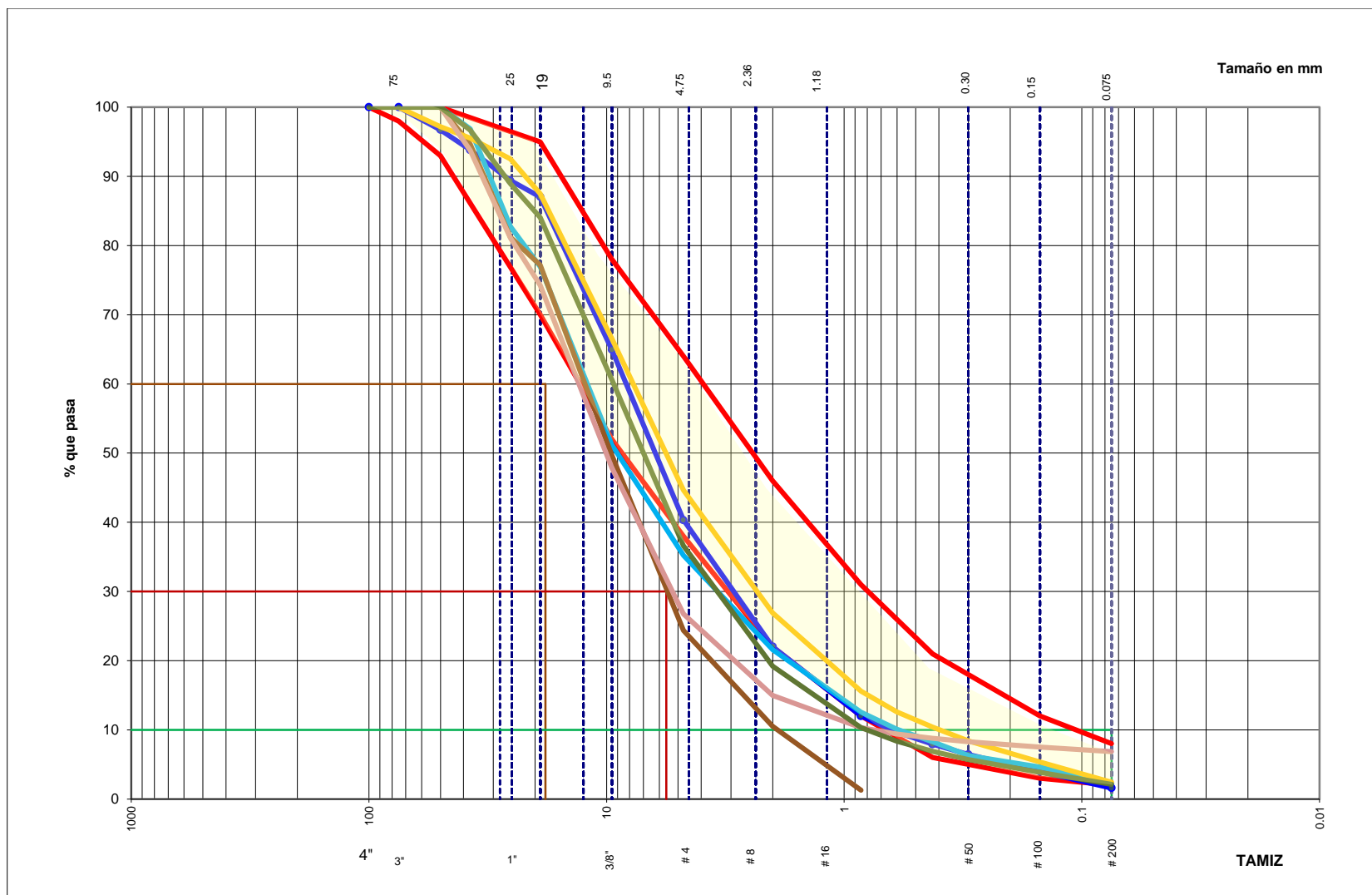


Figura 83. Curvas de granulometría de las M-7 hasta la M-12

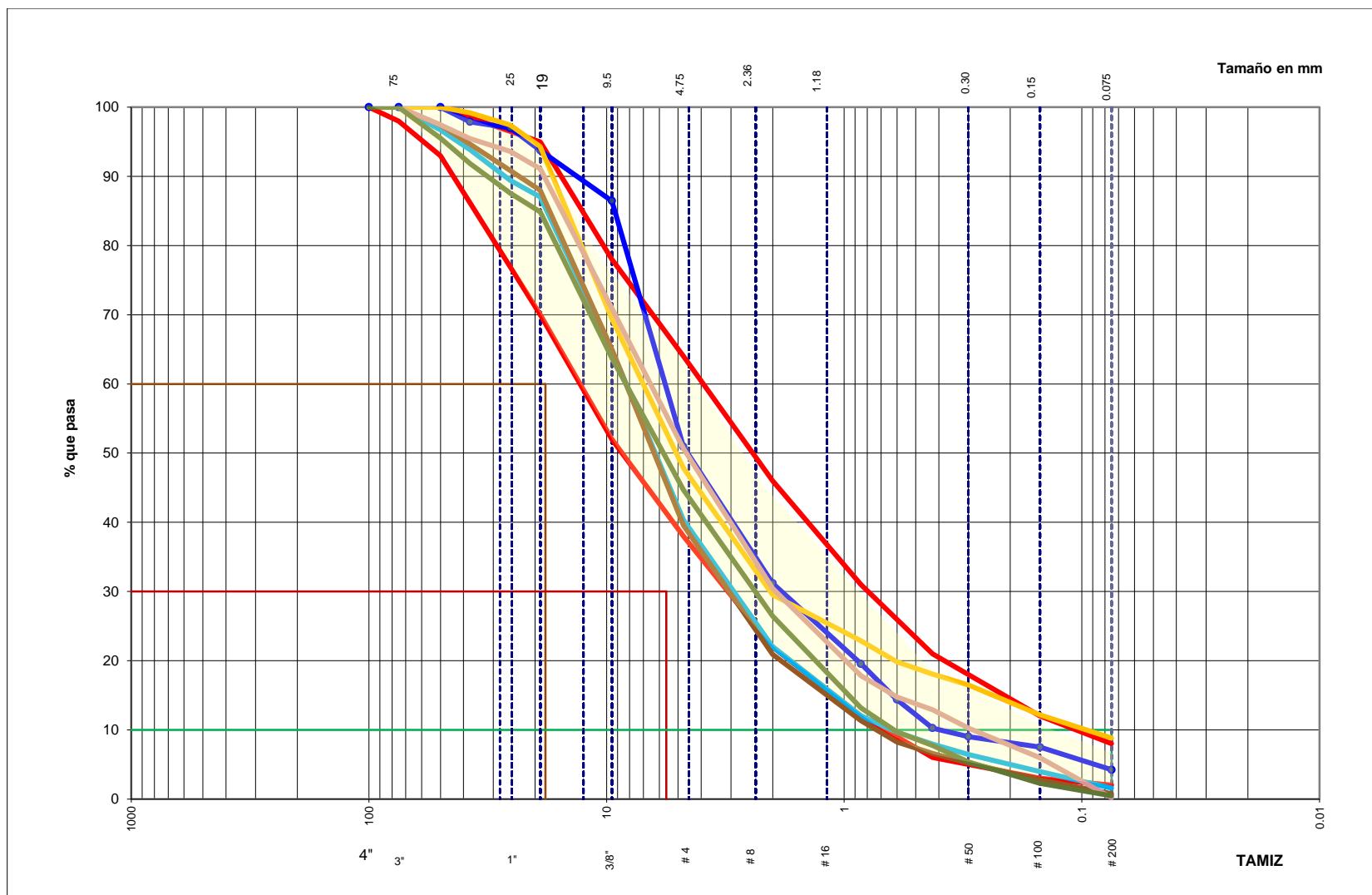


Figura 84. Curvas de granulometría de las M-13 hasta la M-18

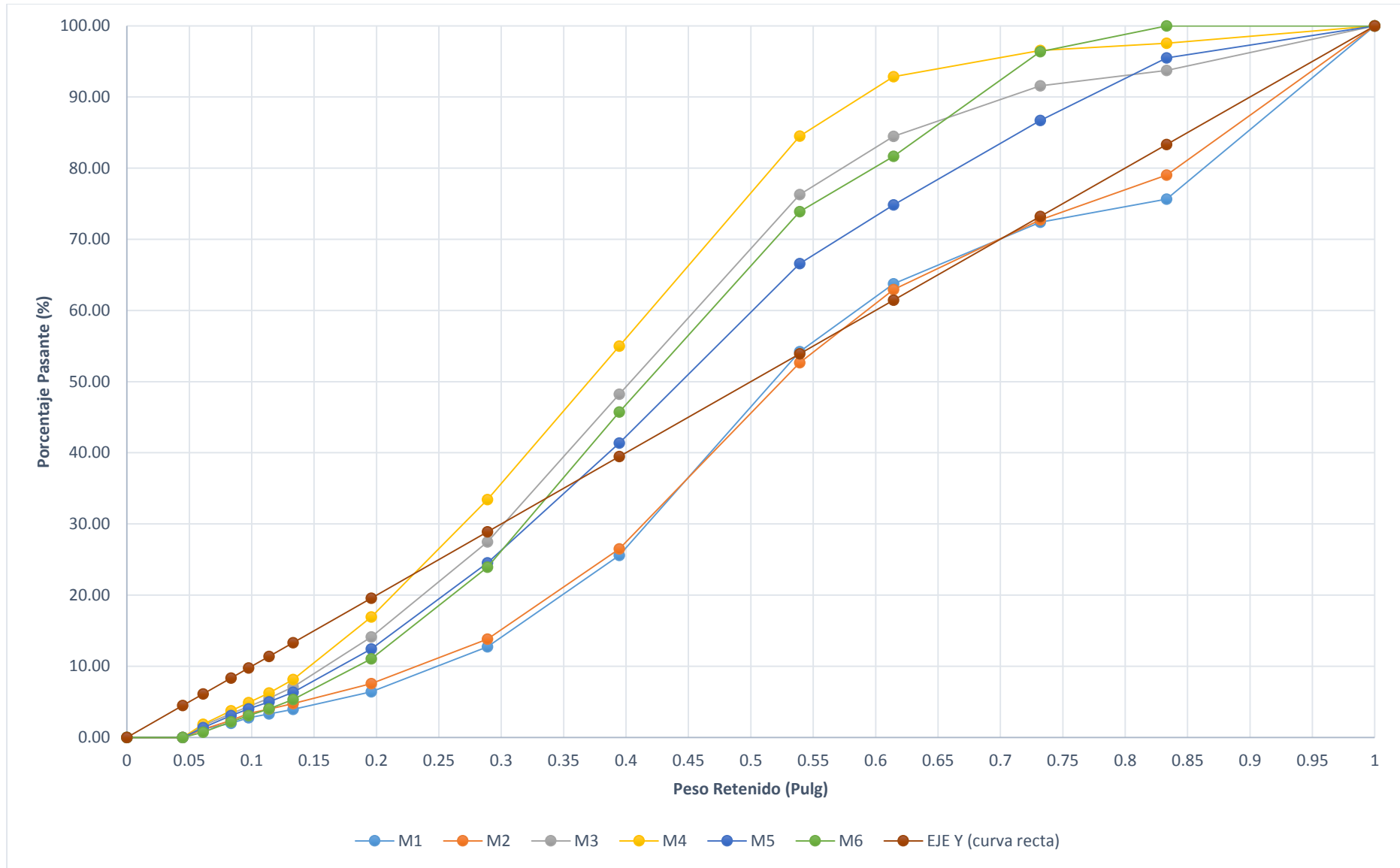


Figura 85. Curva de potencia 0.45 de la Muestra M-1 a la M-6

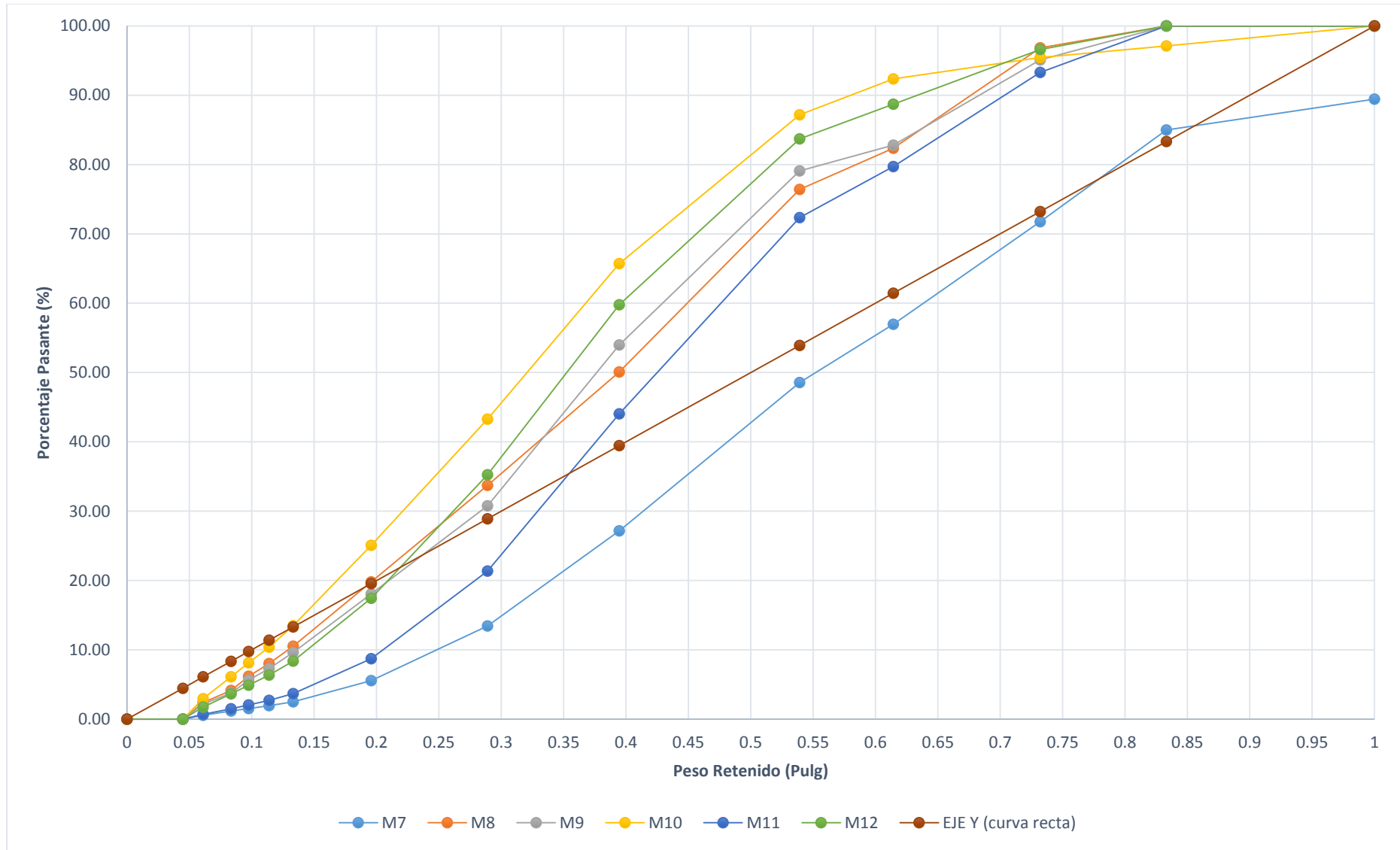


Figura 86. Curva de potencia 0.45 de la Muestra M-7 a la M-12

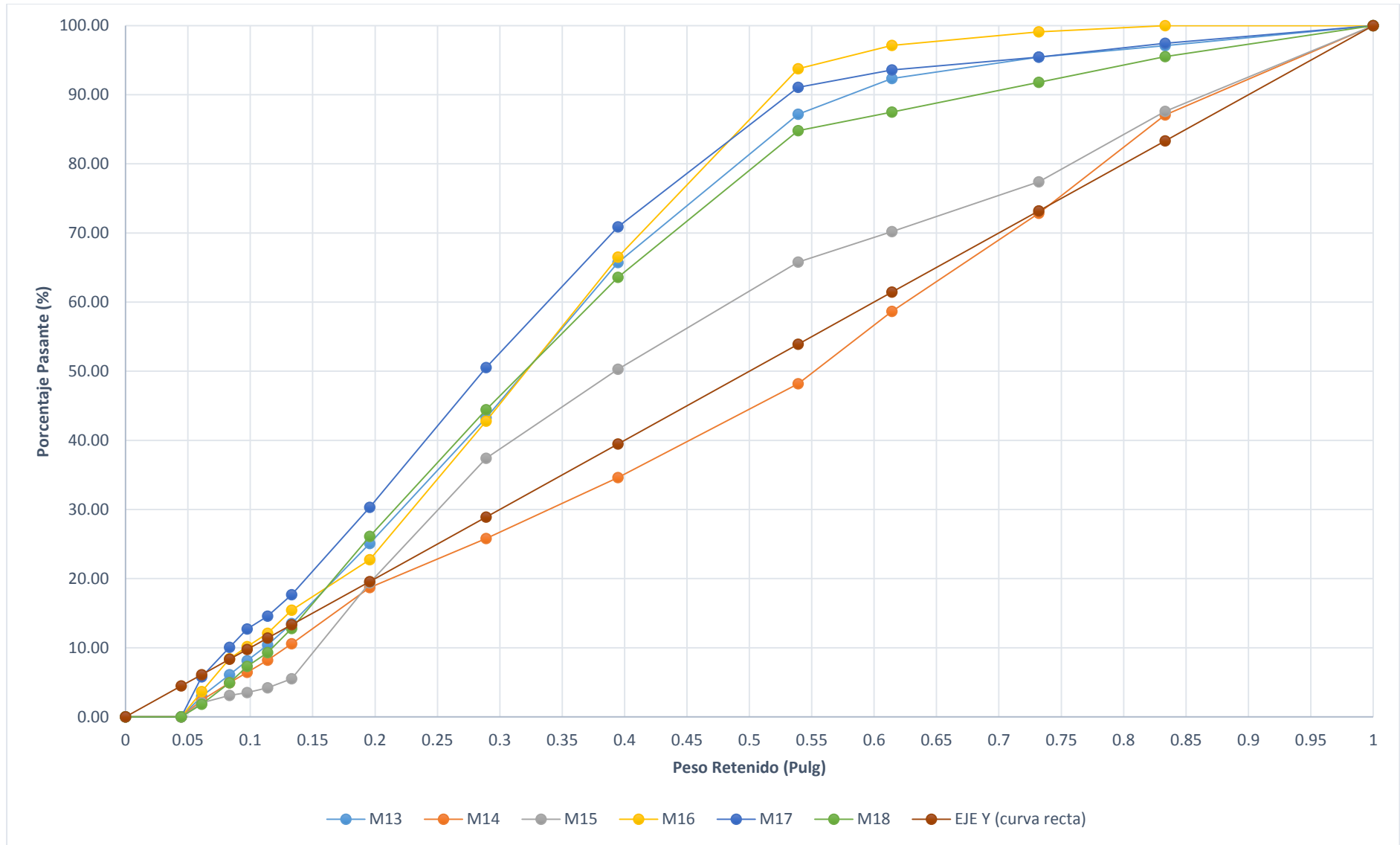


Figura 87. Curva de potencia 0.45 de la Muestra M-13 a la M-18

MUESTRA SECCION CON LASTRE:

En la Figura 85 se puede observar que la muestra de Sección con material de Lastre, según el análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 se obtiene una curva con exceso de material grueso y falta de finos, lo que hace que este distanciada con respecto a los husos según diseño.

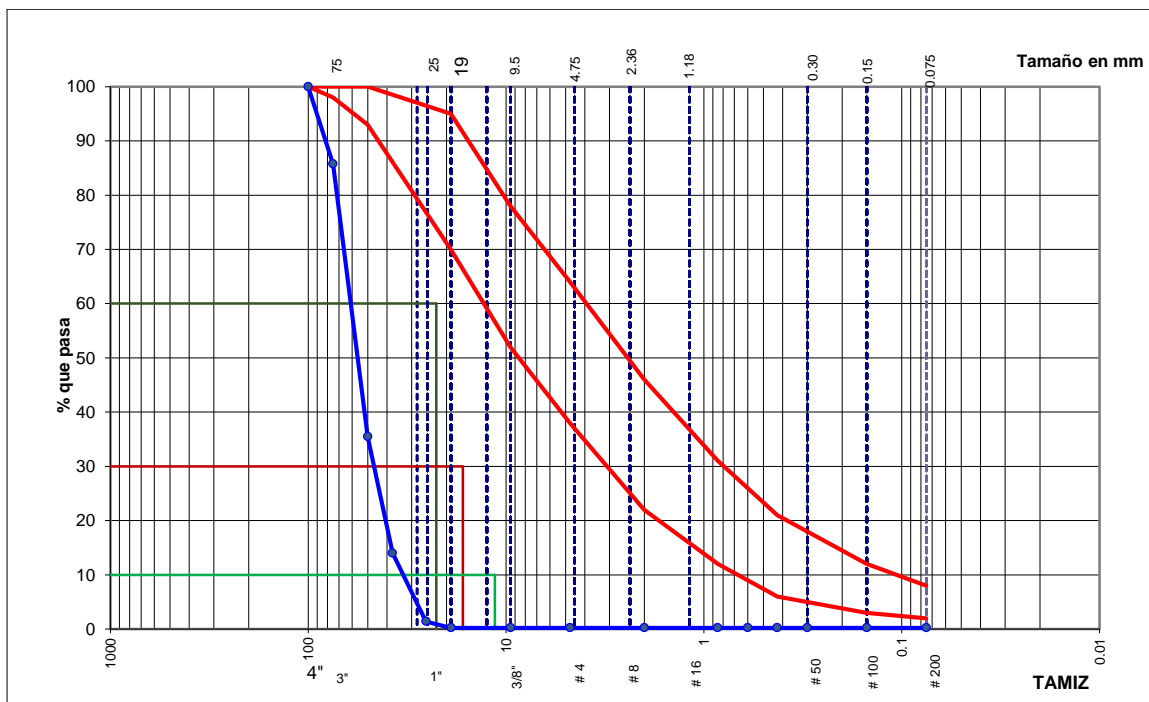


Figura 88: Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 para la muestra con sección Lastre.

En la Figura 89 se observa que para la mezcla de sección con lastre, en la Curva de potencia 0.45 se verifica exceso de material retenido en los tamices de mayor diámetro, así mismo, no existe cantidad de material fino, debido a ser una mezcla con contenido únicamente de material grueso, muy distanciada de la curva de densidad óptima, concluyendo que **LA MUESTRA NO REPRESENTA BUENA ADHERENCIA ENTRE SUS PARTÍCULAS**, corriendo el riesgo de posibles asentamientos por la existencia de precipitaciones altas.

En la Figura 90 se puede observar la misma muestra, evaluándolo con el criterio de colapsabilidad de Gibbs (Indica la colapsabilidad del suelo) con la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{2.6}{1 + 0.026 * LL} = 2.438$$

Concluyendo que para la M-1, con un LL=2.55, el suelo corresponde a un material **COLAPSABLE** a cualquier disminución rápida de volumen del suelo por el aumento de Contenido de Humedad, Grado de Saturación, Tensión de Corte y/o Presión de Poros.

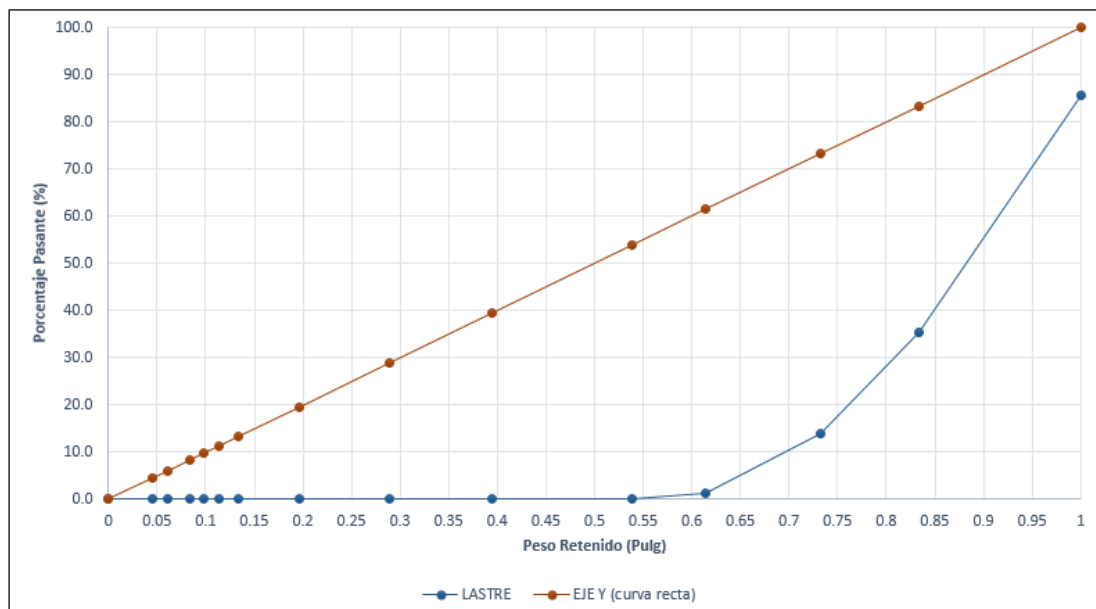


Figura 89: Curva de potencia 0.45 para la muestra con Sección Lastre

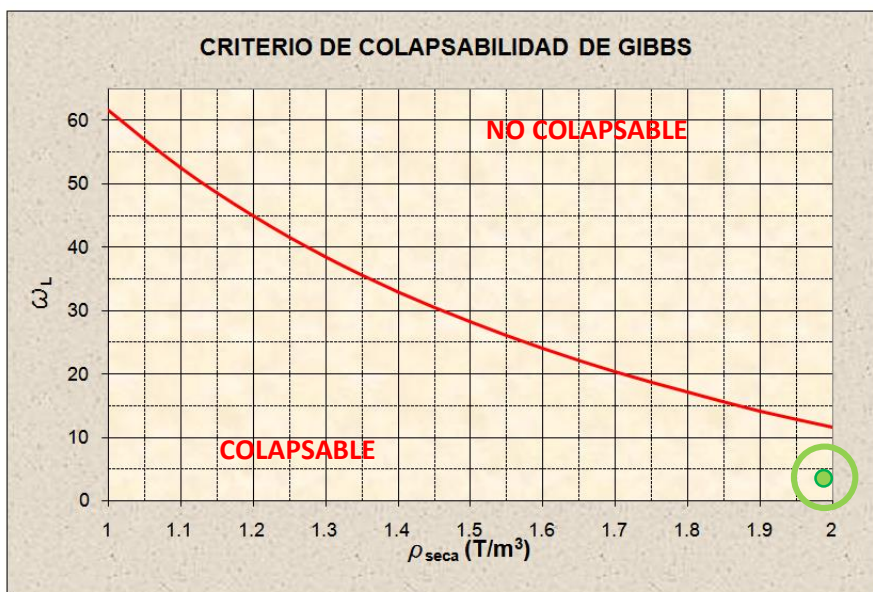


Figura 90. Criterio de Colapsabilidad de Gibbs para la muestra con sección Lastre

4.5.2. Ensayo de compactación Proctor Modificado (Norma MTC E 115)

Se realiza el ensayo Proctor modificado por el método C, aplicando 56 golpes por capa de suelo (5 capas) a una muestra dentro de un molde de tamaño estándar.

En la Figura 91 se tiene el ensayo de compactación Proctor Modificado de la muestra 14, dando como resultado una máxima densidad seca de 2.331 g/cm^3 y un contenido óptimo de humedad de 5.60%.

En la Figura 92, se observa el ensayo de compactación Proctor Modificado del tramo de mejor dosificación adecuada, donde la máxima densidad seca es de 1.668 g/cm^3 y el contenido óptimo de humedad de 5.00%.

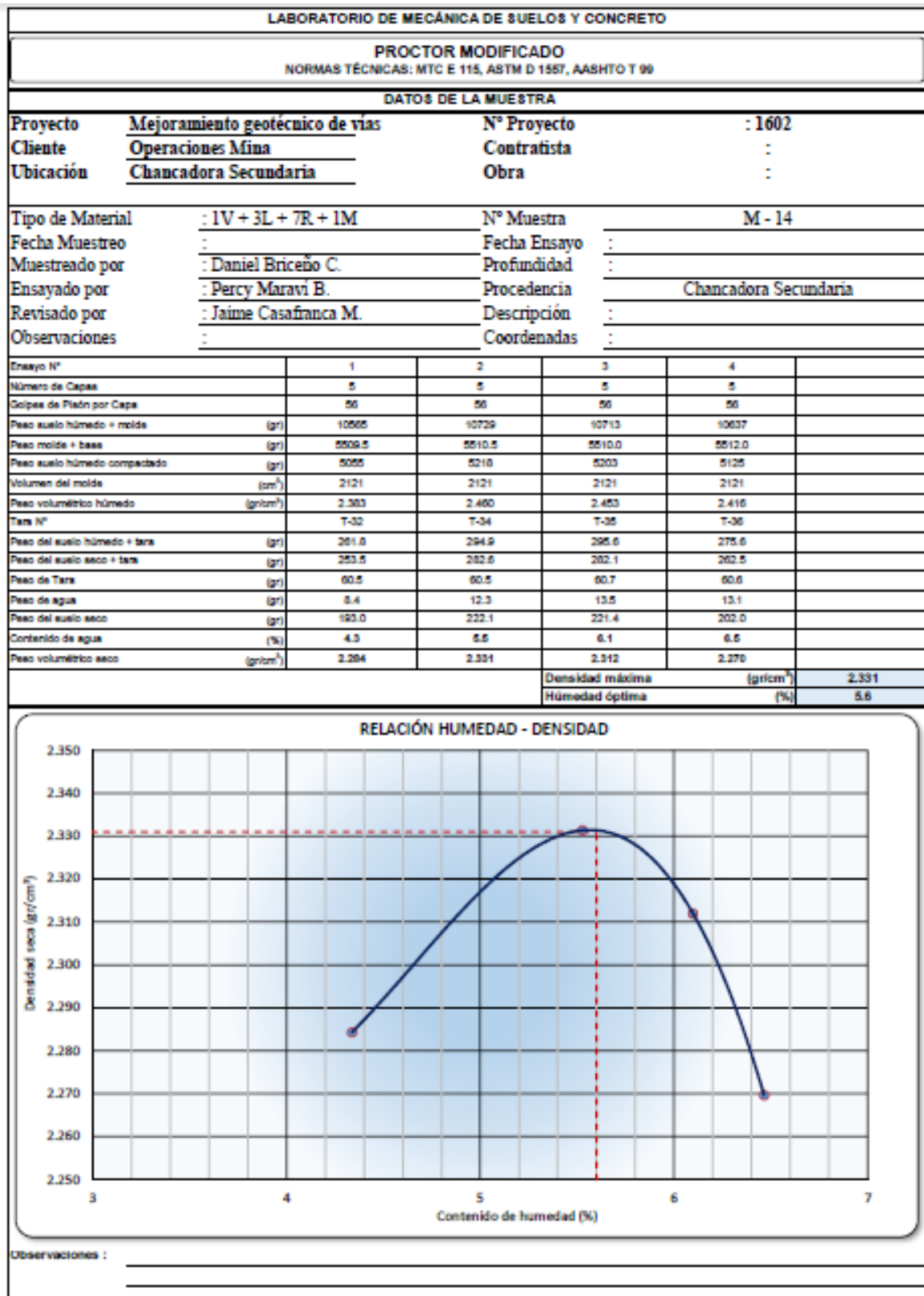


Figura 91: Ensayo de Compactación Proctor Modificado de la muestra 14

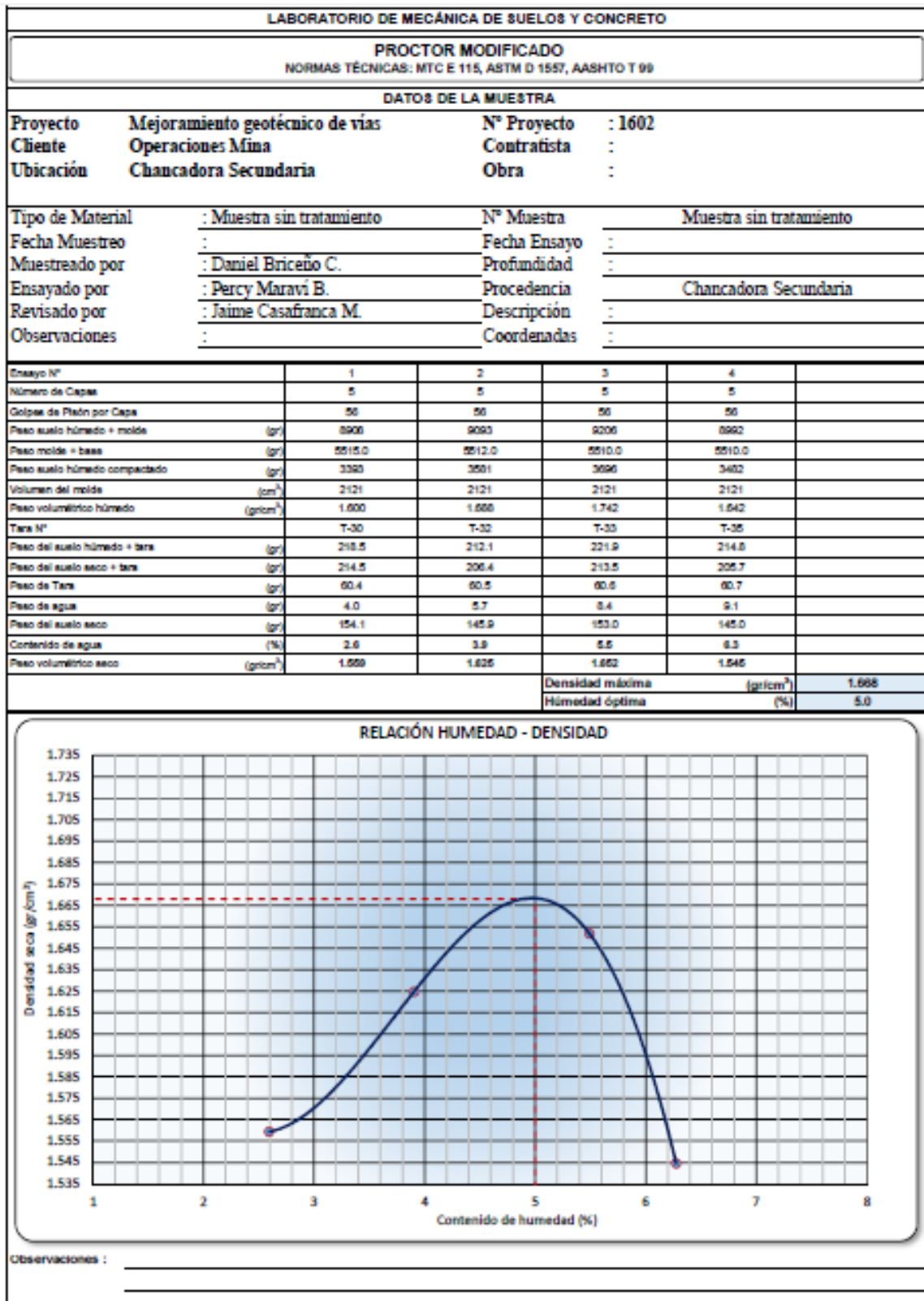


Figura 92: Ensayo de compactación Proctor Modificado del tramo de sección con lastre

4.5.3. Límites de Atterberg (Índice de Plasticidad)

En la muestra 14, el porcentaje resultante del límite líquido es de 18.7%, el límite plástico de 15.3 % y el índice de plasticidad de 2.83%, cumpliendo así con los límites que da el MTC (MTC E 110 Y MTC E 111). Estos resultados se pueden observar en la Figura 93.

En la muestra del tramo sin tratamiento (Sección lastre), el porcentaje resultante del límite líquido es de 2.55%, el límite plástico de 1.9 % y el índice de plasticidad de 0.65%, no cumpliendo con los límites que da el MTC (MTC E 110 Y MTC E 111). Estos resultados se pueden observar en la Figura 94.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA

**LIMITES DE ATTERBERG
ASTM D4318**

Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de Vías	Nº Proyecto	: 1602
Cliente	: Operaciones Mina	Contratista	:
Ubicación	: Chancadora Secundaria	Obra	:
Tipo de Material	: 1V + 3L + 7R + 1M	Nº Muestra	: M-14
Fecha Muestreo	:	Fecha Ensayo	:
Muestreado por	: Daniel Briceño C.	Profundidad	:
Ensayado por	: Percy Maraví B.	Procedencia	: Chancadora Secundaria
Revisado por	: Jaime Casafranca	Descripción	:
Observaciones	:	Coordenadas	: <input type="text"/> N <input type="text"/> E <input type="text"/> C
Temperatura de Secado:	60°C	110 °C	
Agua Utilizada	: Destilada	Potable	

Determinación del Límite Líquido (LL)

Nº de Tara		30	32	36		
Tara + Suelo Húmedo (gr)		103.20	106.13	99.17		
Tara + Suelo Seco (gr)		96.53	99.19	93.34		
Tara (gr)		60.85	60.5	60.56		
Agua (gr)		6.67	6.94	5.83		
Suelo Seco (gr)		35.68	38.69	32.78		
Número de Golpes (N)		16	23	31		
Contenido de Humedad (%)		18.7	17.9	17.8		
Límite Líquido (LL) (%)		18.1				

Determinación del Límite Plástico (LP)

Nº de Tara		1	6	CLASIFICACION SUCS	GP	
Tara + Suelo Húmedo (gr)		32.90	33.34			
Tara + Suelo Seco (gr)		32.52	33	LL	18.14	
Tara (gr)		30.15	30.67			
Agua (gr)		0.38	0.34	LP	15.3	
Suelo Seco (gr)		2.37	2.33			
Contenido de Humedad (%)		16.0	14.6	IP	2.8	
Límite Plástico (LP) (%)		15.3			Especificación	

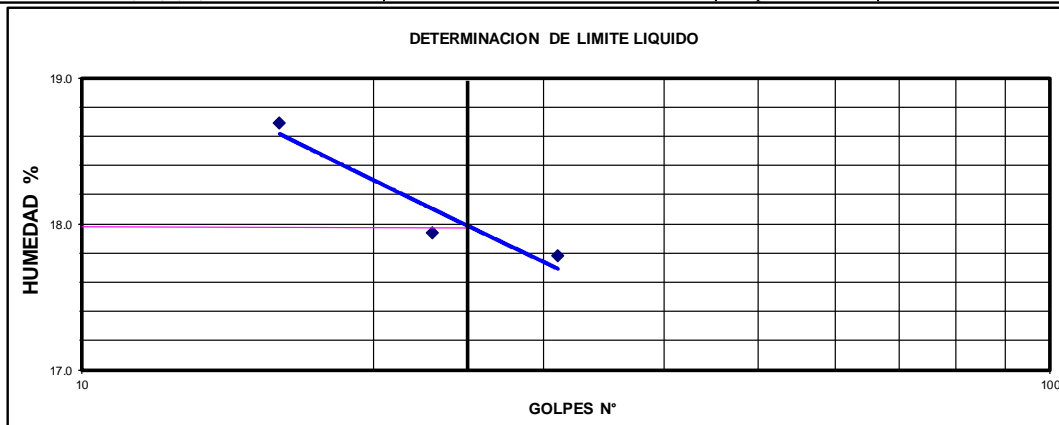


Figura 93. Ensayo de límites de Atterberg de la muestra 14

LIMITES DE ATTERBERG ASTM D4318					
Proyecto	: Mejoramiento Geotecnico de Vias	N° Proyecto	: 1602		
Cliente	: Operaciones Mina	Contratista	:		
Ubicación	: Chancadora Secundaria	Obra	:		
Tipo de Material	Lastre / Material de Voladura	N° Muestra	Material de Tramo Sin Tratamiento		
Fecha Muestreo	:	Fecha Ensayo	:		
Muestreado por	: Percy Maravi B.	Profundidad	:		
Ensayado por	: Percy Maravi B.	Procedencia	Tajo - Chancadora Secundaria		
Revisado por	: Jaime Casafranca	Descripción			
Observaciones	:	Coordenadas	N	E	C
Temperatura de Secado:	60°C	110 °C			
Agua Utilizada	: Destilada	Potable			
Determinación del Límite Líquido (LL)					
N° de Tara		35	38	32	
Tara + Suelo Húmedo	(gr)	101.25	104.36	100.47	
Tara + Suelo Seco	(gr)	99.93	103.87	99.24	
Tara	(gr)	60.42	60.2	60.50	
Agua	(gr)	1.32	0.49	1.23	
Suelo Seco	(gr)	39.51	43.67	38.74	
Número de Golpes	(N)	2	6	5	
Contenido de Humedad	(%)	3.3	1.1	3.2	
Límite Líquido (LL) (%)		2.55			
Determinación del Límite Plástico (LP)					
N° de Tara		6	4	CLASIFICACION SUCS	GP
Tara + Suelo Húmedo	(gr)	32.85	33.54		
Tara + Suelo Seco	(gr)	32.74	33.25		
Tara	(gr)	22.50	22.40		
Agua	(gr)	0.11	0.29	LL	2.55
Suelo Seco	(gr)	10.24	10.85	LP	1.9
Contenido de Humedad	(%)	1.1	2.7	IP	0.65
Límite Plástico (LP) (%)		1.9		Especificacion	
DETERMINACION DE LIMITE LIQUIDO					
Técnico de Laboratorio		Responsable de Laboratorio		Ingeniero CQA.	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	

Figura 94: Ensayo de límites de Atterberg de la muestra para tramo de sección con lastre.

Figura 95: Ensayo de abrasión Los Ángeles para la muestra de mejor dosificación adecuada.

ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ANGELES																																												
Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de Vías	N° Proyecto	: 1602																																									
Cliente	: Operaciones Mina	Contratista	:																																									
Ubicación	: Chancadora Secundaria	Obra	:																																									
Tipo de Material	: Lastre / Material de Voladura	N° Muestra	: Material de Tramo Sin Tratamiento																																									
Fecha Muestreo	:	Fecha Ensayo	:																																									
Muestreado por	: Percy Maravi B.	Profundidad	:																																									
Ensayado por	: Percy Maravi B.	Procedencia	: Tajo - Chancadora Secundaria																																									
Revisado por	: Jaime Casafianca	Descripción	:																																									
Observaciones	: Peso=5000 kg	Coordenadas	: N	E																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">GRADACION:</th> <th style="width: 15%;">"A"</th> <th style="width: 15%;">"B"</th> <th style="width: 15%;">"C"</th> <th style="width: 15%;">"D"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carga Abrasiva (Nro esferas)</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> </tbody> </table>					GRADACION:	"A"	"B"	"C"	"D"	Carga Abrasiva (Nro esferas)	12	11	8	6																														
GRADACION:	"A"	"B"	"C"	"D"																																								
Carga Abrasiva (Nro esferas)	12	11	8	6																																								
<p>A continuación se muestra la granulometría realizada a la muestra sin tratamiento:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Tamiz (Pasante)</th> <th style="width: 25%;">Tamiz (Retiene)</th> <th style="width: 50%;">Peso (gramos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">1"</td> <td style="text-align: center;">2601</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1"</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">1534</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">865</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">1/4"</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4"</td> <td style="text-align: center;">Nro. 4</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Nro. 4</td> <td style="text-align: center;">Nro. 8</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Observaciones:</p> <p>La granulometría realizada a la muestra sin tratamiento, arroja valores retenidos en los tamices 1 1/2", 1" y 3/4", asemejándose a la gradación A, es decir, se realizó el ensayo con 12 billas de acero a una revolución de 500 revoluciones, dando como resultado:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Peso Muestra Total</th> <th style="width: 10%;">(A)</th> <th style="width: 10%;">gramos:</th> <th style="width: 40%;">5000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso Retenido en Tamiz Nro 12:</td> <td>(B)</td> <td>gramos:</td> <td>4168</td> </tr> <tr> <td>Diferencia</td> <td>(C)=(A-B)</td> <td>gramos:</td> <td>832</td> </tr> <tr> <td>Desgaste</td> <td></td> <td>%:</td> <td>16.64</td> </tr> </tbody> </table>					Tamiz (Pasante)	Tamiz (Retiene)	Peso (gramos)	1 1/2"	1"	2601	1"	3/4"	1534	3/4"	1/2"	865	1/2"	3/8"	-	3/8"	1/4"	-	1/4"	Nro. 4	-	Nro. 4	Nro. 8	-	Peso Muestra Total	(A)	gramos:	5000	Peso Retenido en Tamiz Nro 12:	(B)	gramos:	4168	Diferencia	(C)=(A-B)	gramos:	832	Desgaste		%:	16.64
Tamiz (Pasante)	Tamiz (Retiene)	Peso (gramos)																																										
1 1/2"	1"	2601																																										
1"	3/4"	1534																																										
3/4"	1/2"	865																																										
1/2"	3/8"	-																																										
3/8"	1/4"	-																																										
1/4"	Nro. 4	-																																										
Nro. 4	Nro. 8	-																																										
Peso Muestra Total	(A)	gramos:	5000																																									
Peso Retenido en Tamiz Nro 12:	(B)	gramos:	4168																																									
Diferencia	(C)=(A-B)	gramos:	832																																									
Desgaste		%:	16.64																																									
Técnico de Laboratorio		Responsable de Laboratorio		Ingeniero CQA.																																								
Nombre:		Nombre:		Nombre:																																								
Firma :		Firma:		Firma :																																								
Fecha:		Fecha:		Fecha:																																								

Figura 96: Ensayo de abrasión Los Ángeles para la muestra de tramo de sección con lastre.

4.5.5. Ensayo de valor de soporte de California CBR

El valor de CBR de diseño que se obtuvo para la muestra 14, utilizada para el tramo de mejor dosificación adecuada M-14 fue al 95% M.D.S. 0.1" 73.8 / 0.2" 90.2, al 100% M.D.S.

0.1" 101.5 / 0.2" 122.1 (ver Figura 97), mientras que para el material de sección con lastre se obtuvo al 95% M.D.S. 0.1" 24.2 / 0.2" 29.8, al 100% M.D.S. 0.1" 28.9 / 0.2" 33.8 (ver Figura 98).

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO											
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)											
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193											
DATOS DE LA MUESTRA											
Proyecto	Mejoramiento geotécnico de vías		Nº Proyecto	: 1602							
Cliente	Operaciones Mina		Contratista	:							
Ubicación	Chancadora Secundaria		Obra	:							
Tipo de Material	: 1V + 3L + 7R + 1M		Nº Muestra	: M - 14							
Fecha Muestreo	:		Fecha Ensayo	:							
Muestreado por	: Daniel Briceño C.		Profundidad	:							
Ensayado por	: Percy Maravi B.		Procedencia	: Chancadora Secundaria							
Revisado por	: Jaime Casafra M.		Descripción	:							
Observaciones	:		Coordenadas	:							
COMPACTACIÓN											
Molde Nº	1		3		4						
Nº Capas	5		5		5						
Nº golpes por capa	56		25		12						
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO					
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	13405	13409	12590.0	12593.6	12123.0	12129.7					
Peso de molde + base (gr)	7025	7025	7256.0	7256.0	7062.0	7062.0					
Peso del suelo húmedo (gr)	5580	5584	5332.0	5325.6	5061.0	5067.7					
Volumen del molde (cm ³)	2264	2264	2264.3	2264.3	2264.3	2264.3					
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.464	2.466	2.355	2.352	2.235	2.236					
Nº Tara	T-04	T-05	T-01	T-01	T-03	T-02					
Peso suelo húmedo + tara (gr)	618.9	589.0	612.0	576.8	600.5	534.9					
Peso suelo seco + tara (gr)	587.2	557.9	579.9	547.0	651.6	505.9					
Peso de tara (gr)	35.9	35.8	34.3	34.5	34.2	34.8					
Peso de agua (gr)	31.7	31.1	32.1	29.8	36.9	29.0					
Peso de suelo seco (gr)	551.3	522.1	545.6	512.5	617.4	471.1					
Contenido de humedad (%)	5.75	5.96	5.88	5.81	5.96	6.16					
Densidad seca (gr/cm ³)	2.330	2.327	2.224	2.223	2.109	2.106					
EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
00/01/1900	13:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
01/01/1900	13:30	24	1	0.010	0.01	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02
02/01/1900	13:30	48	1	0.010	0.01	2	0.020	0.02	3	0.030	0.03
03/01/1900	13:30	72	2	0.020	0.02	3	0.030	0.03	3	0.030	0.03
04/01/1900	13:30	96	2	0.020	0.02	3	0.030	0.03	3	0.030	0.03
PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 3			MOLDE Nº 4			
		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		
		Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	
0.000		0			0			0			
0.635		424			269			226			
1.270		725			553			391			
1.905		1139			812			585			
2.540	70.5	1478	1457.9	101.3	1115	1009.9	75.7	839	813.6	56.5	
3.175		2030			1596			1209			
5.000	105.7	2680	2631.0	121.9	1999	1995.0	92.4	1511	1525.2	70.6	
6.350		3099			2339			1796			
7.620		3566			2744			1996			
10.000		4230			3507			2366			
12.700		4900			3943			2577			
Observaciones : DIÁMETRO DEL PISTÓN = 5.1 cm											
ÁREA DEL PISTÓN = 20.43 cm ²											

Figura 97a: Ensayo de CBR en laboratorio de la muestra de mejor dosificación adecuada.

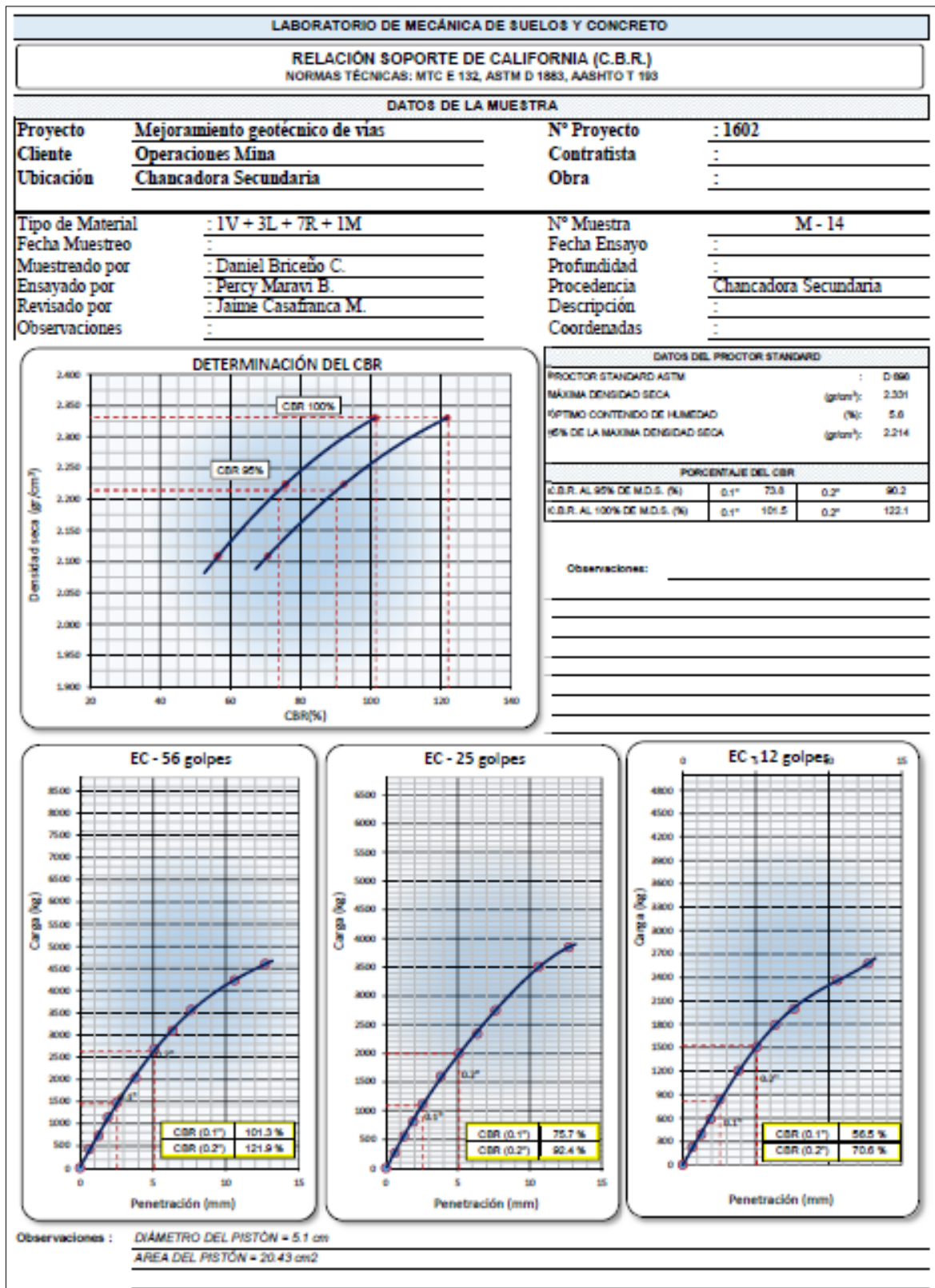


Figura 97b: Ensayo de CBR en laboratorio de la muestra 14 tramo de mejor dosificación adecuada.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO												
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)												
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193												
DATOS DE LA MUESTRA												
Proyecto	Mejoramiento geotécnico de vías					Nº Proyecto	: 1602					
Cliente	Operaciones Mina					Contratista	:					
Ubicación	Chancadora Secundaria					Obra	:					
Tipo de Material	: Muestra sin tratamiento					Nº Muestra	: Muestra sin tratamiento					
Fecha Muestreo	:					Fecha Ensayo	:					
Muestreado por	: Daniel Briceño C.					Profundidad	:					
Ensayado por	: Percy Maravi B.					Procedencia	: Chancadora Secundaria					
Revisado por	: Jaime Casafraña M.					Descripción	:					
Observaciones	:					Coordenadas	:					
COMPACTACIÓN												
Molde Nº	1				3				4			
Nº Capas	5				5				5			
Nº golpes por capa	50				25				12			
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO	
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	11785	11772	10918.0	10898.0	10367.7	10459.4						
Peso de molde + base (gr)	7025	7025	7250.0	7250.0	7002.0	7002.0						
Peso del suelo húmedo (gr)	3960	3947	3668.0	3648.0	3365.7	3397.4						
Volumen del molde (cm ³)	2264	2264	2264.3	2264.3	2264.3	2264.3						
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.749	1.743	1.616	1.608	1.486	1.500						
Nº Tara	T-04	T-05	T-01	T-01	T-03	T-03						
Peso suelo húmedo + tara (gr)	699.9	699.8	640.7	618.9	600.6	640.8						
Peso suelo seco + tara (gr)	658.9	672.9	615.7	590.8	572.6	615.6						
Peso de tara (gr)	35.9	35.8	34.3	34.5	34.2	34.8						
Peso de agua (gr)	31.0	26.9	25.0	28.1	28.0	25.3						
Peso de suelo seco (gr)	623.0	637.1	481.4	566.3	538.4	480.8						
Contenido de humedad (%)	4.98	5.01	5.19	5.05	5.20	5.28						
Densidad seca (gr/cm ³)	1.660	1.660	1.537	1.530	1.413	1.426						
EXPANSIÓN												
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				mm	%		mm	%		mm	%	
00/01/1900	13:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	
01/01/1900	13:30	24	32	0.320	0.28	50	0.500	0.43	70	0.700	0.60	
02/01/1900	13:30	48	60	0.600	0.52	80	0.800	0.69	120	1.200	1.03	
03/01/1900	13:30	72	86	0.860	0.76	101	1.010	0.87	161	1.610	1.56	
04/01/1900	13:30	96	103	1.030	0.89	130	1.300	1.12	220	2.200	1.90	
PENETRACIÓN												
PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 3			MOLDE Nº 4				
		Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%		
0.000			0			0			0			
0.635			31			49			23			
1.270			202			115			45			
1.905			337			234			106			
2.540	70.5		421	415.2	28.8	328	296.2	20.7	150	141.4	9.6	
3.810			606			453			236			
5.080	106.7		718	726.4	33.7	580	571.9	26.5	323	322.3	14.9	
6.350			825			667			399			
7.620			918			759			491			
10.800			1033			894			607			
12.700			1103			992			689			
Observaciones : DIÁMETRO DEL PISTÓN = 5,1 cm												
AREA DEL PISTÓN = 20,43 cm ²												

Figura 98a: Ensayo de CBR de la muestra del tramo de sección con lastre.

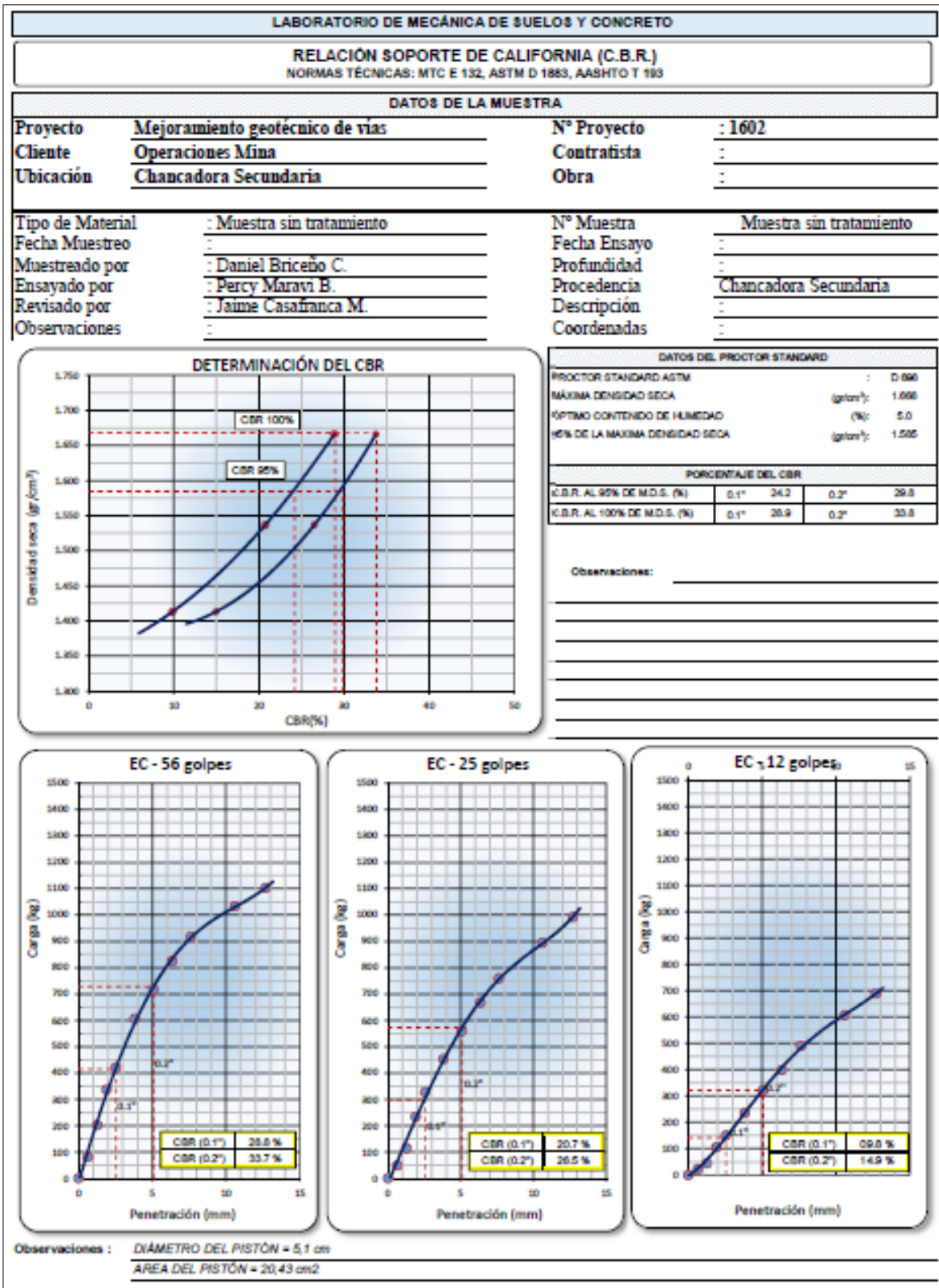


Figura 98b: Ensayo de CBR de la muestra del tramo de sección con lastre.

4.5.6. Ensayo de Densidad_cono de arena de Ottawa

Respecto a la compactación por densidad de la muestra de suelo de los tramos en investigación, se hizo ensayos a la muestra de mejor dosificación adecuada M-14, obteniendo una compactación de 97.2 % (ver Figura 99) mientras que en la muestra de la sección con lastre, solo se obtuvo una compactación de 89.6 % promedio (ver Figura 100).

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA						
DENSIDAD DE CAMPO						
Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de vías		N° Proyecto	: 1602		
Cliente	: Operaciones mina		Contratista	:		
Ubicación	: Vía Botadero Este		Obra	:		
Tipo de Material	3L + 1V + 7R + 1M		N° Muestra	: M - 14		
Fecha Muestreo			Fecha termin Ensi:			
Muestreado por	Percy Maravi B.		Profundidad	:		
Ensayado por	Percy Maravi B.		Procedencia	: Vía Botadero Este		
Revisado por	Jaime Casafranca M.		Descripción	:		
Observaciones	:		Coordenadas	N	E	C
Densidad de Campo						
Numero	1	2	3	4	5	
Abscisa	K1+100	K1+300	K1+500	K1+700	K1+900	
Numero de capa	2	2	2	2	2	
Alineación	Der.	Izq.	Centro	Izq.	Der.	
Peso de la arena + frasco (gr)	7116.0	6991.0	6888.0	6723.0	6618.0	
2. Peso de la arena restante + fras (gr)	3118.0	3693.5	3519.5	3225.5	3147.0	
3. Peso de la arena en el hoyo + cono (gr)	3998.0	3297.5	3368.5	3497.5	3471.0	
4. Peso de la arena en el cono (gr)	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0	
5. Peso de la arena en el hoyo (gr)	2438.0	1737.5	1808.5	1937.5	1911.0	
6. Densidad de la arena (gr/cm ³)	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	
7. Volumen del hoyo (cm ³)	1833.1	1306.4	1359.8	1456.8	1436.8	
8. Peso del suelo húmedo total + r (gr)	4332.4	3140.4	3120.9	3440.9	3365.4	
9. Peso del recipiente (gr)	0	0	0	0	0	
10. Peso total suelo húmedo (gr)	4332.4	3140.4	3120.9	3440.9	3365.4	
11. Humedad del suelo (Speedy) (%)	5.8	5.9	5.7	5.7	6.3	
12. Peso total del suelo seco (gr)	4094.9	2965.4	2952.6	3255.3	3165.9	
13. Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.36	2.40	2.30	2.36	2.34	
14. Densidad seca (gr/cm ³)	2.23	2.27	2.17	2.23	2.20	
15. Proctor (gr/cm ³)	2.29	2.29	2.28	2.28	2.28	
16. Humedad Optima (%)	5.57	5.57	5.57	5.57	5.57	
17. Porcentaje de compactacion	97	99	95	98	97	
Humedad Natural						
Numero						
N° de Tara						
Tara + Suelo Húmedo (gr)						
Tara + Suelo Seco (gr)						
Tara (gr)						
Agua (gr)						
Suelo Seco (gr)						
Contenido de Humedad (%)						

Figura 99: Densidad de campo al tramo de mejor dosificación adecuada.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA						
DENSIDAD DE CAMPO						
Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de vías	Nº Proyecto	: 1602			
Cliente	: Operaciones mina	Contratista	:			
Ubicación	: Vía Botadero Este	Obra	:			
Tipo de Material	Lastre / Material de voladura	Nº Muestra	Tramo sin tratamiento			
Fecha Muestreo		Fecha termin Ensa:				
Muestreado por	Percy Maraví B.	Profundidad				
Ensayado por	Percy Maraví B.	Procedencia	Vía Botadero Este			
Revisado por	Jaime Casafra M.	Descripción				
Observaciones	:	Coordenadas	N	E	C	
Densidad de Campo						
Numero		1	2	3	4	5
Abscisa		K0+100	K0+300	K0+500	K0+700	K0+900
Numero de capa		2	2	2	2	2
Alineación		Der.	Der.	Izq.	Centro	Der.
Peso de la arena + frasco (gr)		6850.0	6991.0	6888.0	6723.0	6618.0
2. Peso de la arena restante + frás (gr)		2346.0	3693.5	3519.5	3225.5	3147.0
3. Peso de la arena en el hoyo + cono (gr)		4504.0	3297.5	3368.5	3497.5	3471.0
4. Peso de la arena en el cono (gr)		1560.0	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0
5. Peso de la arena en el hoyo (gr)		2944.0	1737.5	1808.5	1937.5	1911.0
6. Densidad de la arena (gr/cm ³)		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33
7. Volumen del hoyo (cm ³)		2213.5	1306.4	1359.8	1456.8	1436.8
8. Peso del suelo húmedo total + r (gr)		3154.1	3140.4	3120.9	3440.9	3365.4
9. Peso del recipiente (gr)		0	0	0	0	0
10. Peso total suelo húmedo (gr)		3154.1	3140.4	3120.9	3440.9	3365.4
11. Humedad del suelo (Speedy) (%)		5.8	5.9	5.7	5.7	6.3
12. Peso total del suelo seco (gr)		2981.2	2965.4	2952.6	3255.3	3165.9
13. Densidad húmeda (gr/cm ³)		1.42	2.40	2.30	2.36	2.34
14. Densidad seca (gr/cm ³)		1.35	2.27	2.17	2.23	2.20
15. Proctor (gr/cm ³)		2.29	2.29	2.28	2.28	2.28
16. Humedad Óptima (%)		5.57	5.57	5.57	5.57	5.57
17. Porcentaje de compactación		59	99	95	98	97
Humedad Natural						
Numero						
Nº de Tara						
Tara + Suelo Húmedo (gr)						
Tara + Suelo Seco (gr)						
Tara (gr)						
Agua (gr)						
Suelo Seco (gr)						
Contenido de Humedad (%)						

Figura 100: Ensayo Densidad de campo al tramo de sección con lastre.

4.5.7. Resultados de Ensayos de laboratorio

En la Tabla 9, se visualizan los resultados de los diversos ensayos realizados, a los dos tipos de material, es utilizado a los tramos con y sin tratamiento, evaluando y llegando a la conclusión que el tramo de mejor dosificación adecuada M-14, obtiene mejores resultados y desenvolvimiento en el terreno que el tramo de sección con lastre.

Tabla 9. Consolidado de datos, valores indicativos

CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE ENSAYOS - Laboratorio Geotecnia						
Ensayos	Tramo de sección con LASTRE			Tramo de sección con MUESTRA DE MEJOR DOSIFICACIÓN ADECUADA		
GRANULOMETRIA	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	Gc	Coefficiente de Curvatura (Cc)	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	Gc	Coefficiente de Curvatura (Cc)
	6.68	4	0.26	76.67	48.69	0.33
CBR LABORATORIO	CBR al 95% de M.D.S. (%)	CBR al 100% de M.D.S. (%)	-	CBR al 95% de M.D.S. (%)	CBR al 100% de M.D.S. (%)	-
	0.1" 65.2 / 0.2" 72.3	0.1" 72.9 / 0.2" 83.8	-	0.1" 73.8 / 0.2" 90.2	0.1" 101.5 / 0.2" 122.1	-
PROCTOR MODIFICADO	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Humedad Óptima (%)	Método	Máxima densidad seca (gr/cm3)	Humedad Óptima (%)	Método
	1.668	5.00%	C (56 golpes)	2.331	6.00%	C (56 golpes)
ABRASION LOS ANGELES	Gradación	Muestra (gr)	Desgaste (%)	Gradación	Muestra (gr)	Desgaste (%)
	A (12 esferas)	5000	16.64	A (12 esferas)	5000	16.36
INDICE DE PLASTICIDAD	Límite Líquido (%)	Límita Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Límite Líquido (%)	Límita Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
	2.55	1.9	0.65	18.14	15.31	2.83
DENSIDAD DE CAMPO	Tramo KP 0+100	Tramo KP 0+300	Tramo KP 0+500	Tramo KP 1+100	Tramo KP 1+300	Tramo KP 1+500
	1.01 gr/cm3 (62%)	1.45 gr/cm3 (90%)	1.56 gr/cm3 (97%)	2.28 gr/cm3 (98%)	2.28 gr/cm3 (98%)	2.26 gr/cm3 (97%)

4.6. Secciones de capas de afirmado

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó como representativa, la siguiente ecuación del método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actualmente sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE. (MTC_Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, RD N° 05-2013-MTC 14) 3

$$e = (219 - 211 \times (\text{Log}_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\text{Log}_{10} \text{CBR})^2) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{N_{rep}}{120} \right)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = valor del CBR de la subrasante

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño

Desarrollo:

- Reemplazando: Nrep

$$e = (219 - 211 \times (\text{Log}_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\text{Log}_{10} \text{CBR})^2) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{\sum (\text{EE}_{\text{dia-carril}} \times F_{ca} \times 365)}{120} \right)$$

Donde:




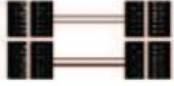


e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = valor del CBR de la subrasante

EE dia-carril = IMDpi x Fd x Fc x Fvpi x Fpi

- Reemplazando: EE dia-carril

$$e = (219 - 211 \times (\text{Log}_{10} \text{CBR}) - 58 \times (\text{Log}_{10} \text{CBR})^2) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{\sum (\text{IMD}_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi})}{120 \times F_{ca} \times 365} \right)$$

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Grafico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota :

RS : Rueda Simple

RD: Rueda Doble

Figura 101. Configuración de ejes

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{s,2 \text{ tn}}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Figura 102. Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para afirmados, pavimentos Flexibles y semirrígidos

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
(para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Figura 103. Factores de distribución Direccional y de Carril para determinar tránsito e el Carril de Diseño

Tabla 10. Cálculos para obtener espesor de capa de afirmado

e	Espesor en mm	Espesor en m
	297.2952385	0.297

PESO TOTAL	EJE 1	EJE 2
500	41.18	58.82
	205.9	294.1
CBR LAB.	DATO	
CBR 100%	135	
CBR 95%	123	
Nrep	3.63263E+11	
Tiempo de mantenimiento	365	días
EES1	947217.3499	
EES2	1654720.657	
Factor E.E.	2601938.007	
EE	995241287.6	
IMD	8500	veces
P Komatsu	1.76715	
P camión	0.1590435	

- Reemplazando datos:

$$e = (219 - 211 \times (\text{Log}_{10} 123) + 58 \times (\text{Log}_{10} 123)^2) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{\sum (8500 \times 0.5 \times 1 \times 2601938 / (\frac{1.76715}{0.15904})^{995241287.6 \times 1 \times 365})}{120} \right)$$

$$e = 0.297 \text{ metros de espesor}$$

Sin embargo, al tener un espesor calculado de 0.297m, se evaluó construir la vía en capas de 0.30m, sin embargo, por posibles segregaciones y desgaste del material, se triplicó el espesor de la capa por el tipo de tratamiento a la vía que se le va a dar para el tramo con mejor dosificación adecuada.

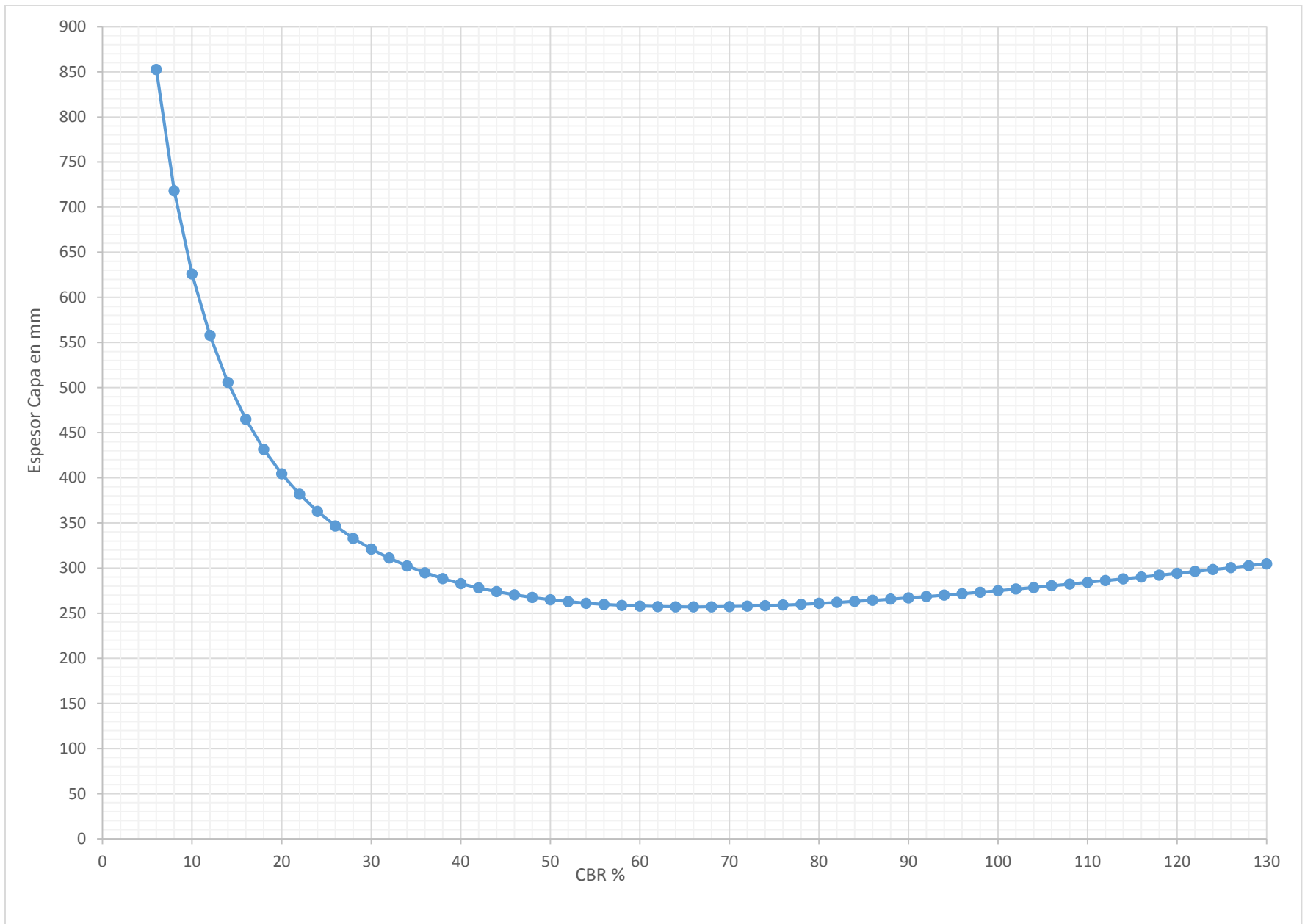


Figura 104. Secciones de capas de afirmado – Proyecto Vías Mina Rafael
 SAC

4.7. Resultados evaluación vía minera

4.7.1. Evaluación funcional:

Dosificación adecuada (M-14) en la vía de acarreo

Se habilitó un sector de la vía de acarreo de la mina Rafael S.A.C., en dos tramos de similares características estructurales para no sesgar los resultados.

En el tramo sin tratamiento (Sección con lastre) y el tramo de mejor dosificación adecuada (M-14), se realizaron las pruebas de velocidad de los camiones Komatsu con carga de 650 Tn por viaje durante 24 días y sin carga, desde el 03 de febrero y finalizado el 26 de febrero del 2017. Se utilizaron los datos de los camiones con carga, aquellos que transitan de ida y camiones de vuelta, sin carga. Los datos de velocidad obtenidos por día se promediaron como se observa en la Tabla 7.

Para la siguiente tabla, con pendientes longitudinales para el primer tramo (sin tratamiento) y segundo tramo (con tratamiento) de 1.22% y 1.31% respectivamente, se registraron 04 promedios de velocidad indicadas a continuación:

- ✓ Velocidad de ida, tramo sin tratamiento: 22.43 km/hr
- ✓ Velocidad de ida, tramo con tratamiento: 25.64 km/hr.
- ✓ Velocidad de vuelta, tramo sin tratamiento: 31.37 km/hr.
- ✓ Velocidad de vuelta, tramo con tratamiento: 36.12 km/hr.

Tabla 11: Detalle de reporte de velocidades de ida por Dispatch

IDA										
Fecha	Precipitación	Pendiente longitudinal	Sección Lastre / Sin tratamiento			Pendiente longitudinal	Sección dos. Adecuada / con tratamiento			
	(mm)		Longitud (km)	Tiempo (h)	Vel promedio (km/h)		Longitud (km)	Tiempo (h)	Vel promedio (km/h)	
3-Feb	17.4	1.22%	1.04	0.041	25.08	1.31%	1.035	0.036	28.4	
4-Feb	8.2	1.22%	1.04	0.046	22.5	1.31%	1.035	0.037	28	
5-Feb	9	1.22%	1.04	0.045	23	1.31%	1.035	0.037	28	
6-Feb	4.2	1.22%	1.04	0.049	21.2	1.31%	1.035	0.038	26.9	
7-Feb	12	1.22%	1.04	0.053	19.7	1.31%	1.035	0.041	25.3	
8-Feb	12.6	1.22%	1.04	0.044	23.5	1.31%	1.035	0.04	26	
9-Feb	4.6	1.22%	1.04	0.044	23.7	1.31%	1.035	0.039	26.6	
10-Feb	11.6	1.22%	1.04	0.046	22.7	1.31%	1.035	0.041	25.4	
11-Feb	15.4	1.22%	1.04	0.051	20.5	1.31%	1.035	0.042	24.5	
12-Feb	5.8	1.22%	1.04	0.057	18.1	1.31%	1.035	0.045	23.2	
13-Feb	6.2	1.22%	1.04	0.04	26	1.31%	1.035	0.047	22	
14-Feb	13.6	1.22%	1.04	0.043	24.2	1.31%	1.035	0.037	27.99	
15-Feb	19.4	1.22%	1.04	0.046	22.5	1.31%	1.035	0.039	26.8	
16-Feb	15.4	1.22%	1.04	0.046	22.8	1.31%	1.035	0.039	26.4	
17-Feb	13.8	1.22%	1.04	0.053	19.5	1.31%	1.035	0.04	26	
18-Feb	0	1.22%	1.04	0.042	24.9	1.31%	1.035	0.041	25.2	
19-Feb	5.4	1.22%	1.04	0.042	24.5	1.31%	1.035	0.042	24.8	
20-Feb	3.6	1.22%	1.04	0.043	24	1.31%	1.035	0.042	24.5	
21-Feb	2.8	1.22%	1.04	0.047	22.2	1.31%	1.035	0.042	24.8	
22-Feb	14.8	1.22%	1.04	0.057	18.2	1.31%	1.035	0.044	23.5	
23-Feb	14.2	1.22%	1.04	0.042	24.7	1.31%	1.035	0.044	23.5	
24-Feb	15	1.22%	1.04	0.044	23.5	1.31%	1.035	0.048	21.5	
25-Feb	5.8	1.22%	1.04	0.049	21.4	1.31%	1.035	0.037	28.3	
26-Feb	0.8	1.22%	1.04	0.052	20	1.31%	1.035	0.037	27.8	
			Promedio de velocidad (km/h)			22.43	Promedio de velocidad (km/h)			25.64

Tabla 12: Detalle de reporte de velocidades de vuelta por Dispatch

Fecha	Precipitación (mm)	Pendiente longitudinal	VUELTA							
			Sección Lastre / Sin tratamiento			Pendiente longitudinal	Sección dos. Adecuada / con tratamiento			
			Longitud (km)	Tiempo (h)	Vel promedio (km/h)		Longitud (km)	Tiempo (h)	Vel promedio (km/h)	
3-Feb	17.4	-1.22%	1.04	0.03	34.7	-1.31%	1.035	0.027	38.33	
4-Feb	8.2	-1.22%	1.04	0.032	32.5	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
5-Feb	9	-1.22%	1.04	0.033	31.5	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
6-Feb	4.2	-1.22%	1.04	0.032	32.5	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
7-Feb	12	-1.22%	1.04	0.037	28.1	-1.31%	1.035	0.031	33.39	
8-Feb	12.6	-1.22%	1.04	0.031	33.5	-1.31%	1.035	0.026	39.81	
9-Feb	4.6	-1.22%	1.04	0.035	29.7	-1.31%	1.035	0.027	38.33	
10-Feb	11.6	-1.22%	1.04	0.034	30.6	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
11-Feb	15.4	-1.22%	1.04	0.035	29.7	-1.31%	1.035	0.03	34.50	
12-Feb	5.8	-1.22%	1.04	0.037	28.1	-1.31%	1.035	0.032	32.34	
13-Feb	6.2	-1.22%	1.04	0.029	35.9	-1.31%	1.035	0.027	38.33	
14-Feb	13.6	-1.22%	1.04	0.031	33.5	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
15-Feb	19.4	-1.22%	1.04	0.033	31.5	-1.31%	1.035	0.028	36.96	
16-Feb	15.4	-1.22%	1.04	0.033	31.5	-1.31%	1.035	0.028	36.96	
17-Feb	13.8	-1.22%	1.04	0.035	29.7	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
18-Feb	0	-1.22%	1.04	0.031	33.5	-1.31%	1.035	0.026	39.81	
19-Feb	5.4	-1.22%	1.04	0.032	32.5	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
20-Feb	3.6	-1.22%	1.04	0.034	30.6	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
21-Feb	2.8	-1.22%	1.04	0.035	29.7	-1.31%	1.035	0.031	33.39	
22-Feb	14.8	-1.22%	1.04	0.035	29.7	-1.31%	1.035	0.032	32.34	
23-Feb	14.2	-1.22%	1.04	0.031	33.5	-1.31%	1.035	0.026	39.81	
24-Feb	15	-1.22%	1.04	0.033	31.5	-1.31%	1.035	0.028	36.96	
25-Feb	5.8	-1.22%	1.04	0.034	30.6	-1.31%	1.035	0.029	35.69	
26-Feb	0.8	-1.22%	1.04	0.037	28.1	-1.31%	1.035	0.03	34.50	
			Promedio de velocidad (km/h)			31.37	Promedio de velocidad (km/h)			36.12

Fuente: Dispatch Mina Rafael SAC.

En la Tabla 11 y 12, se aprecia que la velocidad del tramo con tratamiento es mayor respecto al tramo sin tratamiento, ya sea de ida tanto como de vuelta (las velocidades varían en ida y vuelta por el peso del material que es transportado a la ida), el resultado se da como velocidad promedio de cada uno, concluyendo que la dosificación propuesta contribuye que la

velocidad del paso de los camiones mineros con carga se incrementa con respecto al otro tramo sin tratamiento.

Asimismo, observamos que las precipitaciones altas influyeron en el deterioro de la estructura de vías, pues a mayores precipitaciones por día, disminuye considerablemente la velocidad promedio a causa de las formaciones de baches pronunciados y huecos, lo cual genera irregularidades por el tránsito de los vehículos de acarreo.

Así también se puede apreciar en la Figura 105 respecto a la productividad del tramo de Ida para ambos tramos, evaluado por la velocidad promedio al día durante el periodo de muestreo se realizaron 5 mantenimientos (indicados en color rojo) para el tramo de sección con lastre, a diferencia de la sección de mejor dosificación adecuada, se realizaron 3 mantenimientos (indicado en color negro), es decir el porcentaje de incidencia que representa disminuir la frecuencia de mantenimiento con la dosificación propuesta, ahorramos un 40% de lo habitual, por ende la dosificación propuesta hizo que disminuyera la frecuencia de mantenimientos a solo 3 intervenciones. Esta alternativa de tratamiento contribuye con la gestión de la mina quiere, pues involucra disminuir el costo de horas máquinas, menor cantidad de material, disminuir el consumo de combustible como de personal capacitado.

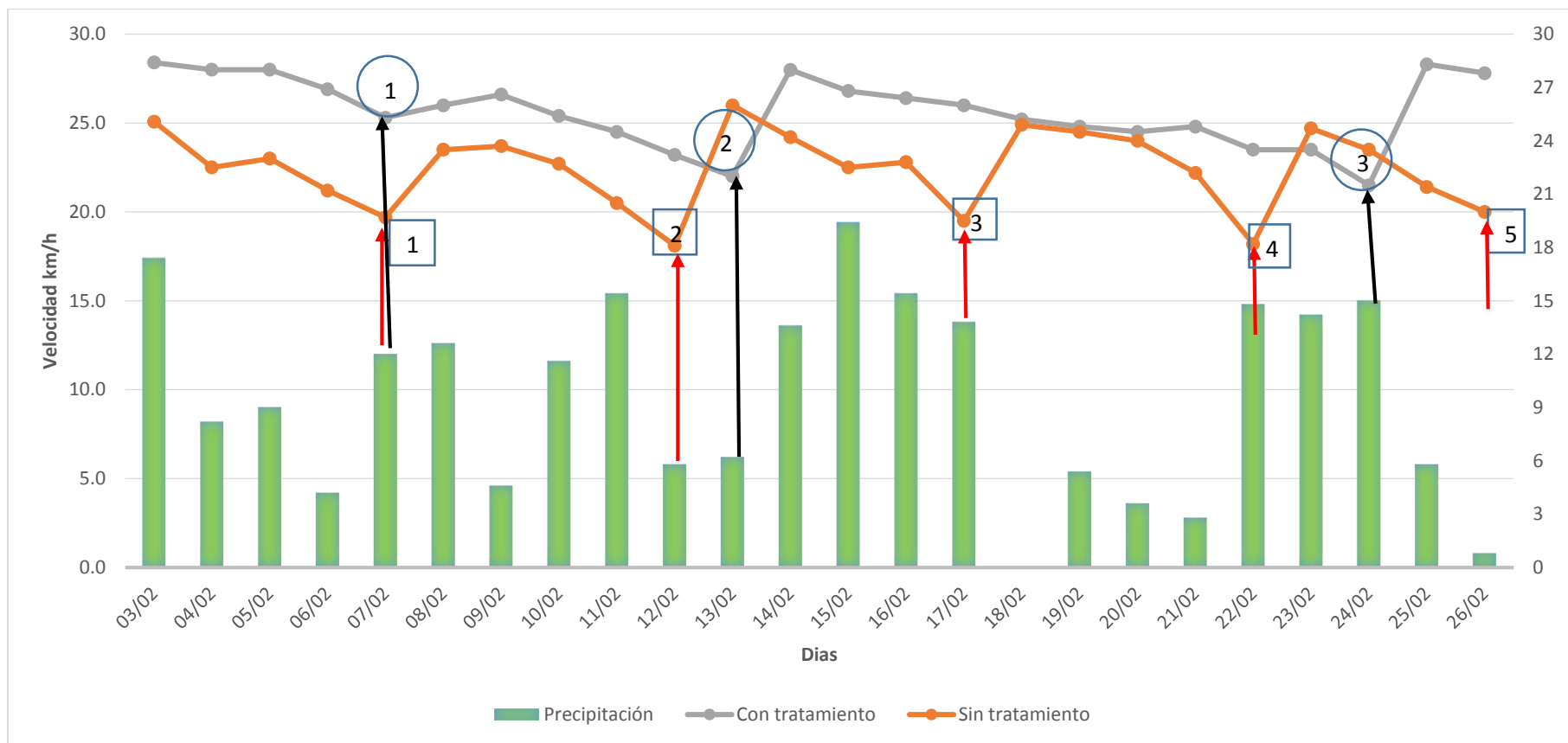


Figura 105. Promedio de velocidades de la sección de mejor dosificación adecuada y sección con lastre (sin tratamiento).

Evaluando la producción de transporte de material transportado, se ha calculado la cantidad de toneladas adicionales que se puede transportar con el incremento de la velocidad promedio tanto en ida como en vuelta para los tramos con tratamiento y sin tratamiento:

Datos:

- Nro de Camiones en mina Rafael : 150 camiones komatsu
- Horas maquina trabajadas : 10 horas por guardia
- Nro de guardias por día : 2 guardias (dia + noche)
- Volumen de material transportado x ciclo : 320 tn/viaje
- Periodo de evaluación : Febrero (más crítico)
- Tiempo de descarga de material (TIEMPO 3) : 5.30 minutos
- Velocidades registradas
 - ✓ Tramo con tratamiento-Ida : 25.64 km/h (sección M-14)
 - ✓ Tramo con tratamiento-Vuelta : 36.15 km/h (sección M-14)
 - ✓ Tramo sin tratamiento-Ida : 22.43 km/h (sección lastre)
 - ✓ Tramo sin tratamiento-Vuelta : 31.38 km/h (sección lastre)
- Distancia transitada del tajo : 10 km (hacia Ch. primaria)



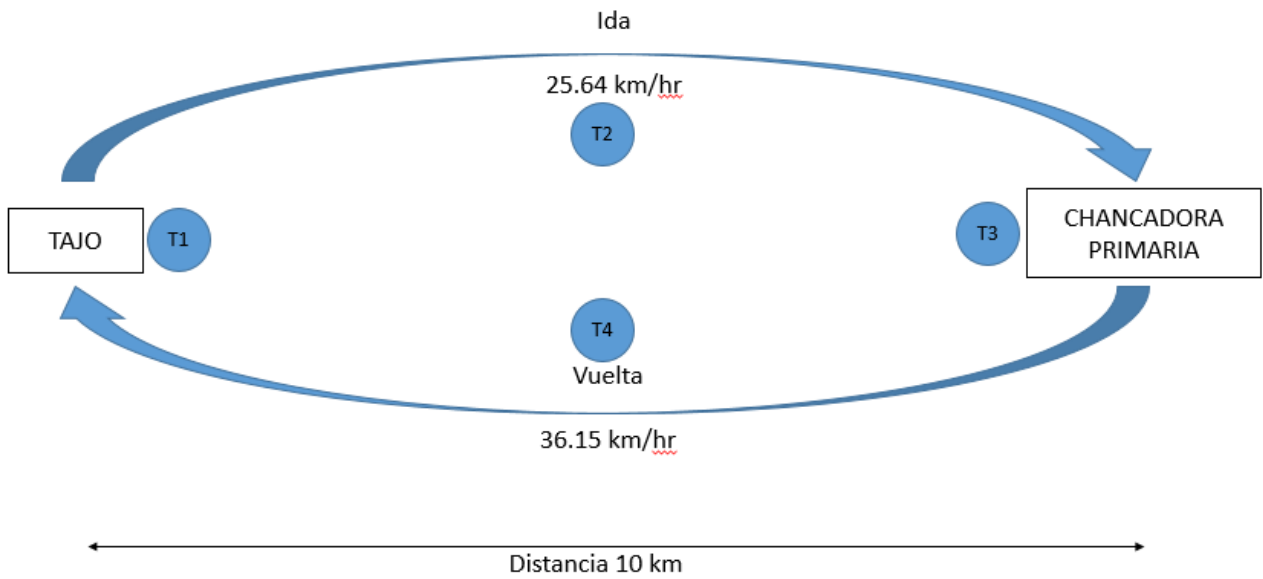
Cálculo de carga de material de pala Hitachi a Komatsu 930E:

Si, camión Komatsu transporta 320tn = 160m³, pala HITACHI EH 5000AC-3 carga 29m³ por pala, por lo tanto (TIEMPO 1):

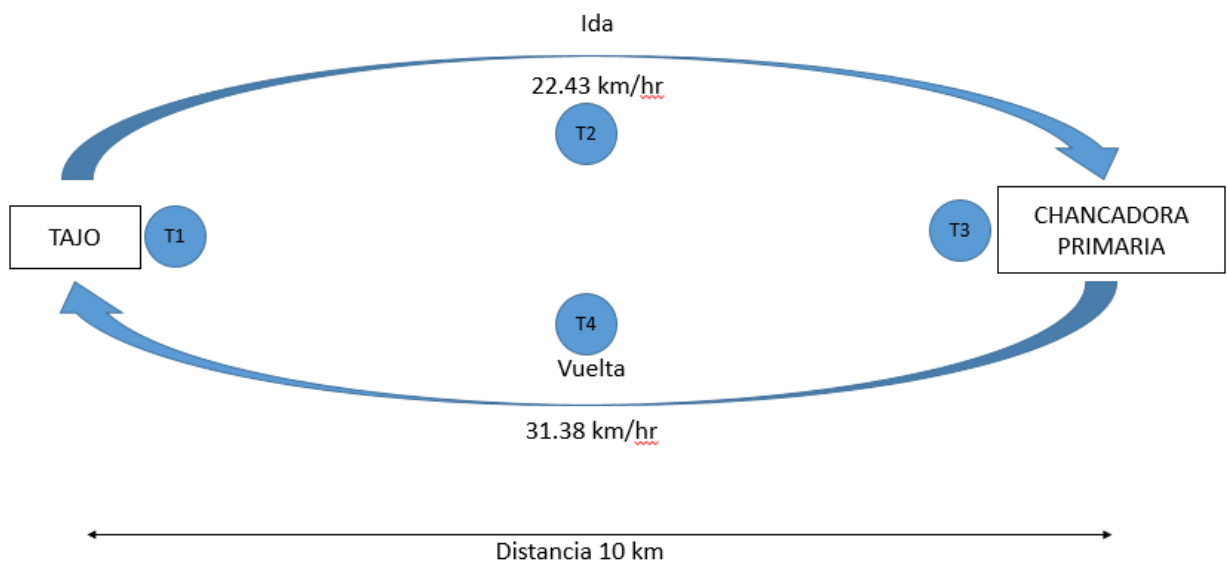
$$160\text{m}^3/29\text{m}^3 = 5.51 \text{ palas} * 1.45 \text{ min/pala} = 8 \text{ minutos}$$

- T1: Tiempo promedio de carga de materiales
- T2: Tiempo promedio de ida
- T3: Tiempo promedio de descarga de materiales
- T4: Tiempo promedio de vuelta

TRAMO CON TRATAMIENTO (M-14):



TRAMO SIN TRATAMIENTO (SECCIÓN CON LASTRE):



Partiendo desde la siguiente ecuación de movimiento:

$$tiempo = \frac{distancia}{velocidad}$$

Cálculo del tiempo de Ida para ambas secciones:

Sección con Lastre:

$$t = \frac{10 \text{ km}}{22.43 \text{ km/h}}$$

$$t = 0.446 \text{ hr} \times 60 \text{ min} = 26.74'$$

Sección con Muestra 14:

$$t = \frac{10 \text{ km}}{25.64 \text{ km/h}}$$

$$t = 0.446 \text{ hr} \times 60 \text{ min} = 23.40'$$

Cálculo del tiempo de Vuelta para ambas secciones:

Sección con Lastre:

$$t = \frac{10 \text{ km}}{31.38 \text{ km/h}}$$

$$t = 0.446 \text{ hr} \times 60 \text{ min} = 19.12'$$

Sección con Muestra 14:

$$t = \frac{10 \text{ km}}{36.15 \text{ km/h}}$$

$$t = 0.446 \text{ hr} \times 60 \text{ min} = 16.59'$$

Cuadro resumen:

Tramo	T1	T2	T3	T4	Total (minutos)	Total (horas)	Nro vueltas	Diferencia vueltas
Tramo sin tratamiento (lastre)	8	26.74	5.3	19.12	59.16	0.99	10.14	1.12
Tramo con tratamiento (M-14)	8	23.4	5.3	16.59	53.29	0.89	11.26	

Cálculo final para evaluar la cantidad de volumen de material adicional transportado por el incremento de velocidad:

$$Vol. material = 1.12 vueltas * 320 \frac{tn}{v} * 2 guardias * 30 días * 150 camiones$$

$$Vol. material = 3'223,472.43 tn/mes$$

Se calculó que realizando el mejoramiento de las vías de acarreo de la mina Rafael S.A.C. obtenemos un adicional de 3' 223, 472.43 (tres millones doscientos veintitrés mil cuatrocientas setenta y dos toneladas adicionales transportadas por mes). Este resultado beneficia a la mina, en el alcance de sus propias metas en tan corto tiempo, además de disminuir el número de mantenimientos en la vía, reduciendo un 40% de mantenimientos, evitando el desgaste prematuro de neumáticos.

4.7.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL:

Para realizar la clasificación de suelos, mediante el módulo resiliente se utiliza la siguiente figura.

Material Classification	M_r Range (lbs/in ²)	Typical M_r (lbs/in ²)
A-1-a	38,500–42,000	40,000
A-1-b	35,500–40,000	38,000
A-2-4	28,000–37,500	32,000
A-2-5	24,000–33,000	28,000
A-2-6	21,500–31,000	26,000
A-2-7	21,500–28,000	24,000
A-3	24,500–35,500	29,000
A-4	21,500–29,000	24,000
A-5	17,000–25,500	20,000
A-6	13,500–24,000	17,000
A-7-5	8,000–17,500	12,000
A-7-6	5,000–13,500	8,000
CH	5,000–13,500	8,000
MH	8,000–17,500	11,500
CL	13,500–24,000	17,000
ML	17,000–25,500	20,000
SW	24,000–33,000	28,000
SW-SC	21,500–31,000	25,500
SW-SM	24,000–33,000	28,000
SP-SC	21,500–31,000	25,500
SP-SM	24,000–33,000	28,000
SC	21,500–28,000	24,000
SM	28,000–37,500	32,000
GW	39,500–42,000	41,000
GP	35,500–40,000	38,000
GW-GC	28,000–40,000	34,500
GW-GM	35,500–40,500	38,500
GP-GM	31,000–40,000	36,000
GC	24,000–37,500	31,000
GM	33,000–42,000	38,500

Figura 106: Clasificación de suelos

- **Para el tramo sin tratamiento Kp 2+000 a 3+040**

MODULO RESILIENTE es 37641.12 Corresponde a un material A-1-b

- Para el tramo con tratamiento Kp 3+040 a 4+075

MODULO RESILIENTE es 45789.88 Corresponde a un material A-1-a

Tabla 13. Tramo sin Tratamiento (Kp 2+000 a 3+040)

MATERIAL LASTRE				
Progresiva	CBR	Modulo Resiliente (PSI)	Modulo (Mpa)	Deflexión (mm)
3+036	58.1	34379.9	237.1	0.326
2+999	72.1	39476.7	272.2	0.290
2+962	77.0	41197.0	284.1	0.257
2+925	68.3	38131.6	262.9	0.292
2+888	65.5	37123.1	256.0	0.293
2+851	75.9	40819.5	281.5	0.268
2+814	85.3	43974.2	303.2	0.268
2+777	59.7	34995.7	241.3	0.320
2+740	71.3	39207.4	270.3	0.297
2+703	71.2	39172.2	270.1	0.292
2+666	72.1	39501.1	272.4	0.278
2+629	73.5	39992.4	275.8	0.286
2+592	71.3	39208.0	270.3	0.276
2+555	72.9	39768.2	274.2	0.295
2+518	70.2	38831.0	267.7	0.288
2+481	84.0	43533.1	300.2	0.273
2+444	82.5	43044.8	296.8	0.305
2+407	70.0	38734.9	267.1	0.305
2+370	63.0	36227.4	249.8	0.284
2+333	67.9	38014.2	262.1	0.299
2+296	48.0	30445.8	209.9	0.339
2+259	54.9	33180.6	228.8	0.323
2+222	48.8	30742.5	212.0	0.329
2+185	54.5	33025.9	227.7	0.366
2+148	58.0	34342.0	236.8	0.331
2+111	57.1	34007.6	234.5	0.345
2+074	54.2	32902.4	226.9	0.330
2+037	69.2	38480.2	265.3	0.330
2+000	71.1	39133.2	269.8	0.293

Tabla 14. Tramo con Tratamiento (Kp 3+040 a 4+075)

MATERIAL MEJORADO				
Progresiva	CBR	Módulo Resiliente (PSI)	Modulo (Mpa)	Deflexión (mm)
4+075	92.9	46457.9	320.3	0.249
4+035	103.1	49648.6	342.3	0.225
3+995	80.1	42252.1	291.3	0.250
3+955	87.0	44524.2	307.0	0.251
3+915	83.0	43218.9	298.0	0.254
3+875	92.8	46409.6	320.0	0.233
3+835	101.7	49213.5	339.3	0.235
3+795	90.5	45684.5	315.0	0.252
3+755	87.7	44765.9	308.7	0.262
3+715	86.2	44282.5	305.3	0.260
3+695	84.4	43690.3	301.3	0.251
3+675	98.0	48053.3	331.3	0.235
3+645	107.9	51123.1	352.5	0.200
3+635	112.7	52549.2	362.3	0.214
3+595	87.3	44620.9	307.7	0.251
3+555	108.8	51389.0	354.3	0.223
3+515	136.3	59365.6	409.3	0.201
3+475	94.8	47038.1	324.3	0.252
3+435	71.8	39399.8	271.7	0.264
3+395	71.8	39399.8	271.7	0.290
3+355	72.1	39496.5	272.3	0.281
3+315	84.5	43702.4	301.3	0.256
3+275	70.9	39061.4	269.3	0.276
3+235	103.6	49793.6	343.3	0.259
3+195	84.0	43557.3	300.3	0.273
3+155	95.2	47183.1	325.3	0.261
3+115	83.6	43412.3	299.3	0.263
3+075	73.2	39883.3	275.0	0.321
3+040	100.1	48730.1	336.0	0.232

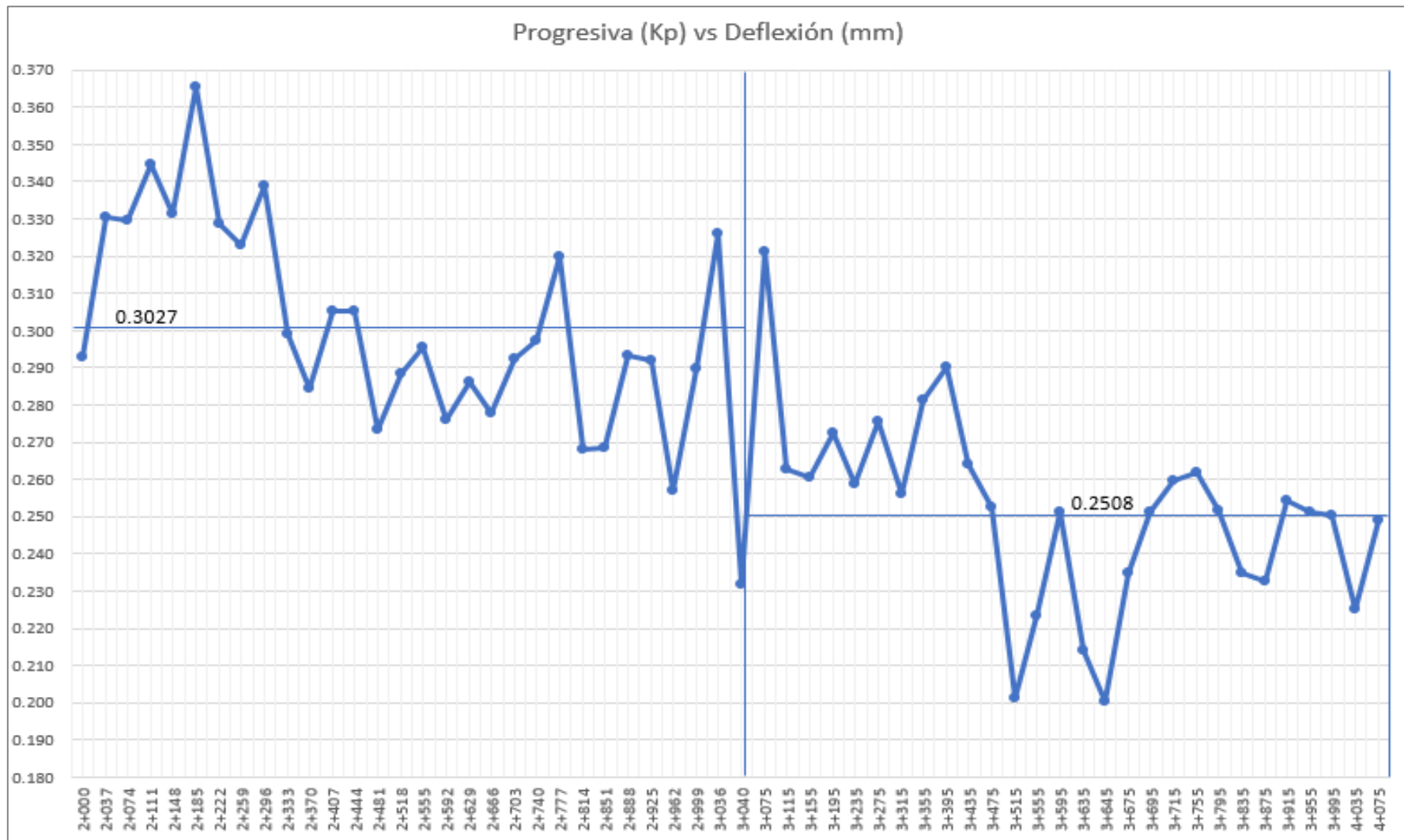


Figura 107: Evaluación de deflexión.



Figura 108. Evaluación estructural con LWD al proyecto de vía minera.



Figura 109. Evaluación estructural con Deflectómetro Liviano.

4.7.3. EVALUACIÓN SUPERFICIAL

La condición de los tramos no pavimentados del corredor está determinada por el Índice de Condición de Carreteras No Pavimentadas (URCI-Unpaved Road Condition Index), el cual es un indicador numérico basado en una escala de 0 a 100. Su escala y rangos asociados son mostrados en la Tabla adjunta y es similar al Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para carreteras pavimentadas.

Para realizar la evaluación superficial, se adjunta el siguiente cuadro:

Tabla 15. Rangos de clasificación Metodología URCI

Rango	Clasificación - URCI
100-85	Excelente
85-70	Muy Buena
70-55	Buena
55-40	Justa
40-25	Pobre
25-10	Muy Pobre
10-0	Falló

Sobre ello se realizó la siguiente evaluación Superficial a los dos tramos evaluados en la presente investigación, los cuales indicaron lo siguiente:

- Tramo con Tratamiento: Kp 2+000 a 4+075: CLASIFICACIÓN JUSTA
- Tramo sin Tratamiento: Kp 3+040 a 4+075: CLASIFICACIÓN BUENA

Tabla 16. Evaluación superficial

PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	m	VRC	PCI	CLASIFICACION
02+000	02+100	2.6	75.7	50	JUSTA
02+100	02+200	2.5	70.0	53	JUSTA
02+200	02+300	2.7	78.7	49	JUSTA
02+300	02+400	2.9	85.6	45	JUSTA
02+400	02+500	2.7	75.9	50	JUSTA
02+500	02+600	3.0	88.0	44	JUSTA
02+600	02+700	2.8	82.2	47	JUSTA
02+700	02+800	2.8	82.3	47	JUSTA
02+800	02+900	2.7	77.3	49	JUSTA
02+900	03+000	2.7	76.9	50	JUSTA
03+000	3+040	2.6	73.9	51	JUSTA
3+040	3+100	1.8	47.7	63	BUENA
3+100	3+200	1.6	43.6	65	BUENA
3+200	3+300	1.7	45.3	64	BUENA
3+300	3+400	1.7	48.4	62	BUENA
3+400	3+500	1.7	45.9	63	BUENA
3+500	3+600	1.7	44.7	64	BUENA
3+600	3+700	1.9	51.6	61	BUENA
3+700	3+800	1.8	47.4	63	BUENA
3+800	3+900	1.7	43.1	65	BUENA
3+900	4+000	1.8	50.1	62	BUENA
4+000	4+075	1.7	46.5	63	BUENA

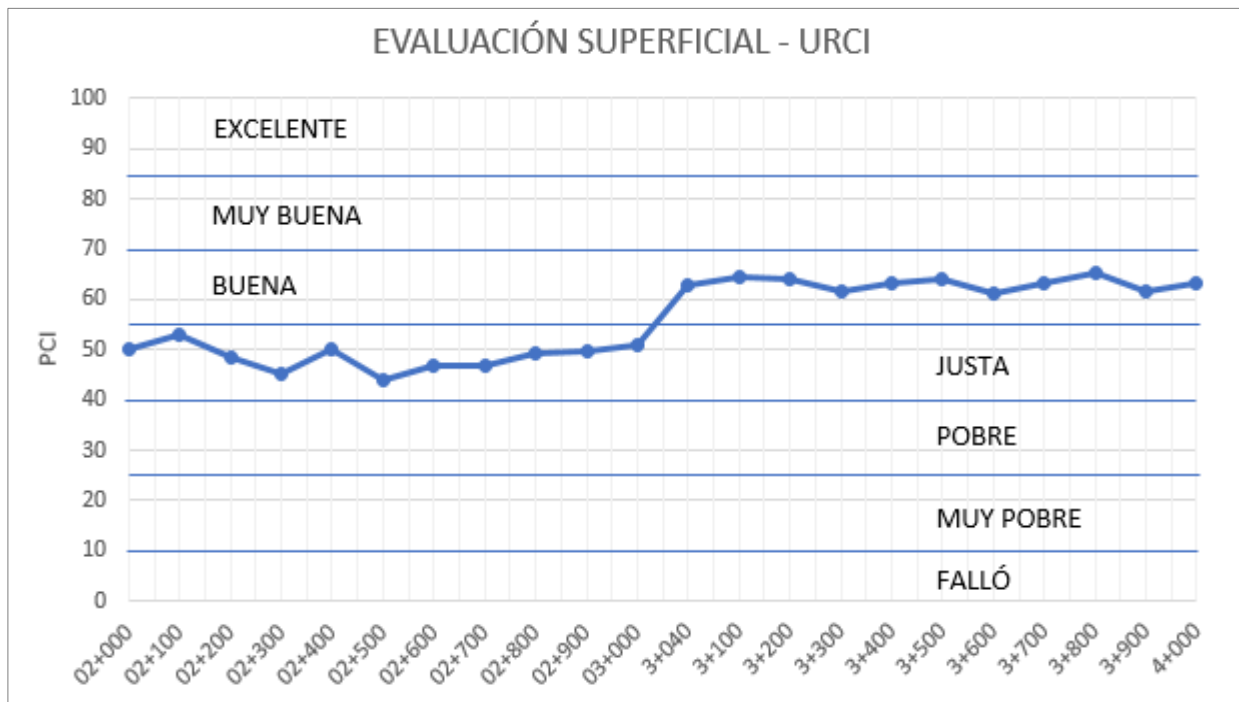


Figura 110: Evaluación superficial

EVALUACIÓN URCI - Mejoramiento vías Mina Rafael S.A.C.

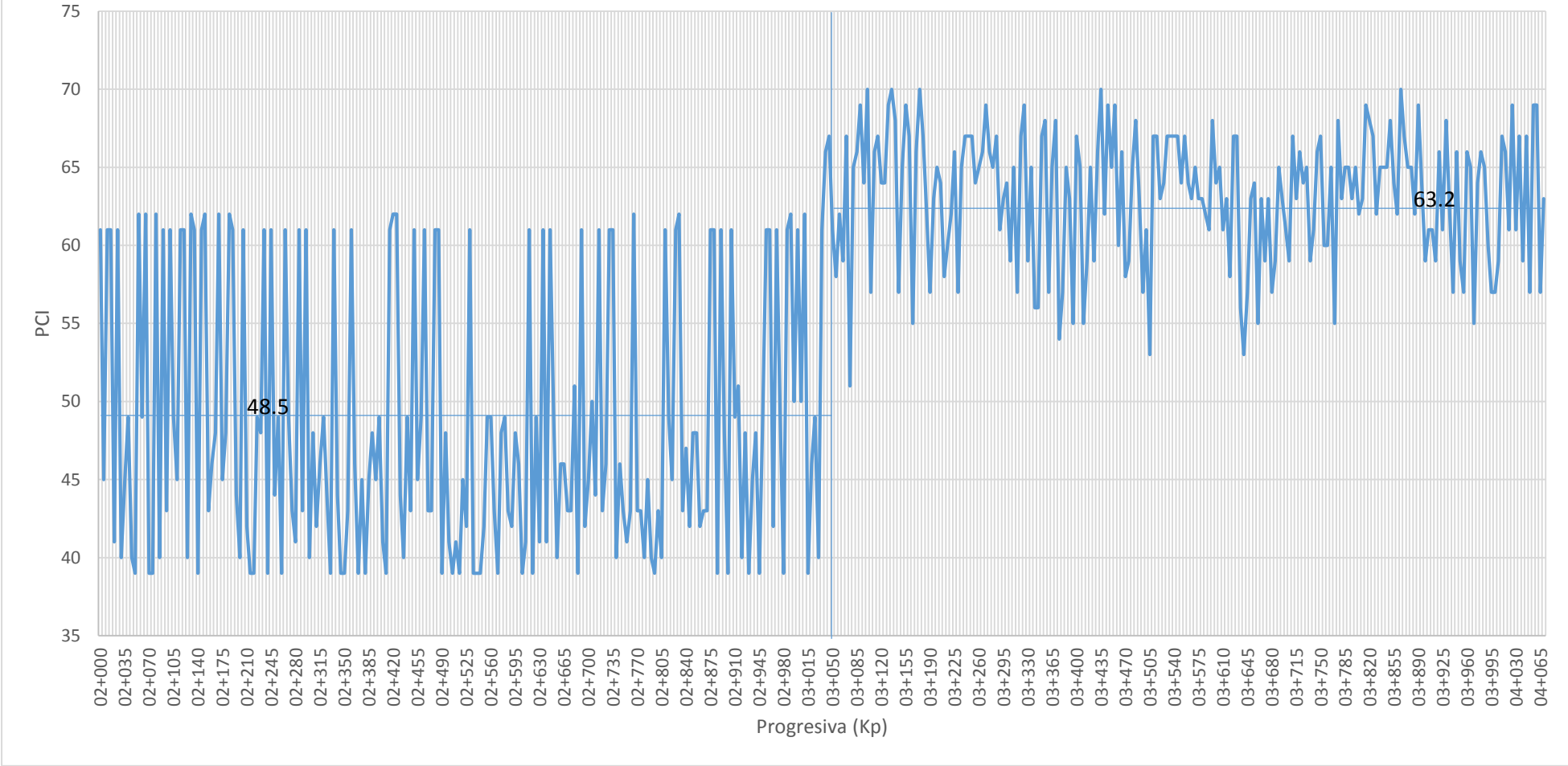


Figura 111: Análisis de evaluación Superficial, método de URCI

CAPÍTULO V: RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. La dosificación adecuada de los geomateriales que tiene la mina (lastre, morrena, voladura y rechazado) que resulto con mejor comportamiento fue la Muestra 14. La dosificación se basa en el método global el cual optimiza sistemáticamente la proporción de agregado fino y grueso como un sólo material. La muestra 14 es elegida por los criterios de Granulometría, Curva de Potencia 0.45 y Colapsabilidad con Gibbs, resultando un suelo con las siguientes características: suelo bien Graduado (existe una mejor relación entre gramos finos y gruesos,) suelo con buena Densidad y un suelo no Colapsable. al método global debido a que este método consiste en optimizar sistemáticamente la proporción de agregado fino y grueso como un sólo material.
2. La funcionalidad de la vía de acarreo con ña dosificación adecuada en comparación con la de lastre resulta:
 - La velocidad promedio generado por el tránsito de camiones en la sección con Lastre es de 22.43 km/h, en comparación con el tramo de Dosificación adecuada “Muestra 14” que es de 25.64 km/h, es decir la sección de lastre es menor a 3.21km/h de la Muestra 14.
 - Existe un mejor comportamiento estructural sobre la capa de rodadura para el tramo con tratamiento con respecto al tramo sección con lastre, disminuyendo la cantidad de mantenimientos para la vía, por ello dentro de un lapso de evaluación de 23 días (época con mayores precipitaciones altas, según datos estadísticos) se registró 5 mantenimientos en la sección de lastre mientras que para la vía de dosificación adecuada es de 3, dando como resultado un ahorro del 40% de inversión para el mantenimiento correctivo de las vías mineras,

3. La productividad del tramo con dosificación adecuada con respecto a la sección con lastre se evalúa por volumen de material adicional transportado por mes, el cual resulto un transporte adicional de 3' 223, 472.43 toneladas adicionales por mes.
4. La evaluación Estructural realizada por módulo resiliente a los dos tramos con y sin tratamiento, resulto que el tramo sin tratamiento obtiene un tipo de material A-1-b, con porcentaje pasante Nro 40, quiere decir con partículas de mayor diámetro, mientras que el tramo con tratamiento obtiene un tipo de material A-1-a, con porcentaje pasante Nro 10, vale decir que es un tipo de material con buena gradación, lo cual permite que la densidad aumente por disminuir los espacios vacíos. Entonces se dice que el tramo con tratamiento es bueno porque al disminuir los espacios vacíos aumenta la densidad y por lo tanto hay una mejor compactación y adherencia entre partículas evitando que el material pueda fácilmente segregarse.
5. La evaluación Superficial por método URCI del tramo con tratamiento resulta con una clasificación JUSTA, mientras el tramo sin tratamiento se clasifico como BUENA.

5.3. Recomendaciones

1. Se debe realizar un estudio de costo – beneficio para la empresa sobre el uso de mejoramiento funcional con geomateriales en las vías mineras, a fin de evaluar la rentabilidad del proyecto propuesto en otras minas.
2. Se debe de realizar a futuro, el estudio de resistencia de materiales tanto en laboratorio como en campo, con los ensayos de corte directo y LWD respectivamente.
3. Se debe replicar el estudio en otras minas del país, orientándolo a sus condiciones y consideraciones según diseños estructurales.

4. Se recomienda tener un buen control en los ensayos de materiales, a fin de obtener resultados confiables y conseguir la mezcla adecuada.
5. Realizar estudios de levantamiento topográfico, vuelos con dron, escaneos a la vía para evaluar deformaciones y tener un control riguroso de mantenimiento preventivo a las vías en épocas de precipitaciones altas.
6. Colocar de manera opcional una capa superficial de afirmado de buena estabilidad, resistente a la abrasión, a fin de evitar el levantamiento de polvo y disminución de desgaste de neumáticos y facilitar el mantenimiento de la vía.
7. Se recomienda la evaluación del uso de geomallas biaxiales o triaxiales de acuerdo al tipo de subrasante, a fin de reforzar zonas donde la capacidad portante sea menor a la estimada.
8. Se recomienda emplear el Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI que sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. El IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino, sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino. Es importante el empleo de este índice pues incide sobre el rendimiento (vida útil y costos de mantenimiento).

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVA, R. *Optimización del Sistema de Carguío y Acarreo en Comarsa*, 6to Congreso Nacional de Minería, Trujillo – Perú. 2006
- BORRS DORF, A., HANNES, C., TINOCO, C. *Espacios naturales de Latinoamérica*. Institut für Geographie der Universität Innsbruck. 2012
- CANTURIN, R. y SIUCHO, R. *Aplicación de Métodos de Productividad en las Operaciones de Equipos de Movimiento de Tierras Lima* – Perú. 2004.
- Caterpillar 2017. http://www.cat.com/es_US/support/operations/technology/cat-minestar/minestar-in-action/haul-road-maintenance.html
- CEDEÑO, D. *Investigación de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe - ñan, Cantón Quito*. Universidad Central del Ecuador. 2013.
- CENTRO NACIONAL MINERO. Servicio Nacional de Aprendizaje. Infraestructura Minera a Cielo Abierto, Boyacá- Colombia. 2002.
<http://s48eb3e6ebabe5db6.jimcontent.com/download/version/1313722964/module/5693553371/name/infraestructura%20y%20servicios%20a%20la%20mina.%20pdf.pdf>.
- CLEMENTE, S., y FINBARR, A. “*Desing Considerations for Collapsible Soil of the Geotechnical Enginnering División*”, ASCE vol. 107. 1981. pp. 305-317.
- DEL CORRAL, J. Revista Perú Construye, *Diseño y construcción de Caminos mineros: Hechos para soportar cargas pesadas*, Lima - Perú. 2016
<http://www.peruconstruye.net/disen-y-construccion-de-caminos-mineros-hechos-para-soportar-cargas-pesadas/>

- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. *Manual de Ensayo de Materiales*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Mayo año 2016.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Abril año 2014.
- DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS DE COSTA RICA. Reglamento al código de Minería. 2017.
http://www.geologia.go.cr/viejo/ley_reglamentos/reglamento_mineria/Definiciones.html
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) del MTC*. Segunda Edición. 2000.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). *Manual de ensayo de materiales*. Segunda Edición. 2016.
- GÓMEZ, S. *Dimensionamiento Óptimo De Flotas de Equipos para Proyectos de Movimiento de Tierras*, Lima - Perú. 2013.
- GOETZ, W. H, AND L. E. WOOD. *Bituminous Materials and Mixtures*. Highway Engineering, 1996.
- HERMOSILLA M., y CARDENAS J. Evaluación e identificación del potencial de colapso en suelos derivados de cenizas volcánicas del Sur de Chile. 2012.
- INGENIERÍA INDUSTRIAL. 2017.
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>
- KOMATSU. 2017. <http://www.komatsu.com.au/Equipment>

- MARINOVICH, Frano. Influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad de acarreo en el minado del tajo Pampa Verde, minera La Zanja- Cajamarca. 2016
- MENDOZA, Mendiola: “Bases y Sub-Bases”. Instituto Politécnico Nacional. 2008.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Edición 2008.
- MODULAR MINING SYSTEMS, Inc.2016. *Sistema de Gestión de mina*. Pág. 1-4.
- PANKAJ K; RAJ B; ROHIT K; RAHUL K; MURAD A. 2016. *International Journal of Science Technology & Engineering* .Volume 2. Issue 11. Mayo 2016
- QUIÑONEZ, D. *Uso del Deflectómetro de Impacto Liviano (LWD), para la aplicación del retrocálculo en carreteras no asfaltadas, caso práctico: Proyecto Regional Cuzco*. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.
- RAMOS. F. *La Minería del Perú y el aporte del Ingeniero Civil*, Puno – Perú. 2013
- RENGIFO, K. *Diseño de los pavimentos de la nueva Carretera Panamericana Norte en el tramo de Huacho a Pativilca (KM 188 A 189)*”. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2014.
- ROBERTS, FL, KANDHAL, PS, BROWN, ER, LEE, DY Y KENNEDY, TW. *Materiales de mezcla de asfalto caliente, diseño de mezcla y construcción*. Fundación Educativa de la Asociación Nacional de Pavimentación de Asfalto. Lanham, MD. 1996.
- SALDAÑA, A. *Productividad en el Ciclo de Carguío y Acarreo en el Tajo Chaquicocha Bajo Clima Severo – Minera Yanacocha (2004)*, Lima –Perú. 2013.
- Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Peru (SENAMHI). Pagina revisada el 12 de abril del 2018. <http://www.senamhi.gob.pe/?p=escenarios-lluvia>

- UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA (UCA). *Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz no. 200 (75 um) en agregado mineral por lavado*. El Salvador. 2008.
- UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO. *Manual de laboratorio de humedad*. Chile. 2012.
- VISSER, A. *Haul roads can make money*. 2015
- YOZA, A. *Gestión de Vías en Proyectos Open Pit 2010) Mina El Brocal*. Perú. 2010.

ANEXOS

Anexo I

Carta N° JCM20-2018

Huaraz, 09 de mayo del 2018

Señor Ingeniero PhD:

Andrés Sotil Chávez

Ingeniero asesor de Tesis - Universidad Continental

Asunto : Elaboración de ensayos de Mecánica de Suelos

Por medio de la presente carta, notifico que el señor Percy Edgardo Maraví Baldeón, identificado con DNI N° 46460332, trabajó bajo mi supervisión en la ejecución y análisis de los ensayos de mecánica de suelos, para el diseño geométrico y ejecución de un proyecto de vías, registros que él mismo utilizó para la elaboración de su tesis de pregrado, a fin de obtener el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Continental en Huancayo.

Expido la presente carta, a solicitud del interesado, a fin de certificar la validez de los registros de ensayos, usada por el señor para la elaboración de su Tesis.

Sin otro particular me despido cordialmente,

Atentamente,

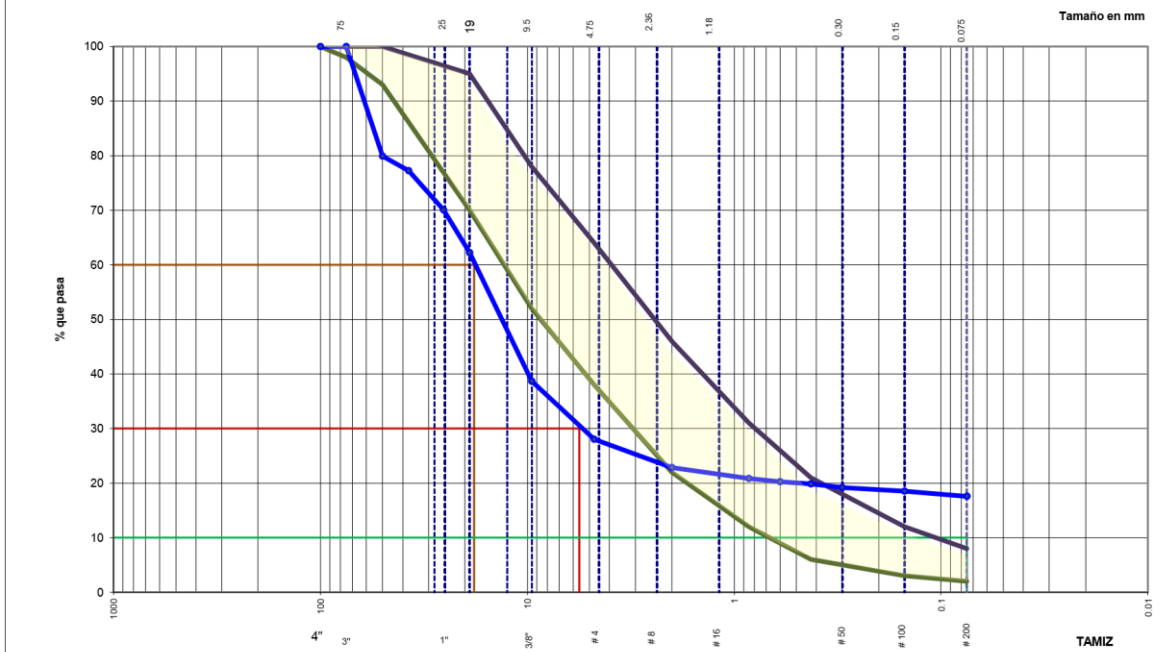

JAIME CASAFRANCA MEDINA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIF N° 71594

Carta del Ingeniero Supervisor Senior de Mina– Jefe de Laboratorio de suelos, validando los ensayos presentados en la presente tesis.

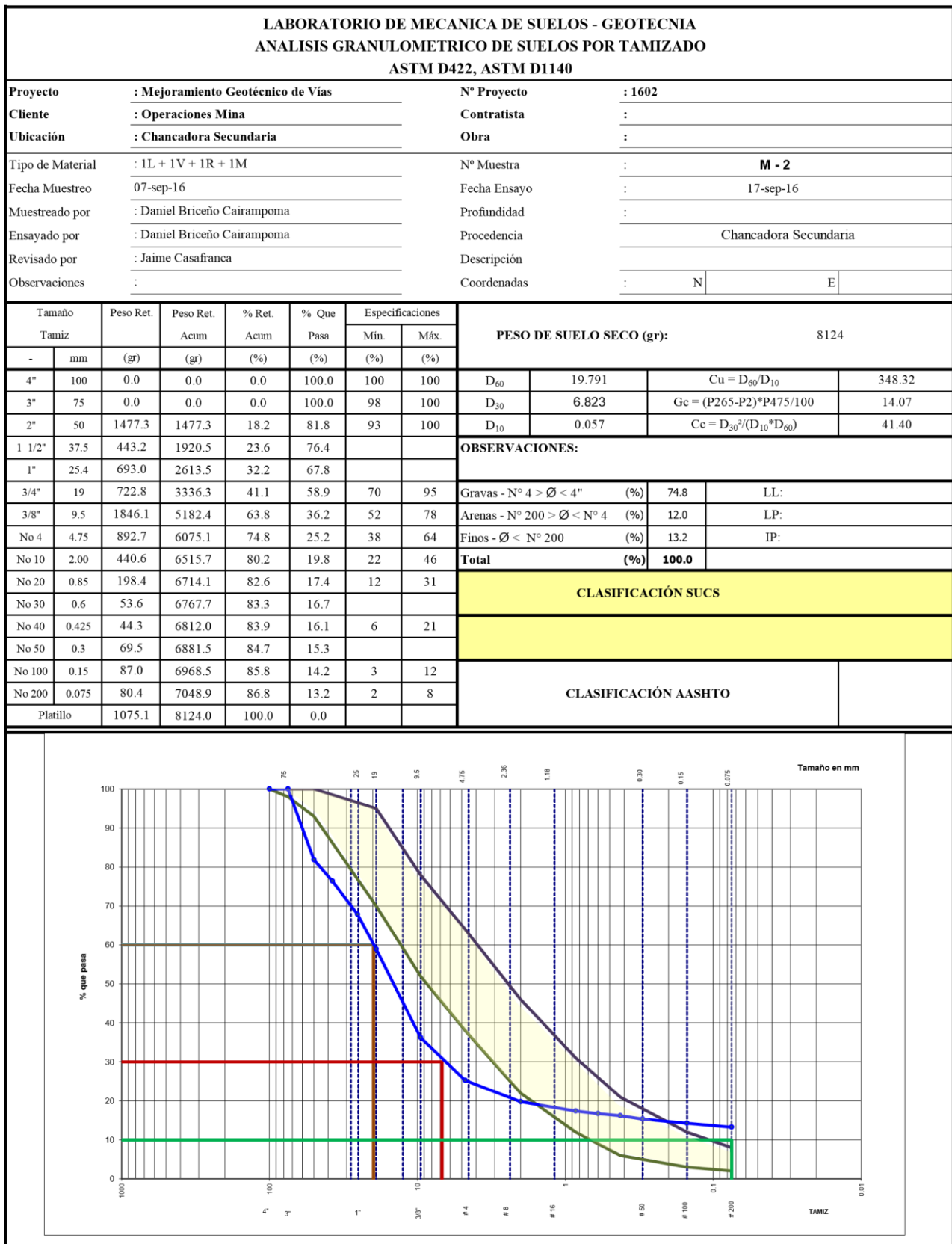
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 1 (M -1)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO ASTM D422, ASTM D1140			
Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de Vías	N° Proyecto	: 1602
Ciente	: Operaciones Mina	Contratista	:
Ubicación	: Chancadora Secundaria	Obra	:
Tipo de Material	: 1 Lastre + 1 Voladura + 1 Rechazado + 2 Morrena	N° Muestra	: M - 1
Fecha Muestreo	: 02-sep-16	Fecha Ensayo	: 03-sep-16
Muestreado por	: Percy Maravi B.	Profundidad	:
Ensayado por	: Percy Maravi B.	Procedencia	: Chancadora Secundaria
Revisado por	: Jaime Casafranca	Descripción	:
Observaciones	:	Coordenadas	: N E

Tamaño Tamiz	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum (gr)	% Ret. Acum (%)	% Que Pasa (%)	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr): 9069.1				
					Mín. (%)	Máx. (%)	D ₆₀	18.074	Cu = D ₆₀ /D ₁₀	424.14	
-	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	D ₃₀	5.601	Gc = (P265-P2)*P475/100	23.41
4"	100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	D ₁₀	0.043	Cc = D ₃₀ ² /(D ₁₀ *D ₆₀)	40.74
3"	75	0.0	0.0	0.0	100.0	98	100	OBSERVACIONES:			
2"	50	1820.1	1820.1	20.1	79.9	93	100	Gravas - N° 4 > Ø < 4" (%) 71.9 LL:			
1 1/2"	37.5	243.6	2063.7	22.8	77.2			Arenas - N° 200 > Ø < N° 4 (%) 10.5 LP:			
1"	25.4	648.1	2711.8	29.9	70.1			Finos - Ø < N° 200 (%) 17.6 IP:			
3/4"	19	711.6	3423.4	37.7	62.3	70	95	Total (%) 100.0			
3/8"	9.5	2140.4	5563.8	61.3	38.7	52	78	CLASIFICACIÓN SUCS			
No 4	4.75	960.9	6524.7	71.9	28.1	38	64				
No 10	2.00	472.0	6996.7	77.1	22.9	22	46	CLASIFICACIÓN AASHTO			
No 20	0.85	184.5	7181.2	79.2	20.8	12	31				
No 30	0.6	50.0	7231.2	79.7	20.3						
No 40	0.425	40.3	7271.5	80.2	19.8	6	21				
No 50	0.3	58.4	7329.9	80.8	19.2						
No 100	0.15	58.8	7388.7	81.5	18.5	3	12				
No 200	0.075	88.1	7476.8	82.4	17.6	2	8				
Platillo		1592.3	9069.1	100.0	0.0						



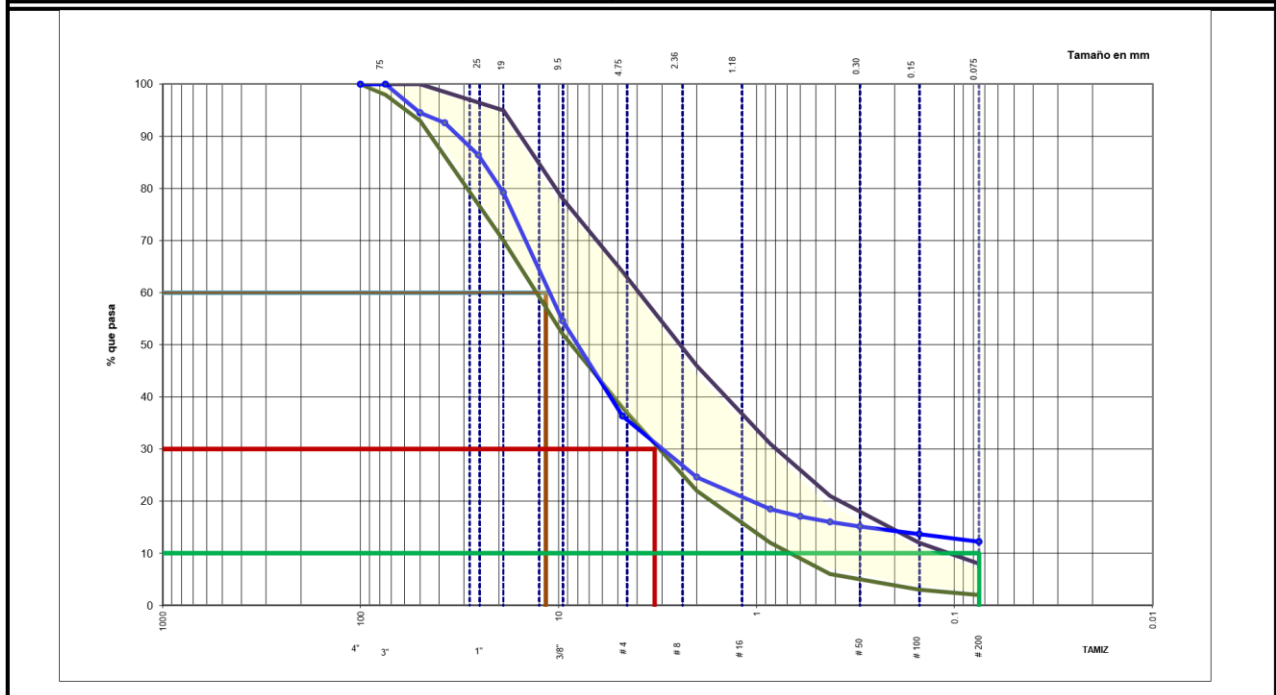
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 2 (M -2)



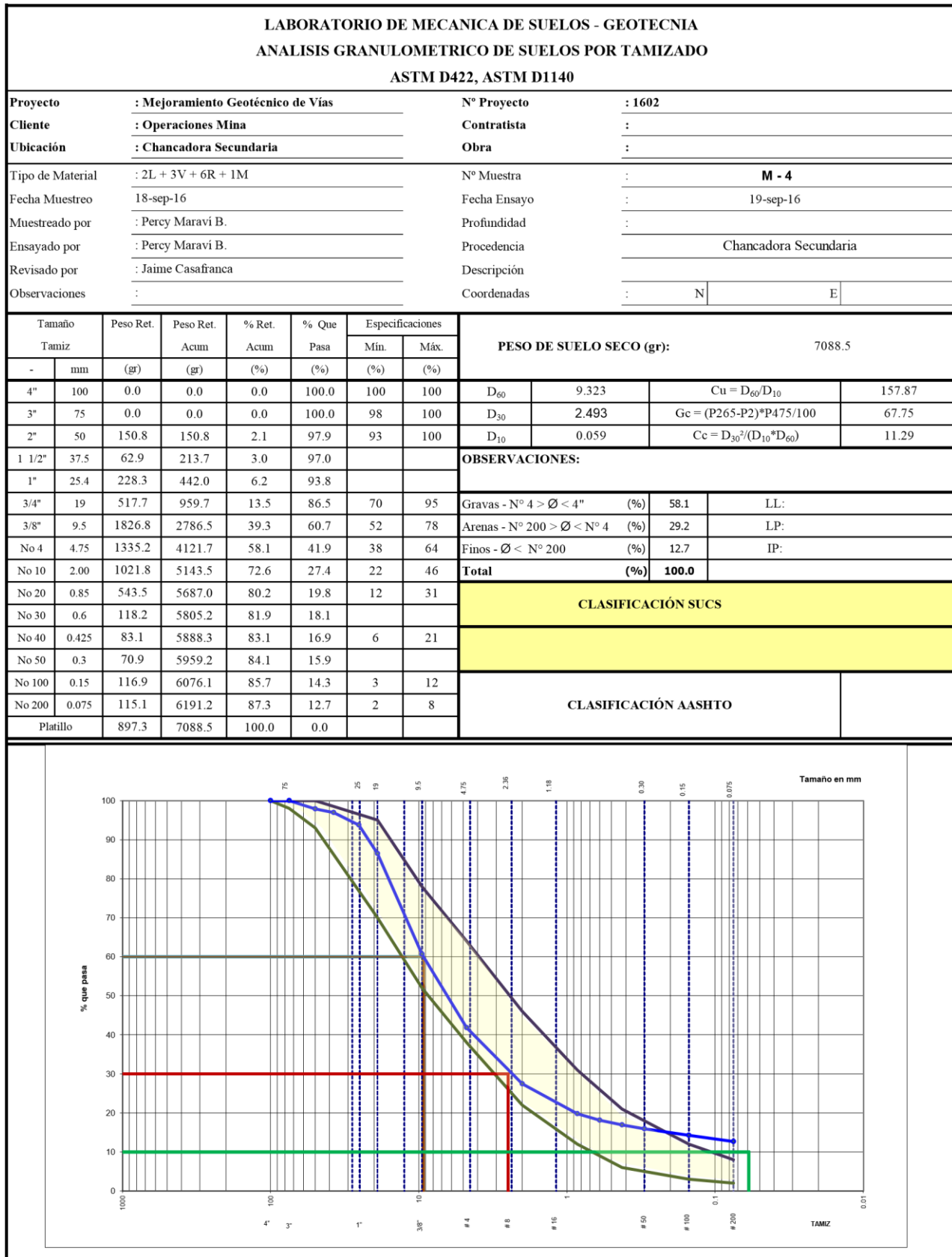
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 3 (M -3)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA			
ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO			
ASTM D422, ASTM D1140			
Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de Vías	N° Proyecto	: 1602
Cliente	: Operaciones Mina	Contratista	:
Ubicación	: Chancadora Secundaria	Obra	:
Tipo de Material	: 1L + 2V + 3R + 1M	N° Muestra	: M - 3
Fecha Muestreo	: 17-sep-16	Fecha Ensayo	: 18-sep-16
Muestreado por	: Daniel Briceno C.	Profundidad	:
Ensayado por	: Percy Maravi Baldeón	Procedencia	: Chancadora Secundaria
Revisado por	: Jaime Casafranca	Descripción	: Hornfels gris fase 8 + Morrena Rampa I
Observaciones	:	Coordenadas	: N E

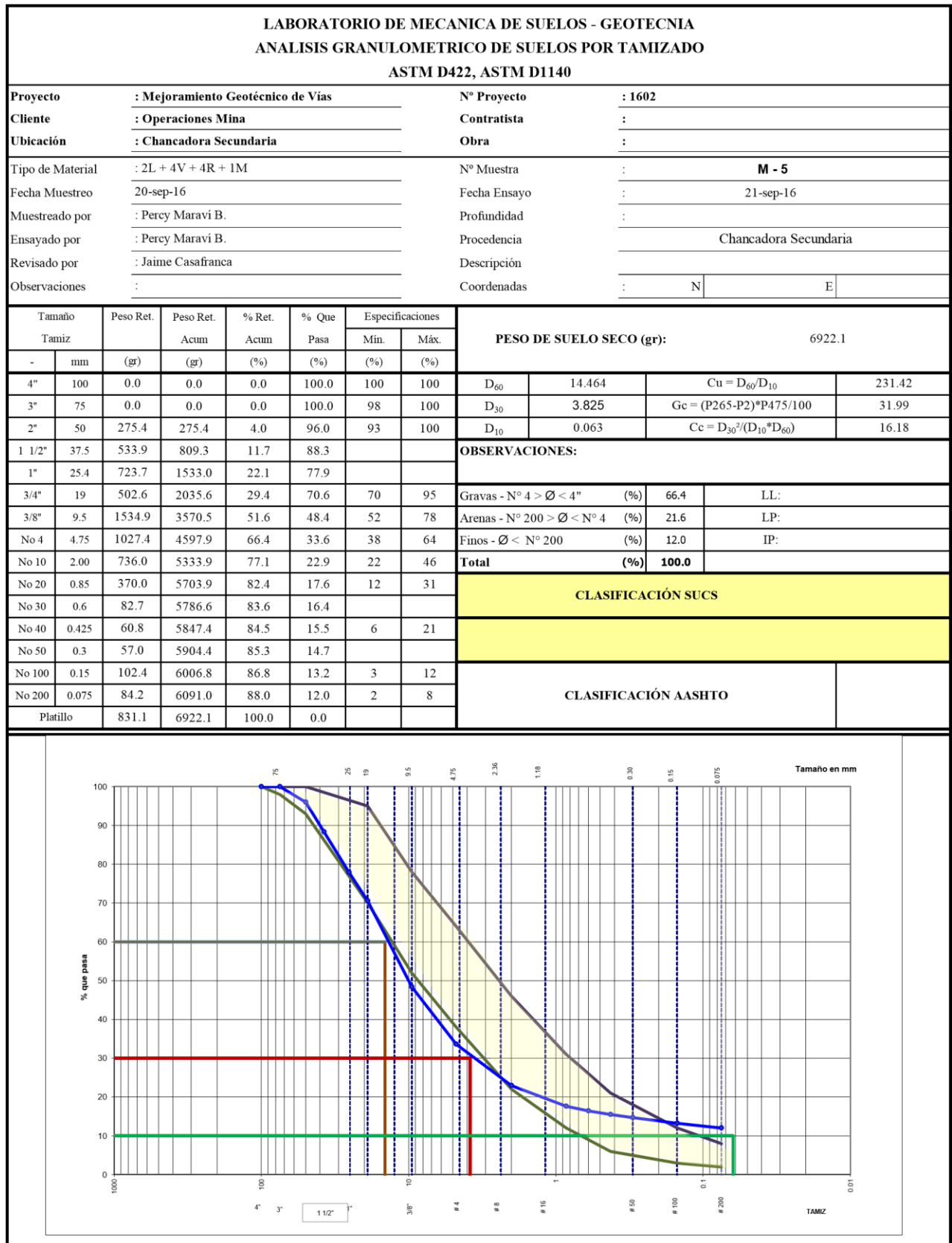
Tamaño Tamiz	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum (gr)	% Ret. Acum (%)	% Que Pasa (%)	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr):				
					Mín. (%)	Máx. (%)					
-	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	6756.5			
4"	100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	D ₆₀	11.585	Cu = D ₆₀ /D ₁₀	188.46
3"	75	0.0	0.0	0.0	100.0	98	100	D ₃₀	3.269	Gc = (P265-P2)*P475/100	37.87
2"	50	370.8	370.8	5.5	94.5	93	100	D ₁₀	0.061	Cc = D ₃₀ ² /(D ₁₀ *D ₆₀)	15.01
1 1/2"	37.5	129.4	500.2	7.4	92.6			OBSERVACIONES:			
1"	25.4	419.9	920.1	13.6	86.4			Gravas - N° 4 > Ø < 4" (%) 63.7 LL:			
3/4"	19	487.0	1407.1	20.8	79.2	70	95	Arenas - N° 200 > Ø < N° 4 (%) 24.1 LP:			
3/8"	9.5	1663.1	3070.2	45.4	54.6	52	78	Finos - Ø < N° 200 (%) 12.2 IP:			
No 4	4.75	1231.1	4301.3	63.7	36.3	38	64	Total (%) 100.0			
No 10	2.00	791.8	5093.1	75.4	24.6	22	46	CLASIFICACIÓN SUCS			
No 20	0.85	417.2	5510.3	81.6	18.4	12	31				
No 30	0.6	94.1	5604.4	82.9	17.1						
No 40	0.425	68.6	5673.0	84.0	16.0	6	21				
No 50	0.3	60.3	5733.3	84.9	15.1						
No 100	0.15	98.8	5832.1	86.3	13.7	3	12	CLASIFICACIÓN AASHTO			
No 200	0.075	98.6	5930.7	87.8	12.2	2	8				
Platillo		825.8	6756.5	100.0	0.0						



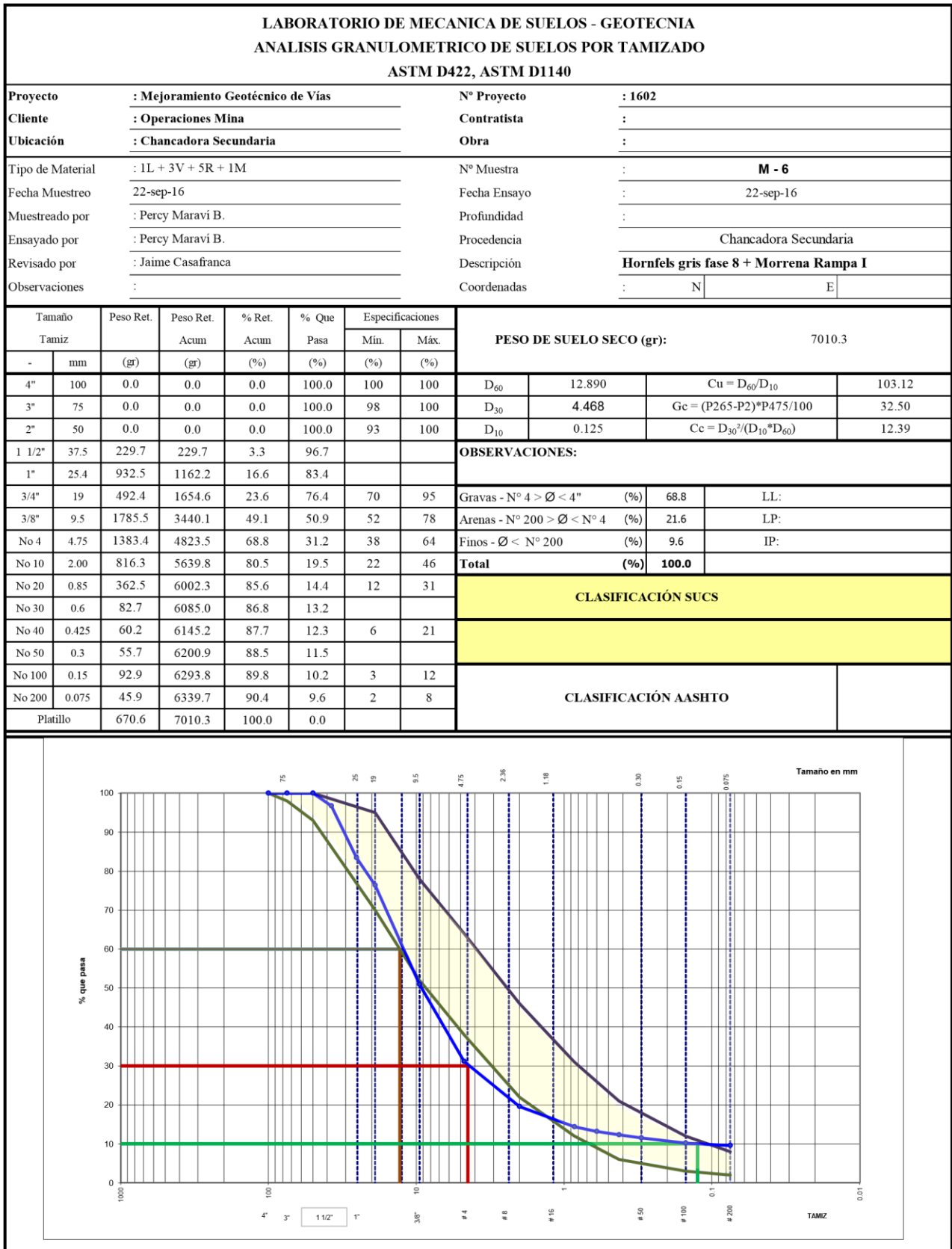
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 4 (M -4)



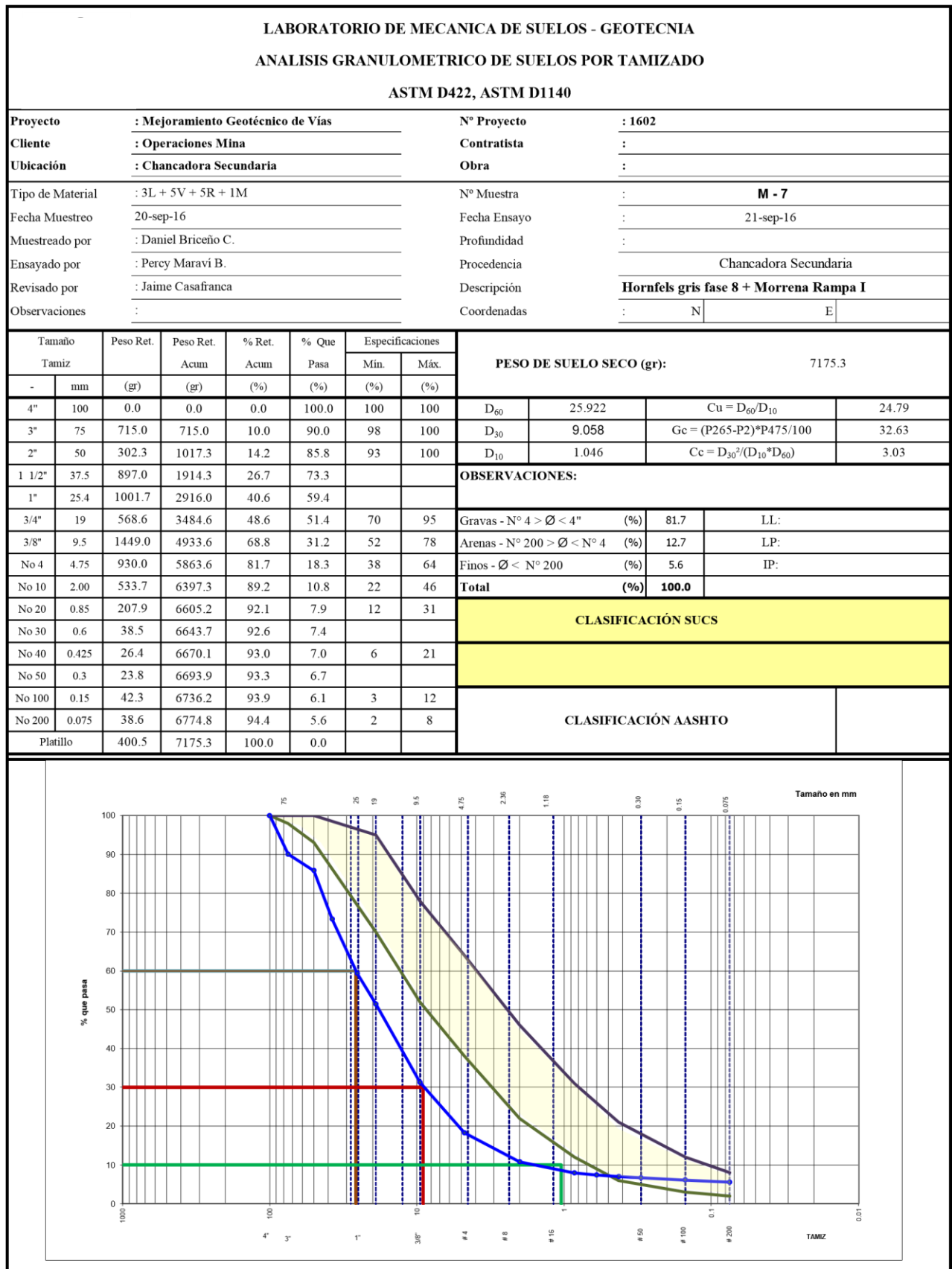
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 5 (M -5)



Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 6 (M -6)



Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 7 (M -7)



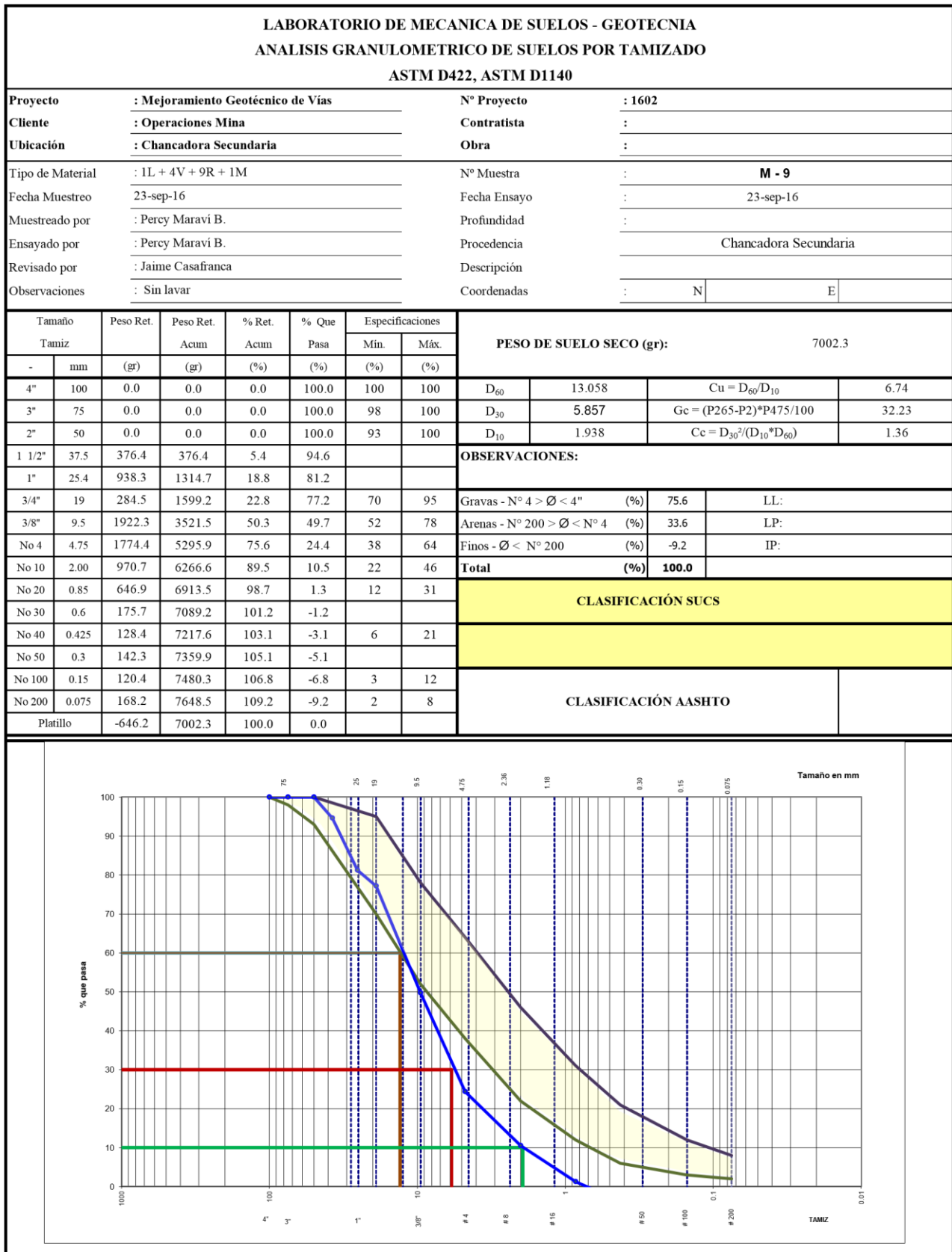
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 8 (M -8)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA											
ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO											
ASTM D422, ASTM D1140											
Proyecto : Mejoramiento Geotécnico de Vías				Nº Proyecto : 1602							
Cliente : Operaciones Mina				Contratista :							
Ubicación : Chancadora Secundaria				Obra :							
Tipo de Material : 1L + 1V + 7R + 2M				Nº Muestra : M - 8							
Fecha Muestreo : 23-sep-16				Fecha Ensayo : 23-sep-16							
Muestreado por : Percy Maravi B.				Profundidad :							
Ensayado por : Percy Maravi B.				Procedencia : Chancadora Secundaria							
Revisado por : Jaime Casafranca				Descripción :							
Observaciones :				Coordenadas : N E							
Tamaño Tamiz		Peso Ret.	Peso Ret. Acum.	% Ret. Acum.	% Que Pasa	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr): 7138.8			
-	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)	Mín.	Máx.				
4"	100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	D ₆₀	12.753	Cu = D ₆₀ /D ₁₀	21.60
3"	75	0.0	0.0	0.0	100.0	98	100	D ₃₀	3.699	Gc = (P265-P2)*P475/100	42.66
2"	50	0.0	0.0	0.0	100.0	93	100	D ₁₀	0.590	Cc = D ₃₀ ² /(D ₁₀ *D ₆₀)	1.82
1 1/2"	37.5	222.3	222.3	3.1	96.9			OBSERVACIONES:			
1"	25.4	1010.6	1232.9	17.3	82.7						
3/4"	19	413.8	1646.7	23.1	76.9	70	95	Gravas - N° 4 > Ø < 4"	(%)	64.8	LL:
3/8"	9.5	1836.8	3483.5	48.8	51.2	52	78	Arenas - N° 200 > Ø < N° 4	(%)	33.0	LP:
No 4	4.75	1141.8	4625.3	64.8	35.2	38	64	Finos - Ø < N° 200	(%)	2.3	IP:
No 10	2.00	970.7	5596.0	78.4	21.6	22	46	Total	(%)	100.0	
No 20	0.85	646.9	6242.9	87.5	12.5	12	31	CLASIFICACIÓN SUCS			
No 30	0.6	175.7	6418.6	89.9	10.1			CLASIFICACIÓN AASHTO			
No 40	0.425	128.4	6547.0	91.7	8.3	6	21				
No 50	0.3	142.3	6689.3	93.7	6.3						
No 100	0.15	120.4	6809.7	95.4	4.6	3	12				
No 200	0.075	168.2	6977.9	97.7	2.3	2	8				
Platillo		160.9	7138.8	100.0	0.0						

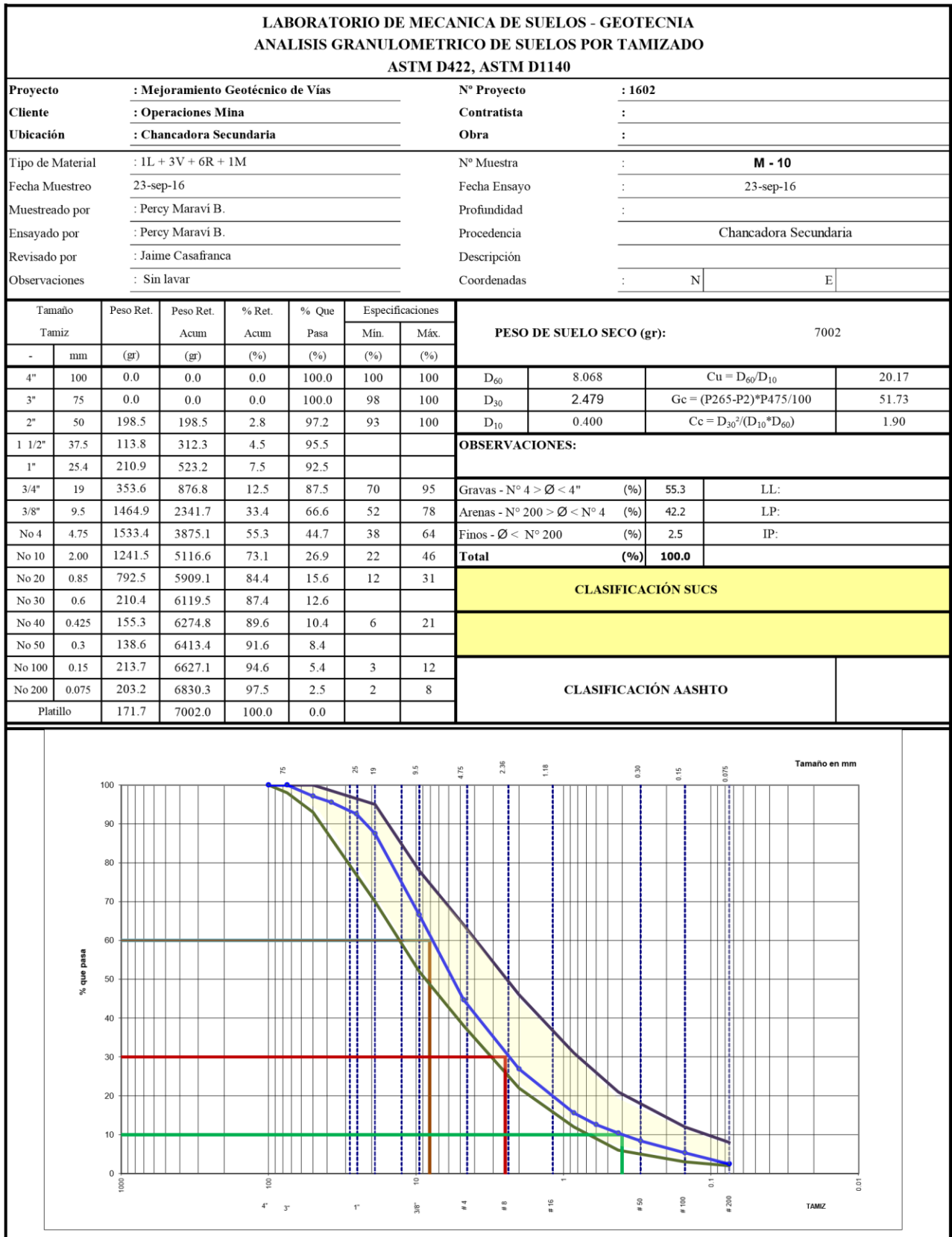
Tamaño en mm

TAMIZ

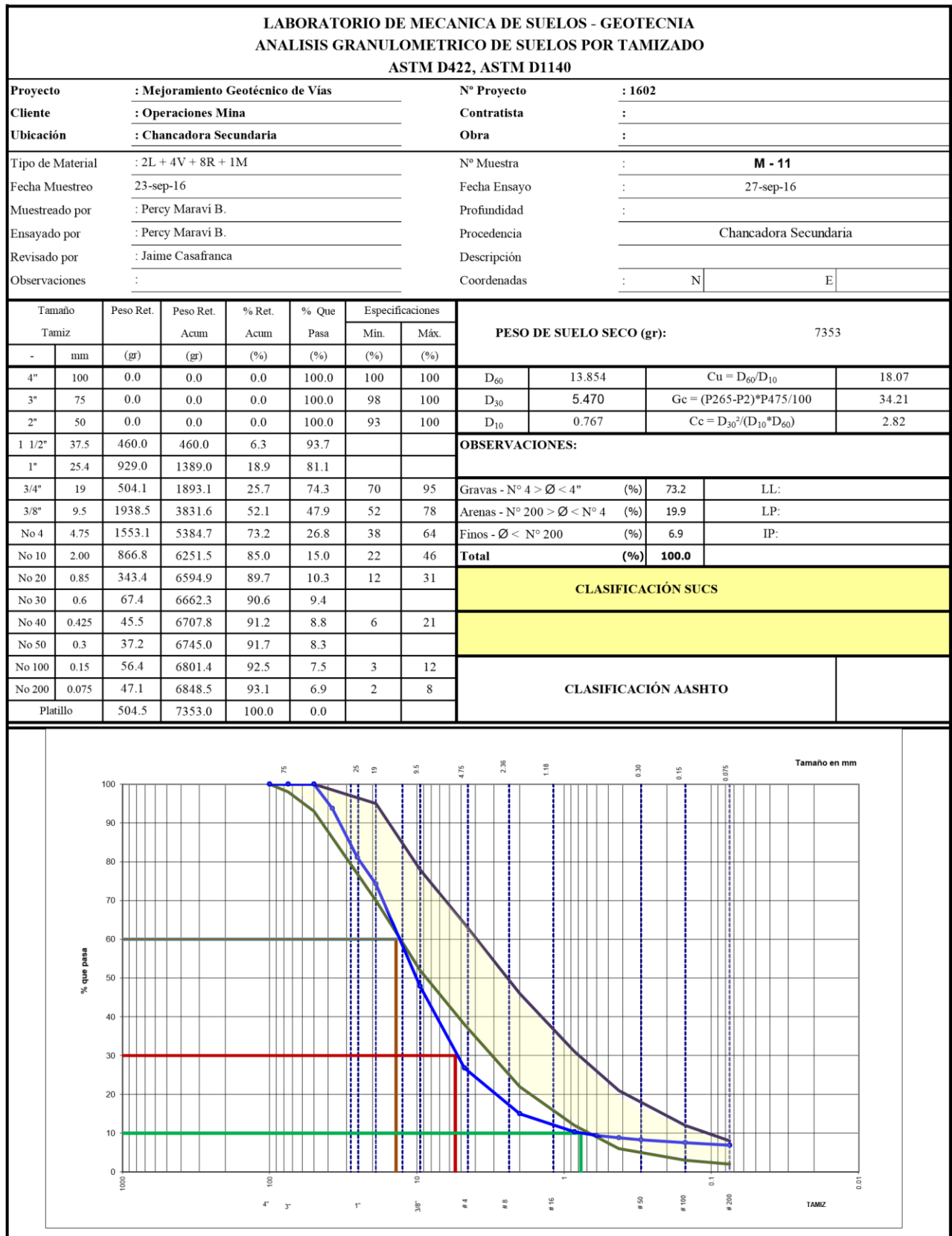
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 9 (M -9)



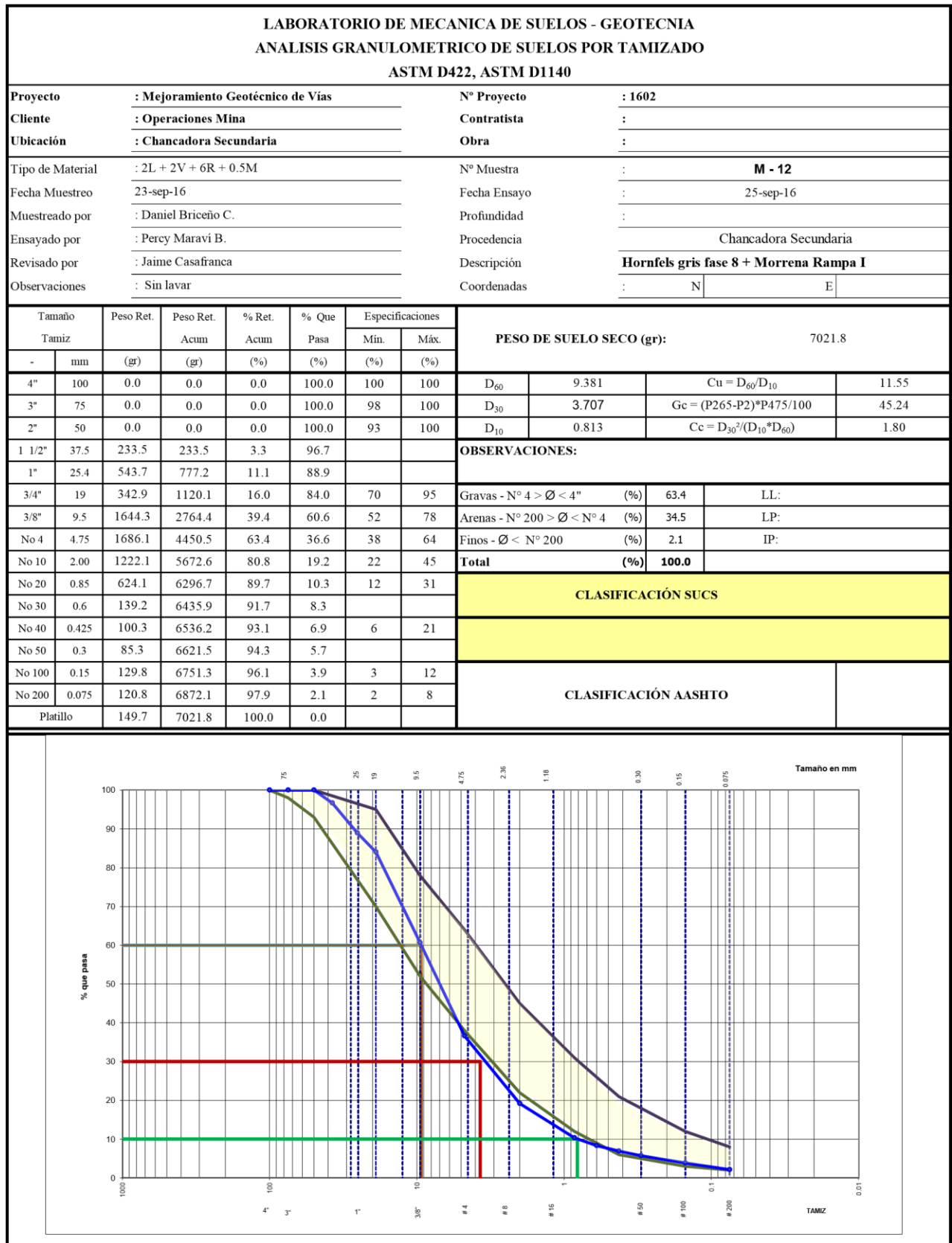
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 10 (M -10)



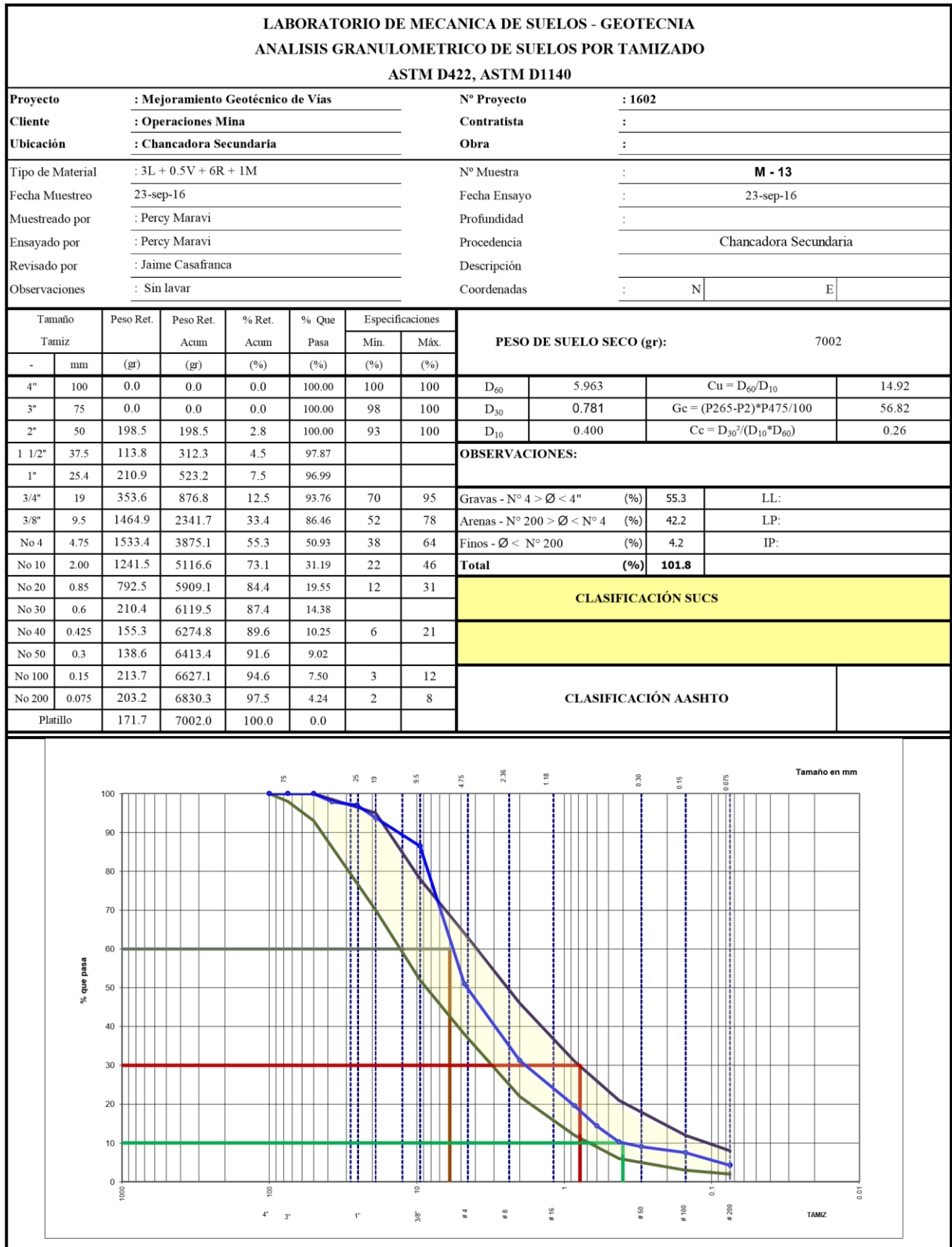
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 11 (M -11)



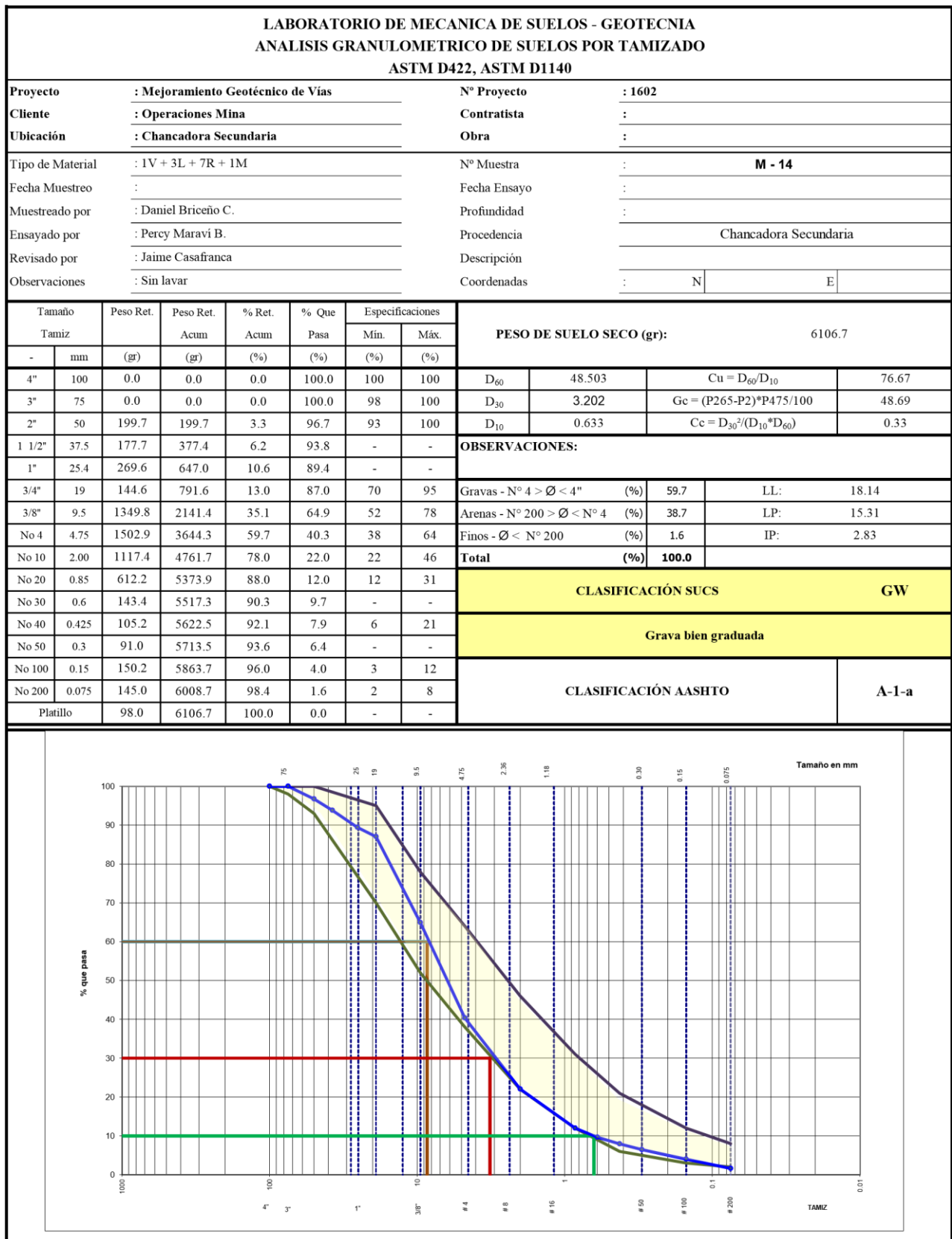
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 12 (M -12)



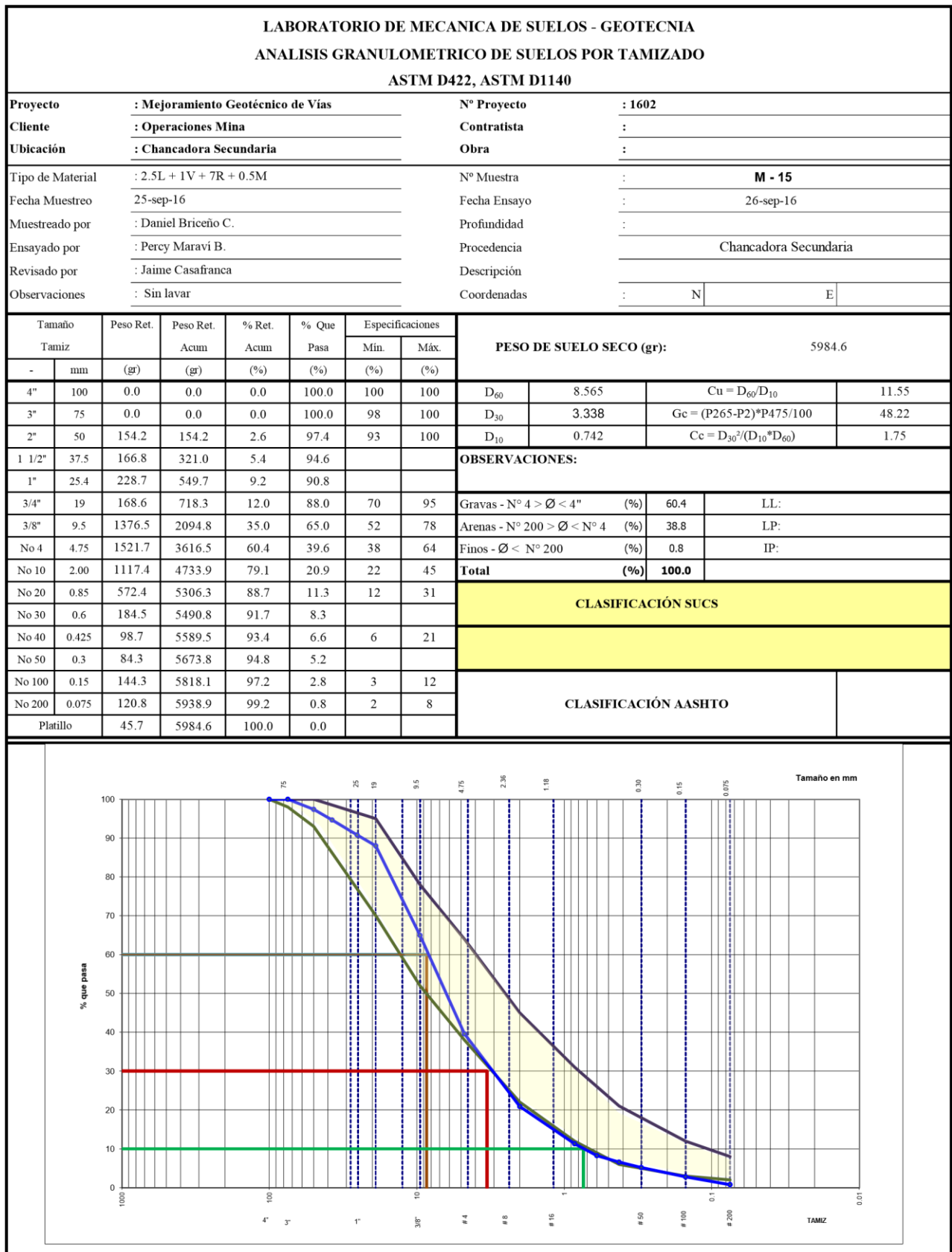
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 13 (M -13)



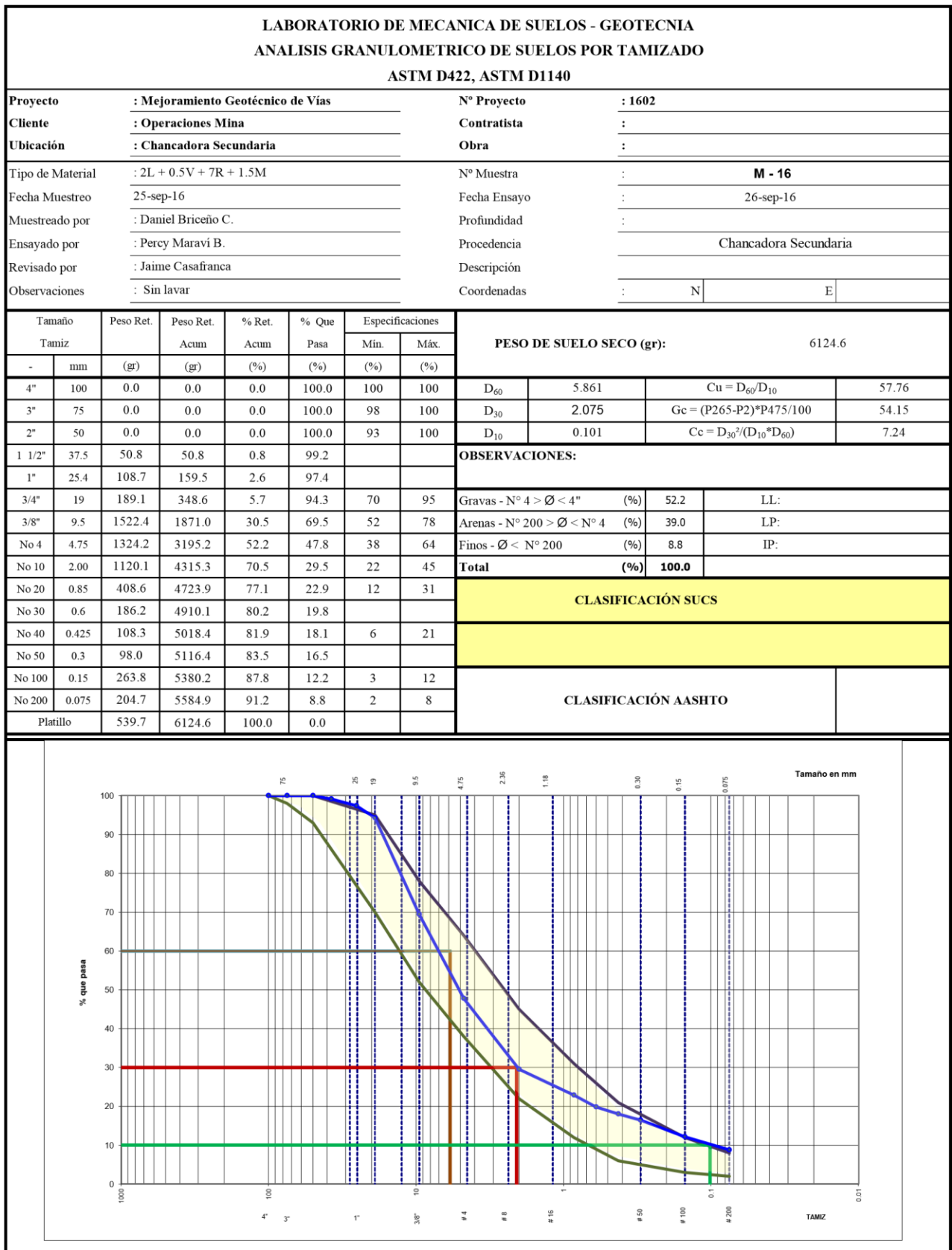
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 14 (M -14)



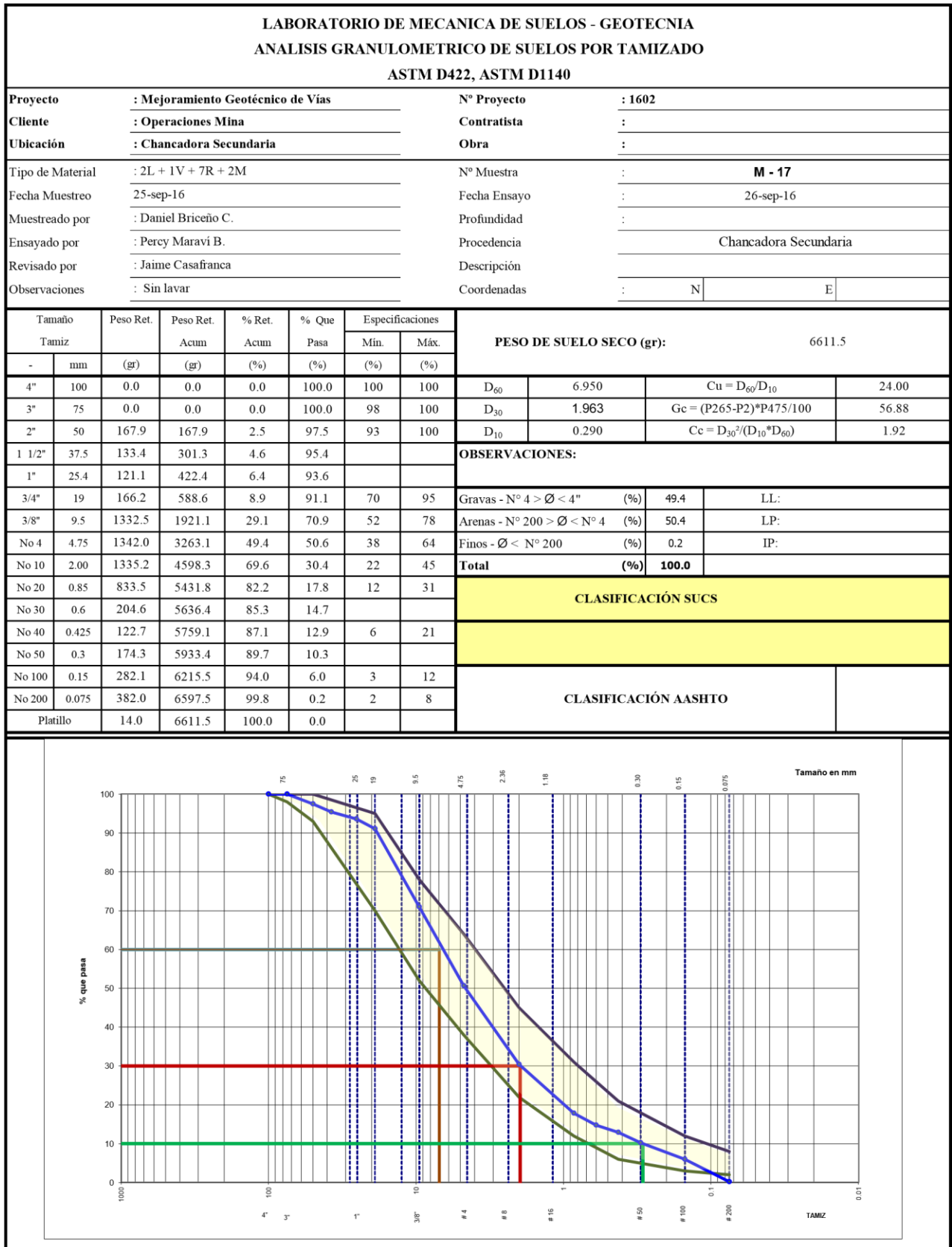
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 15 (M -15)



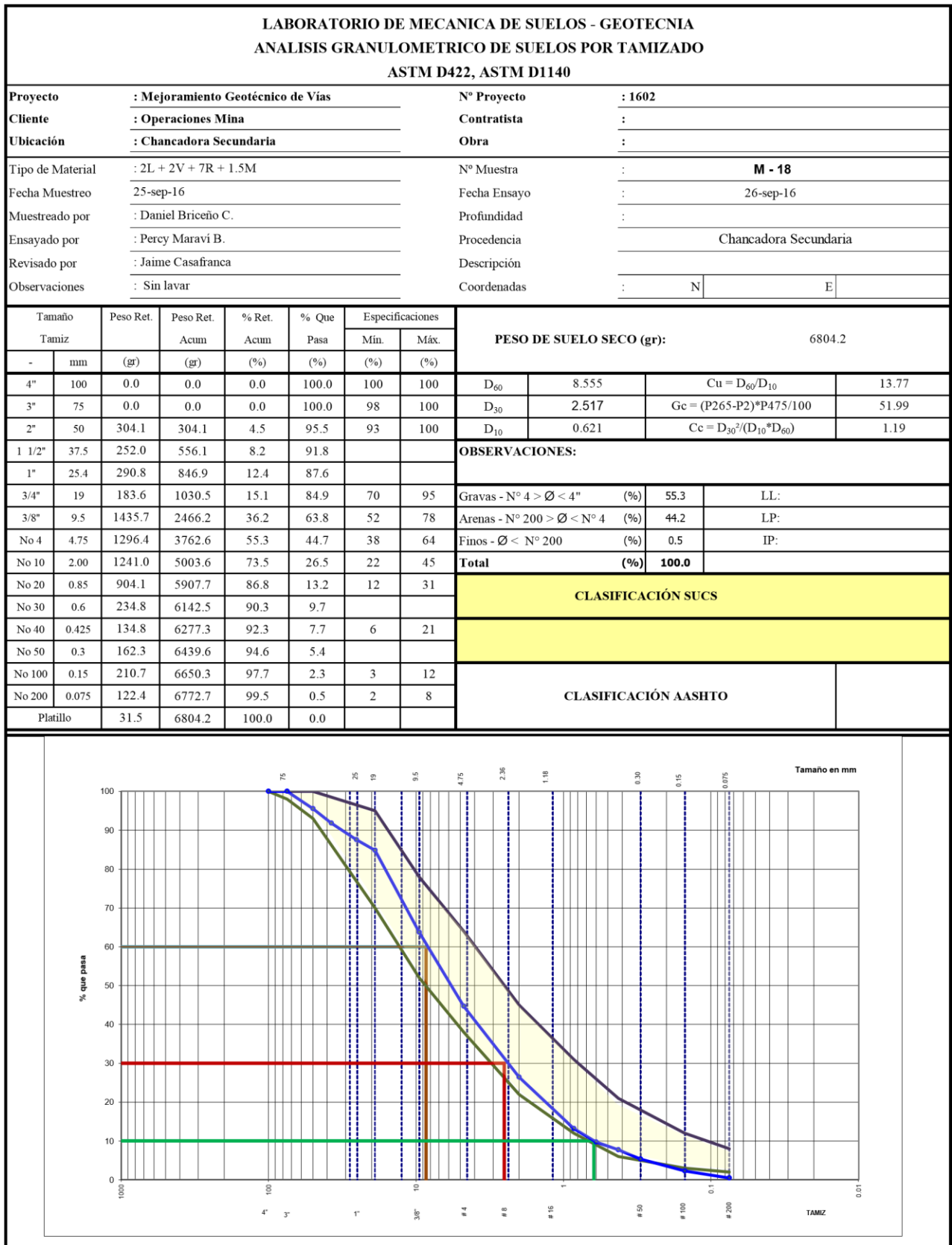
Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 16 (M -16)



Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 17 (M -17)



Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140, muestra 18 (M -18)



Anexo II: Ensayos de granulometría de muestras por separado

Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 de Lastre

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO											
ASTM D422, ASTM D1140											
Proyecto : Mejoramiento Geotécnico de Vías				N° Proyecto : 1602							
Cliente : Operaciones Mina				Contratista :							
Ubicación : Chancadora Secundaria				Obra :							
Tipo de Material : Lastre / Material de Voladura				N° Muestra : Material de Tramo Sin Tratamiento							
Fecha Muestreo :				Fecha Ensayo :							
Muestreado por : Percy Maravi B.				Profundidad :							
Ensayado por : Percy Maravi B.				Procedencia : Tajo - Chancadora Secundaria							
Revisado por : Jaime Casafianza				Descripción :							
Observaciones : Lavado / Peso=6149.24 kg Muestra Lavada				Coordenadas : N				E			
Tamaño Tamiz		Peso Ret.	Peso Ret. Acum	% Ret. Acum	% Que Pasa	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr): 6149.24			
-	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)	Min.	Máx.				
4"	100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	D_{60}	239.529	$C_u = D_{60}/D_{10}$	6.68
3"	75	2105.4	2105.4	34.2	65.8	98	100	D_{50}	47.278	$G_c = (P_{265-P_2}) * P_{475}/100$	4.00
2"	50	1841.6	3947.0	64.2	35.8	93	100	D_{10}	35.850	$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} * D_{60})$	0.26
1 1/2"	37.5	1512.5	5459.5	88.8	11.2	-	-	OBSERVACIONES:			
1"	25.4	269.6	5729.1	93.2	6.8	-	-				
3/4"	19	244.3	5973.4	97.1	2.9	70	95	Gravas - $N^{\circ} 4 > \phi < 4"$	(%)	97.1	LL: 2.55
3/8"	9.5	0.0	5973.4	97.1	2.9	52	78	Arenas - $N^{\circ} 200 > \phi < N^{\circ} 4$	(%)	2.0	LP: 1.90
No 4	4.75	0.0	5973.4	97.1	2.9	38	64	Finos - $\phi < N^{\circ} 200$	(%)	0.8	IP: 0.65
No 10	2.00	0.0	5973.4	97.1	2.9	22	46	Total	(%)	100.0	
No 20	0.85	0.0	5973.4	97.1	2.9	12	31	CLASIFICACIÓN SUCS GP			
No 30	0.6	0.0	5973.4	97.1	2.9	-	-	Grava mal graduada			
No 40	0.425	0.0	5973.4	97.1	2.9	6	21	CLASIFICACIÓN AASHTO			
No 50	0.3	0.0	5973.4	97.1	2.9	-	-				
No 100	0.15	41.1	6014.5	97.8	2.2	3	12				
No 200	0.075	83.4	6097.9	99.2	0.8	2	8				
Platillo		51.3	6149.2	100.0	0.0	-	-				

Tamaño en mm

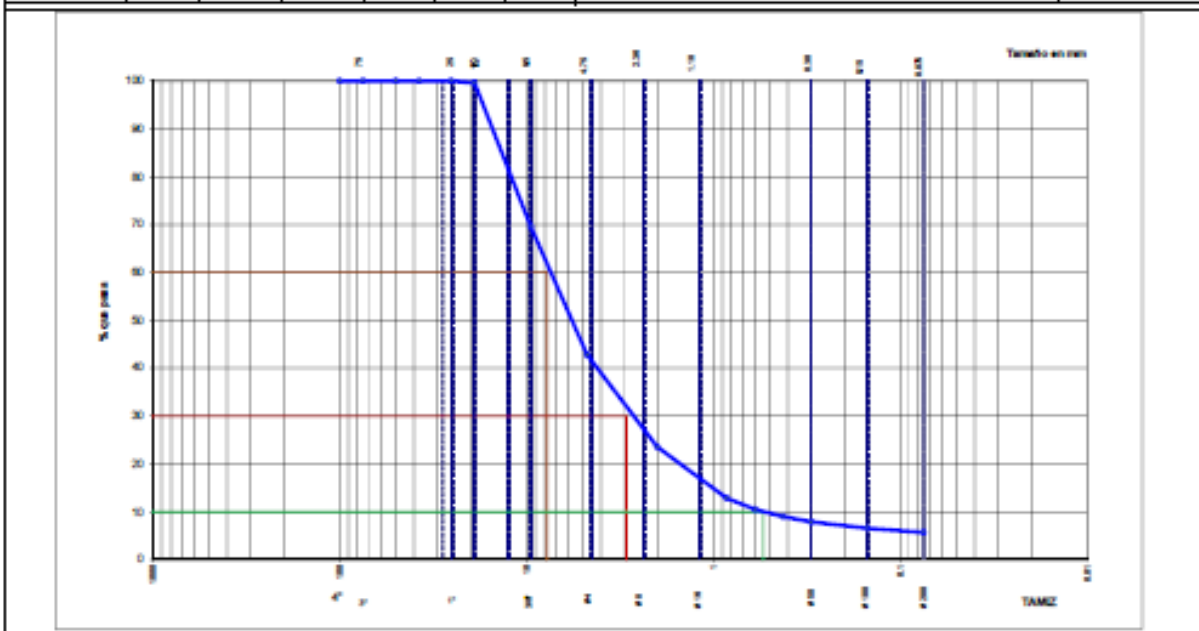
Técnico de Laboratorio	Responsable de Laboratorio	Ingeniero CQA.
Nombre:	Nombre:	Nombre:

Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 de Rechazado

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA
ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
ASTM D422, ASTM D1140

Proyecto : Mejoramiento Geotécnico de Vías	N° Proyecto : 1602
Cliente : Operaciones Mina	Contratista :
Ubicación : Chancadora Secundaria	Otra :
Tipo de Material : Material rechazado de chancadora (Rechazado)	N° Muestra : R-1
Fecha Muestreo :	Fecha Ensayo :
Muestreado por : Daniel Briceño C.	Profundidad :
Ensayado por : Percy Maravi B.	Procedencia : Chancadora Secundaria
Revisado por : Jaime Casafreca	Descripción : Horufels gris: fase 8
Observaciones :	Coordenadas : N E

Tamaño Tamiz	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum. (gr)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr): 7053.7								
					Mín. (%)	Máx. (%)	D ₁₀	D ₃₀	C _u = D ₆₀ /D ₁₀	C _c = (P ₂₅ -P ₇₅)/(P _{47.5} -P ₇₅)					
-															
4"	100	0.0	0.0	100.0			D ₁₀	7.810		C _u = D ₆₀ /D ₁₀	14.42				
3"	75	0.0	0.0	100.0			D ₃₀	2.917		C _c = (P ₂₅ -P ₇₅)/(P _{47.5} -P ₇₅)	19.40				
2"	50	0.0	0.0	100.0			D ₁₅	0.542		C _c = D ₆₀ ³/(D ₁₀ ⁴D ₃₀)	2.01				
1 1/2"	37.5	0.0	0.0	100.0			OBSERVACIONES:								
1"	25.4	0.0	0.0	100.0			Gravias - N° 4 > Ø < 4" (%) 57.2 LL: .								
3/8"	9.5	2120.0	2149.7	30.5	69.5		Arenas - N° 200 > Ø < N° 4 (%) 37.1 LP: .								
No 4	4.75	1883.7	4033.4	57.2	42.8		Finos - Ø < N° 200 (%) 5.7 IP: .								
No 10	2.00	1355.8	5389.2	76.4	23.6		Total (%) 100.0								
No 20	0.85	757.4	6146.6	87.1	12.9		CLASIFICACIÓN SUCS								
No 30	0.6	163.8	6310.4	89.5	10.5										
No 40	0.425	106.7	6417.1	91.0	9.0										
No 50	0.3	79.3	6496.4	92.1	7.9										
No 100	0.15	93.8	6590.2	93.4	6.6										
No 200	0.075	61.4	6651.6	94.3	5.7										
Plastilo	402.1	7053.7	100.0	0.0			CLASIFICACIÓN AASHTO								

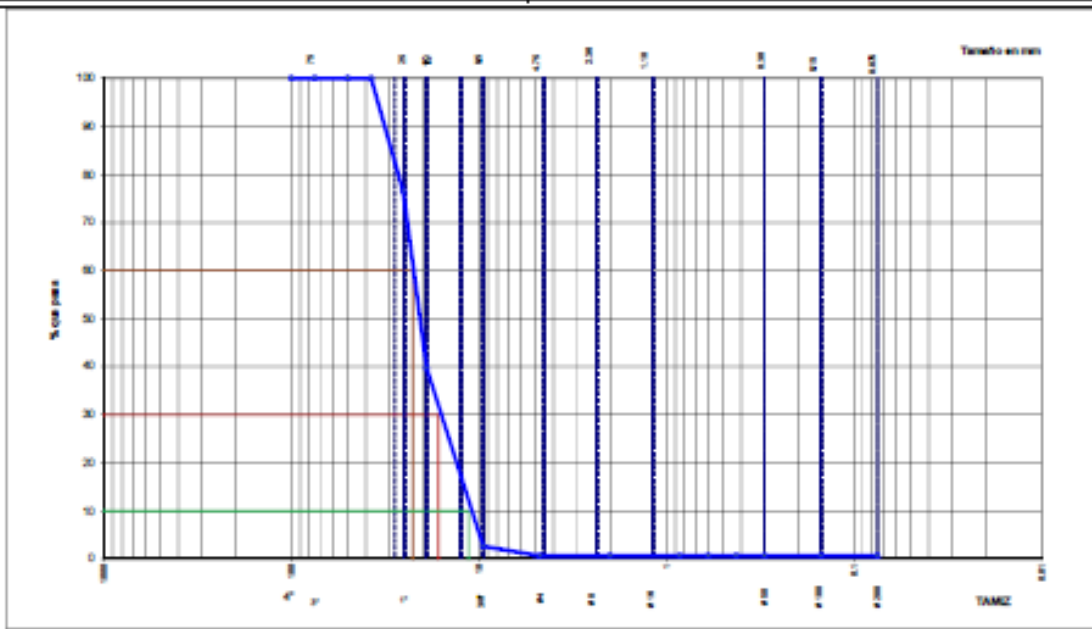


Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 de Voladura

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA
ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
ASTM D422, ASTM D1140

Proyecto : Mejoramiento Geotécnico de Vías	N° Proyecto : 1602
Cliente : Operaciones Mina	Contratista :
Ubicación : Chancadora Secundaria	Obra :
Tipo de Material : Material de voladura (Voladura)	N° Muestra : V-1
Fecha Muestreo :	Fecha Ensayo :
Muestreado por : Daniel Briceño C.	Profundidad :
Ensayado por : Percy Maravi B.	Procedencia : Chancadora Secundaria
Revisado por : Jaime Casafraña	Descripción : Horofels gris fase 8
Observaciones :	Coordenadas : N E

Tamiz	Tamaño mm	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum. (gr)	% Ret. (%)	% Que Pasa (%)	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr):	5866.1		
						Mín. (%)	Máx. (%)				
-								D ₁₀	22.530	C _u = D ₆₀ /D ₁₀	1.98
4"	100	0.0	0.0	0.0	100.0			D ₃₀	16.509	G _c = (P ₂₀₀ -P ₂₀)/(P ₄₇₅ /100)	0.46
3"	75	0.0	0.0	0.0	100.0			D ₁₀	11.374	C _c = D ₃₀ ³ /(D ₁₀ *D ₆₀)	1.06
2"	50	0.0	0.0	0.0	100.0			OBSERVACIONES:			
1 1/2"	37.5	0.0	0.0	0.0	100.0			Gravas - N° 4 > Ø < 4" (%) 99.3 LL:			
1"	25.4	1375.9	1375.9	23.5	76.5			Arenas - N° 200 > Ø < N° 4 (%) 0.0 LP:			
3/4"	19	2162.0	3537.9	60.3	39.7			Finos - Ø < N° 200 (%) 0.7 IP:			
3/8"	9.5	2172.0	5709.9	97.3	2.7			Total (%) 100.0			
No 4	4.75	116.8	5826.7	99.3	0.7			CLASIFICACIÓN SUCS			
No 10	2.00	0.0	5826.7	99.3	0.7						
No 20	0.85	0.0	5826.7	99.3	0.7			CLASIFICACIÓN AASHTO			
No 30	0.6	0.0	5826.7	99.3	0.7						
No 40	0.425	0.0	5826.7	99.3	0.7						
No 50	0.3	0.0	5826.7	99.3	0.7						
No 100	0.15	0.0	5826.7	99.3	0.7						
No 200	0.075	0.0	5826.7	99.3	0.7						
Platillo		39.4	5866.1	100.0	0.0						

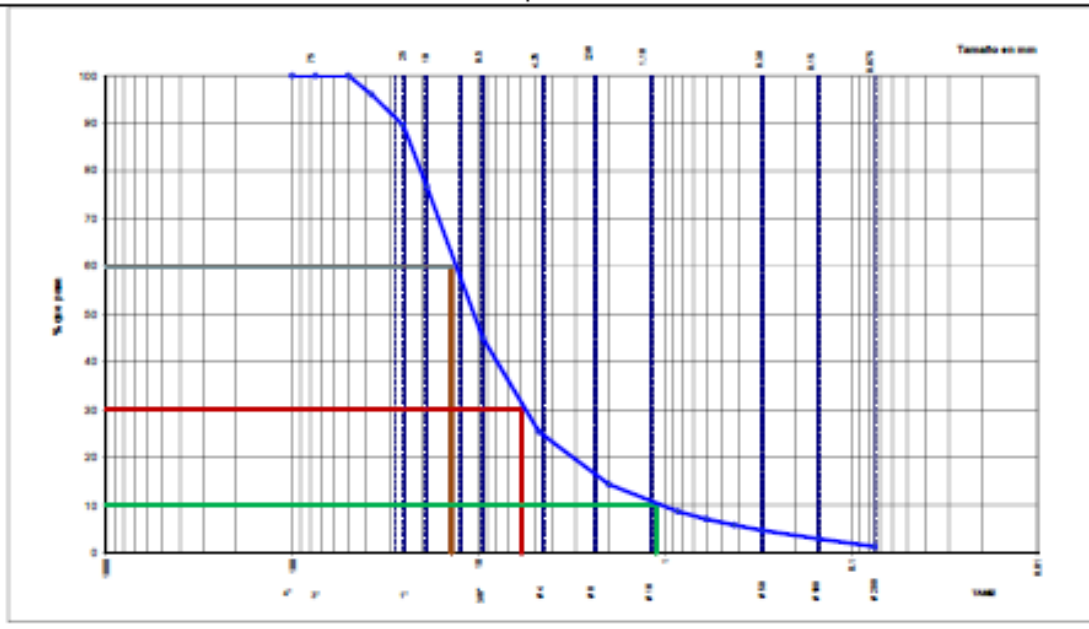


Análisis granulométrico de suelo por tamizado ASMT D422 y D1140 de Morrena

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA
ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
ASTM D422, ASTM D1140

Proyecto	: Mejoramiento Geotécnico de Vías	N° Proyecto	: 1682
Cliente	: Operaciones Mina	Contratista	:
Ubicación	: Chancadora Secundaria	Obra	:
Tipo de Material	: Material de Morrena	N° Muestra	: M - 1
Fecha Muestreo	:	Fecha Ensayo	:
Muestreado por	: Daniel Briceño C.	Profundidad	:
Ensayado por	: Percy Marval B.	Procedencia	: Chancadora Secundaria
Revisado por	: Jaime Casafra	Descripción	:
Observaciones	: Lavado / Peso = 3577.8gr. Muestra Lavada	Coordenadas	: N E

Tamaño Tamiz	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. Acum. (gr)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	Especificaciones		PESO DE SUELO SECO (gr): 3577.8									
					Mín. (%)	Máx. (%)										
-	mm															
4"	100	0.0	0.0	0.0	100.0		D_{60}	13.981	$C_u = D_{60}/D_{10}$	12.57						
3"	75	0.0	0.0	0.0	100.0		D_{30}	5.865	$G_c = (P_{265-P2})/P_{475}/100$	32.56						
2"	50	0.0	0.0	0.0	100.0		D_{10}	1.112	$C_c = D_{30}^2/(D_{10} * D_{60})$	2.21						
1 1/2"	37.5	142.3	142.3	4.0	96.0		OBSERVACIONES:									
1"	25.4	228.8	371.1	10.4	89.6											
3/4"	19	458.3	829.4	23.2	76.8		Gravas - N° 4 > Ø < 4" (%)	74.6	LL:	41.08						
3/8"	9.5	1137.3	1966.7	55.0	45.0		Armas - N° 200 > Ø < N° 4 (%)	24.0	LP:	27.4						
No 4	4.75	703.7	2670.4	74.6	25.4		Finos - Ø < N° 200 (%)	1.3	IP:	13.7						
No 10	2.00	392.6	3063.0	85.6	14.4		Total (%)	100.0								
No 20	0.85	205.1	3268.1	91.3	8.7		CLASIFICACIÓN SUCS									
No 30	0.6	55.9	3324.0	92.9	7.1		GW									
No 40	0.425	44.6	3368.6	94.2	5.8		GW - Grava bien graduada									
No 50	0.3	40.8	3409.4	95.3	4.7		CLASIFICACIÓN AASHTO									
No 100	0.15	63.0	3472.4	97.1	2.9							A-2-7				
No 200	0.075	57.5	3529.9	98.7	1.3											
Platillo	47.9	3577.8	100.0	0.0												



Anexo III: Certificación y validación del Laboratorio GRUPO AS



3IPE PERÚ SAC
Especialistas en Ingeniería
de Pavimentos Viales y
Aeroportuarios
Tel +51 968-857984
asotil@3ipe.com
www.3ipe.com

Carta N° PM01-2018

LIMA 02 DE OCTUBRE 2018

ASUNTO: CARTA DE VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE DEFLECTOMETRIA

Por medio de la presente carta la empresa 3IPE PERU SAC, identificada con el RUC: 20601673135, certifica la validez de los ensayos de deflectometría realizados en el proyecto designado por el señor PERCY EDGARDO MARAVI BALDEÓN, identificado con DNI N°46460332.

Los datos recopilados serán únicamente para uso de su tesis de pregrado, a fin de obtener el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Continental en Huancayo.

Atentamente,

Dr. Ing. Andrés Sotil
Gerente General
3IPE Perú SAC
www.3ipe.com

Anexo IV: Certificado de calibración equipo LWD



www.rincéntbtp.fr

MATERIELS – CONCEPTION ET GESTION

Calibration certificate test report Lightweight deflectometer MINIDYN

Serial Number MIN-120-C	Entreprise 3IPE Av Argentina 8724 La Florida CHILE
Fabrication date 07/03/2017	Contact Sébastien Pellevrault
Last calibration date N.C.	Replaced parts
Action taken <ul style="list-style-type: none"> • First Assembly • Unit test • Correlation on reference bench • Repetability measurement 	
Verification graph	
Linear regression PV = 1,05 REF - 0,14 Regression error 99,4% Limit : 95%	Number 45 Std dev 0,3 Repetability error 2,0% Limit: 3.75%
Test report conclusion Instrumentation is conform	
Date 13 / 03 / 2018 Valid up to 13 / 03 / 2019	Done by: Sébastien Pellevrault

Rincént Nd Technologies
4bis rue du Bois Briard
91080 Courcouronnes
Tél. 09 72 32 45 98
Fax 09 72 32 50 47
SARL au capital de 300 000 €
N° SIRET : 431 715 689 00045

Certificado de calibración Equipo LWD

Anexo V:

Registro de precipitaciones durante evaluación del proyecto

**Cuadro: Estación hidrológica del botadero este
Mina Rafael S.A.C.**

AÑO	BOTADERO ESTE 2013		BOTADERO ESTE 2014		BOTADERO ESTE 2015		BOTADERO ESTE 2016	
	PREC	ACUM	PREC	ACUM	PREC	ACUM	PREC	ACUM
01-ene	2.0	2.0	10.4	10.4	8.6	8.6	10.7	10.7
02-ene	5.8	7.8	24.4	34.8	5.8	14.5	0.0	10.7
03-ene	3.2	11.0	8.1	42.9	7.9	22.4	0.0	10.7
05-ene	1.3	12.9	10.7	57.8	4.3	36.6	0.5	14.5
07-ene	0.5	20.8	8.7	82.3	4.1	43.9	0.8	16.5
09-ene	2.3	28.8	2.3	91.6	4.8	49.3	0.0	16.5
11-ene	11.3	48.2	11.3	111.0	0.8	57.2	0.0	16.5
13-ene	0.2	74.1	0.2	136.9	5.6	63.0	0.5	17.0
14-ene	17.0	91.1	17.0	153.9	0.8	63.8	0.0	17.0
15-ene	1.9	93.0	6.2	160.1	0.5	64.3	2.5	19.5
16-ene	3.7	96.7	3.1	163.2	1.3	65.5	0.5	20.1
17-ene	13.9	110.6	6.0	169.2	3.6	69.1	1.3	21.3
18-ene	0.1	110.7	11.5	180.7	11.7	80.8	15.5	36.8
19-ene	0.8	111.5	2.2	182.9	27.2	108.0	3.6	40.4
20-ene	0.0	111.5	6.5	189.4	13.2	121.2	3.3	43.7
21-ene	0.3	111.8	1.2	190.6	14.0	135.1	2.5	46.2
22-ene	20.2	132.0	1.4	192.0	14.7	149.9	0.0	46.2
23-ene	10.2	142.2	9.7	201.7	8.6	158.5	0.0	46.2
24-ene	6.5	148.7	8.5	210.2	16.5	175.0	0.0	46.2
25-ene	0.4	149.1	4.4	214.6	5.3	180.3	0.8	47.0
26-ene	1.4	150.5	0.0	214.6	4.3	184.7	0.0	47.0
27-ene	0.0	150.5	4.6	219.2	13.5	198.1	2.0	49.0
28-ene	4.2	154.7	3.6	222.8	0.0	198.1	8.9	57.9
29-ene	17.7	172.4	0.0	222.8	14.0	212.1	5.1	63.0
30-ene	6.6	179.0	2.7	225.5	3.6	215.6	5.1	68.1
31-ene	8.6	187.6	3.2	228.7	21.3	237.0	2.0	70.1
01-feb	2.4	190.0	22.3	251.0	13.2	250.2	5.3	75.4
02-feb	0.1	190.1	5.9	256.9	6.9	257.0	0.8	76.2
03-feb	1.1	191.2	6.7	263.6	1.0	258.1	3.6	79.7
04-feb	16.6	207.8	9.3	272.9	3.6	261.6	20.3	100.0
05-feb	14.7	222.5	3.9	276.8	2.8	264.4	20.2	120.2
06-feb	4.1	226.6	9.1	285.9	16.5	280.9	9.9	130.1
07-feb	4.1	230.7	7.5	293.4	12.2	293.1	1.7	131.8

08-feb	5.0	235.7	2.6	296.0	4.8	297.9	1.5	133.3
09-feb	7.9	243.6	4.7	300.7	8.6	306.6	3.9	137.2
10-feb	21.6	265.2	8.3	309.0	4.8	311.4	2.1	139.3
11-feb	16.1	281.3	2.3	311.3	1.3	312.7	4.2	143.5
12-feb	7.8	289.1	26	337.3	1.5	314.2	4.9	148.4
13-feb	0.0	289.1	9.7	347.0	15.7	329.9	0.4	148.8
14-feb	6.5	295.6	0.1	347.1	7.4	337.3	3.8	152.6
15-feb	6.0	301.6	8.6	355.7	6.9	344.2	5.1	157.7
16-feb	1.5	303.1	6.9	362.6	1.3	345.4	1.8	159.5
17-feb	5.4	308.5	8.0	370.6	0.0	345.4	5.8	165.3
18-feb	6.8	315.3	7.4	378.0	0.0	345.4	2.5	167.8
19-feb	18.7	334.0	1.5	379.5	0.0	345.4	3.3	171.1
20-feb	4.0	338.0	0.6	380.1	0.0	345.4	0.1	171.2
21-feb	9.8	347.8	4.8	384.9	3.3	348.7	7.9	179.1
22-feb	5.2	353.0	5.5	390.4	8.1	356.9	10.4	189.5
23-feb	10.2	363.2	9.4	399.8	11.9	368.8	10.9	200.4
24-feb	0.8	364.0	32.2	432.0	5.8	374.7	2.6	203.0
25-feb	4.7	368.7	19.6	451.6	10.9	385.6	3.6	206.6
26-feb	11.6	380.3	5.0	456.6	9.9	395.5	5.2	211.8
27-feb	4.7	385.0	6.2	462.8	13.5	408.9	9.3	221.1
28-feb	4.6	389.6	11.2	474.0	3.3	412.2	29.7	250.8
01-mar	2.4	392.0	4.7	478.7	13.7	426.0	0.1	250.9
02-mar	8.1	400.1	0.4	479.1	2.5	428.5	12.0	262.9
03-mar	11.4	411.5	9.4	488.5	5.3	433.8	6.9	269.8
04-mar	15.5	427.0	6.5	495.0	1.8	435.6	3.3	273.1
05-mar	15.2	442.2	10.7	505.7	16.8	452.4	5.8	278.9
06-mar	9.9	452.1	3.0	508.7	8.6	461.0	13.3	292.2
07-mar	10.4	462.5	4.5	513.2	6.6	467.6	13.0	305.2
08-mar	19.9	482.4	21.7	534.9	2.5	470.2	8.9	314.1
09-mar	5.9	488.3	7.1	542.0	4.1	474.2	0.1	314.2
10-mar	13.2	501.5	0.6	542.6	3.3	477.5	0.0	314.2
11-mar	2.5	504.0	1.0	543.6	5.1	482.6	0.1	314.3
12-mar	3.9	507.9	14.1	557.7	4.8	487.4	14.9	329.2
13-mar	7.4	515.3	13.5	571.2	7.4	494.8	5.8	335.0
14-mar	12.9	528.2	7.8	579.0	2.0	496.8	4.0	339.0
15-mar	18.7	546.9	7.2	586.2	2.3	499.1	5.5	344.5
16-mar	6.8	553.7	5.6	591.8	14.5	513.6	3.0	347.5
17-mar	10.7	564.4	1.0	592.8	5.3	518.9	0.1	347.6
18-mar	16.8	581.2	9.4	602.2	10.7	529.6	0.0	347.6
19-mar	6.6	587.8	4.2	606.4	2.3	531.9	4.2	351.8
20-mar	2.5	590.3	2.4	608.8	3.3	535.2	2.9	354.7
21-mar	0.5	590.8	1.8	610.6	13.0	548.2	5.5	360.2
22-mar	4.7	595.5	12.8	623.4	6.6	554.8	3.4	363.6
23-mar	13.0	608.5	2.9	626.3	3.0	557.8	3.1	366.7

24-mar	10.5	619.0	1.8	628.1	4.1	561.9	1.3	368.0
25-mar	0.1	619.1	6.0	634.1	9.9	571.8	0.1	368.1
26-mar	0.5	619.6	3.2	637.3	1.8	573.6	0.7	368.8
27-mar	15.5	635.1	21.0	658.3	3.3	576.9	0.0	368.8
28-mar	9.3	644.4	0.1	658.4	3.8	580.7	0.0	368.8
29-mar	0.9	645.3	0.0	658.4	8.9	589.6	5.9	374.7
30-mar	9.7	655.0	1.0	659.4	5.3	594.9	3.9	378.6
31-mar	1.2	656.2	0.0	659.4	0.0	594.9	5.3	383.9
01-abr	0.0	656.2	1.0	660.4	9.7	604.6	6.2	390.1
02-abr	0.0	656.2	5.4	665.8	5.1	609.7	6.0	396.1
03-abr	0.0	656.2	6.3	672.1	4.8	614.5	5.6	401.7
04-abr	0.0	656.2	4.1	676.2	9.7	624.1	0.1	401.8
05-abr	2.9	659.1	4.4	680.6	5.3	629.5	3.1	404.9
06-abr	1.7	660.8	1.2	681.8	6.1	635.6	0.0	404.9
07-abr	7.4	668.2	6.0	687.8	3.8	639.4	3.3	408.2
08-abr	15.1	683.3	3.4	691.2	0.3	639.7	1.7	409.9
09-abr	8.4	691.7	1.8	693.0	0.8	640.4	17.3	427.2
10-abr	0.0	691.7	4.0	697.0	17.5	658.0	11.8	439.0
11-abr	2.1	693.8	0.1	697.1	4.8	662.8	3.2	442.2
12-abr	0.2	694.0	2.7	699.8	2.5	665.3	3.9	446.1
13-abr	5.0	699.0	1.0	700.8	0.3	665.6	0.0	446.1
14-abr	5.4	704.4	1.0	701.8	23.6	689.2	0.0	446.1
15-abr	0.6	705.0	3.4	705.2	4.1	693.3	2.6	448.7
16-abr	5.5	710.5	0.1	705.3	11.4	704.7	16.8	465.5
17-abr	0.9	711.4	2.7	708.0	3.6	708.3	5.1	470.6
18-abr	5.9	717.3	5.5	713.5	0.3	708.5	4.7	475.3
19-abr	2.0	719.3	0.1	713.6	8.9	717.4	3.3	478.6
20-abr	14.7	734.0	0.0	713.6	2.3	719.7	1.0	479.6
21-abr	0.0	734.0	0.8	714.4	9.7	729.3	1.3	480.9
22-abr	0.0	734.0	2.9	717.3	1.8	731.1	1.9	482.8
23-abr	0.4	734.4	5.1	722.4	1.5	732.6	1.8	484.6
24-abr	0.0	734.4	4.6	727.0	4.6	737.2	1.1	485.7
25-abr	0.0	734.4	2.6	729.6	1.0	738.2	0.0	485.7
26-abr	0.0	734.4	9.0	738.6	0.5	738.7	0.0	485.7
27-abr	0.0	734.4	4.0	742.6	0.3	739.0	1.3	487.0
28-abr	0.0	734.4	1.9	744.5	7.1	746.1	0.0	487.0
29-abr	0.0	734.4	2.2	746.7	0.8	746.9	0.0	487.0
30-abr	0.0	734.4	1.7	748.4	0.8	747.6	0.0	487.0
01-may	0.1	734.5	1.5	749.9	0.0	747.6	0.0	487.0
02-may	2.0	736.5	0.1	750.0	15.5	763.1	0.0	487.0
03-may	9.5	746.0	0.9	750.9	13.7	776.8	0.0	487.0
04-may	0.0	746.0	10.6	761.5	3.3	780.1	0.0	487.0
05-may	5.5	751.5	0.4	761.9	1.3	781.4	0.0	487.0
06-may	4.8	756.3	4.0	765.9	4.8	786.2	0.3	487.3

07-may	3.9	760.2	5.4	771.3	0.5	786.7	0.0	487.3
08-may	4.5	764.7	1.6	772.9	0.3	787.0	0.0	487.3
09-may	0.0	764.7	0.0	772.9	0.3	787.2	0.5	487.8
10-may	0.0	764.7	6.3	779.2	0.0	787.2	0.0	487.8
11-may	0.0	764.7	1.1	780.3	0.3	787.5	0.0	487.8
12-may	2.3	767.0	0.0	780.3	0.5	788.0	0.0	487.8
13-may	0.1	767.1	0.0	780.3	9.1	797.2	0.2	488.0
14-may	2.5	769.6	2.4	782.7	21.6	818.7	0.0	488.0
15-may	0.9	770.5	1.8	784.5	4.8	823.6	0.0	488.0
16-may	1.0	771.5	11.9	796.4	18.0	841.6	0.0	488.0
17-may	1.3	772.8	4.7	801.1	23.9	865.5	7.7	495.7
18-may	3.2	776.0	2.8	803.9	11.7	877.2	3.1	498.8
19-may	0.9	776.9	0.2	804.1	2.3	879.5	0.2	499.0
20-may	2.7	779.6	11.4	815.5	0.3	879.7	0.6	499.6
21-may	2.5	782.1	1.3	816.8	0.0	879.7	0.5	500.1
22-may	0.7	782.8	0.8	817.6	0.0	879.7	4.1	504.2
23-may	0.0	782.8	0.0	817.6	1.8	881.5	6.8	511.0
24-may	0.0	782.8	0.0	817.6	0.3	881.7	0.4	511.4
25-may	2.1	784.9	5.3	822.9	0.0	881.7	0.0	511.4
26-may	0.1	785.0	0.0	822.9	4.1	885.8	0.0	511.4
27-may	5.2	790.2	0.0	822.9	0.0	885.8	0.0	511.4
28-may	0.0	790.2	0.0	822.9	0.0	885.8	0.0	511.4
29-may	0.0	790.2	0.0	822.9	1.5	887.3	0.0	511.4
30-may	2.7	792.9	0.0	822.9	5.1	892.4	0.0	511.4
31-may	0.4	793.3	0.0	822.9	3.0	895.4	0.0	511.4
01-jun	1.7	795.0	0.0	822.9	2.5	897.9	0.0	511.4
02-jun	0.4	795.4	0.0	822.9	3.0	901.0	0.3	511.7
03-jun	0.0	795.4	0.0	822.9	7.9	908.8	1.6	513.3
04-jun	0.0	795.4	0.0	822.9	0.8	909.6	4.1	517.4
05-jun	0.0	795.4	0.0	822.9	0.0	909.6	0.4	517.8
06-jun	0.7	796.1	0.0	822.9	0.0	909.6	0.0	517.8
07-jun	5.2	801.3	0.0	822.9	0.0	909.6	0.0	517.8
08-jun	0.7	802.0	0.0	822.9	0.0	909.6	0.0	517.8
09-jun	2.5	804.5	0.0	822.9	0.0	909.6	0.9	518.7
10-jun	1.6	806.1	0.6	823.5	0.0	909.6	0.0	518.7
11-jun	0.4	806.5	0.1	823.6	4.6	914.2	0.6	519.3
12-jun	0.9	807.4	0.0	823.6	0.0	914.2	0.0	519.3
13-jun	0.1	807.5	0.3	823.9	0.0	914.2	0.0	519.3
14-jun	4.8	812.3	0.0	823.9	0.0	914.2	0.0	519.3
15-jun	1.3	813.6	1.3	825.2	0.0	914.2	0.0	519.3
16-jun	3.1	816.7	2.7	827.9	1.8	916.0	0.0	519.3
17-jun	0.0	816.7	0.2	828.1	4.6	920.6	0.0	519.3
18-jun	1.7	818.4	0.0	828.1	0.5	921.1	0.0	519.3
19-jun	0.2	818.6	0.0	828.1	1.0	922.1	0.0	519.3

20-jun	2.5	821.1	0.0	828.1	0.0	922.1	0.0	519.3
21-jun	1.1	822.2	0.0	828.1	0.0	922.1	0.0	519.3
22-jun	0.0	822.2	0.0	828.1	0.0	922.1	0.0	519.3
23-jun	0.0	822.2	0.0	828.1	0.0	922.1	0.0	519.3
24-jun	0.0	822.2	0.0	828.1	0.0	922.1	0.0	519.3
25-jun	0.0	822.2	0.2	828.3	0.0	922.1	0.0	519.3
26-jun	0.0	822.2	1.9	830.2	0.0	922.1	2.1	521.4
27-jun	2.2	824.4	7.2	837.4	0.5	922.6	11.3	532.7
28-jun	0.0	824.4	0.6	838.0	0.0	922.6	4.1	536.8
29-jun	0.0	824.4	0.0	838.0	0.0	922.6	0.0	536.8
30-jun	0.0	824.4	0.0	838.0	0.0	922.6	0.0	536.8
01-jul	0.1	824.5	0.7	838.7	0.0	922.6	0.0	536.8
02-jul	0.3	824.8	1.5	840.2	0.0	922.6	0.0	536.8
03-jul	0.0	824.8	3.3	843.5	0.0	922.6	0.0	536.8
04-jul	7.0	831.8	0.0	843.5	2.0	924.6	0.0	536.8
05-jul	1.5	833.3	1.3	844.8	0.0	924.6	0.0	536.8
06-jul	1.0	834.3	1.5	846.3	0.0	924.6	2.7	539.5
07-jul	0.0	834.3	0.0	846.3	0.0	924.6	1.3	540.8
08-jul	2.1	836.4	0.9	847.2	0.0	924.6	0.0	540.8
09-jul	0.0	836.4	0.3	847.5	0.0	924.6	1.0	541.8
10-jul	0.0	836.4	0.0	847.5	0.0	924.6	0.0	541.8
11-jul	0.0	836.4	0.0	847.5	0.0	924.6	0.0	541.8
12-jul	0.0	836.4	0.0	847.5	0.0	924.6	0.0	541.8
13-jul	0.0	836.4	0.0	847.5	0.0	924.6	0.0	541.8
14-jul	0.0	836.4	0.0	847.5	0.0	924.6	0.0	541.8
15-jul	11.9	848.3	0.1	847.6	1.0	925.7	0.0	541.8
16-jul	4.1	852.4	0.0	847.6	2.5	928.2	0.0	541.8
17-jul	0.0	852.4	0.0	847.6	0.0	928.2	0.0	541.8
18-jul	1.3	853.7	0.0	847.6	0.0	928.2	0.0	541.8
19-jul	0.0	853.7	3.5	851.1	0.3	928.5	0.0	541.8
20-jul	0.1	853.8	4.0	855.1	0.0	928.5	0.0	541.8
21-jul	0.2	854.0	0.1	855.2	0.0	928.5	0.0	541.8
22-jul	0.0	854.0	0.0	855.2	0.0	928.5	0.0	541.8
23-jul	0.0	854.0	0.0	855.2	0.0	928.5	0.0	541.8
24-jul	2.2	856.2	0.0	855.2	0.0	928.5	0.0	541.8
25-jul	6.1	862.3	0.3	855.5	0.0	928.5	0.0	541.8
26-jul	0.0	862.3	2.9	858.4	0.0	928.5	0.0	541.8
27-jul	1.3	863.6	7.0	865.4	0.0	928.5	0.0	541.8
28-jul	0.8	864.4	5.4	870.8	0.0	928.5	0.0	541.8
29-jul	0.0	864.4	0.1	870.9	0.0	928.5	0.0	541.8
30-jul	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.0	541.8
31-jul	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.0	541.8
01-ago	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.0	541.8
02-ago	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.3	542.1

03-ago	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.0	542.1
04-ago	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.1	542.2
05-ago	0.0	864.4	0.0	870.9	0.0	928.5	0.0	542.2
06-ago	0.1	864.5	0.2	871.1	0.0	928.5	0.0	542.2
07-ago	0.6	865.1	20.2	891.3	0.0	928.5	0.0	542.2
08-ago	0.0	865.1	1.1	892.4	0.0	928.5	0.0	542.2
09-ago	2.4	867.5	2.6	895.0	0.0	928.5	0.0	542.2
10-ago	2.0	869.5	0.0	895.0	0.0	928.5	0.1	542.3
11-ago	1.1	870.6	0.0	895.0	0.0	928.5	2.9	545.2
12-ago	0.1	870.7	0.0	895.0	13.0	941.4	3.8	549.0
13-ago	0.0	870.7	0.4	895.4	2.5	943.9	10.2	559.2
14-ago	0.0	870.7	0.1	895.5	0.8	944.7	0.8	560.0
15-ago	2.7	873.4	0.0	895.5	0.0	944.7	0.3	560.3
16-ago	3.2	876.6	0.0	895.5	0.3	945.0	0.0	560.3
17-ago	0.0	876.6	0.0	895.5	0.0	945.0	0.0	560.3
18-ago	0.0	876.6	0.0	895.5	0.0	945.0	0.0	560.3
19-ago	0.0	876.6	0.0	895.5	0.0	945.0	0.0	560.3
20-ago	0.0	876.6	0.0	895.5	0.0	945.0	0.0	560.3
21-ago	0.0	876.6	0.0	895.5	0.0	945.0	0.0	560.3
22-ago	0.3	876.9	0.0	895.5	0.0	945.0	0.0	560.3
23-ago	0.3	877.2	0.0	895.5	4.8	949.8	0.0	560.3
24-ago	0.0	877.2	0.0	895.5	0.0	949.8	0.0	560.3
25-ago	6.5	883.7	0.0	895.5	0.0	949.8	0.0	560.3
26-ago	18.8	902.5	0.0	895.5	0.3	950.0	0.0	560.3
27-ago	7.9	910.4	0.2	895.7	0.0	950.0	0.0	560.3
28-ago	17.8	928.2	0.1	895.8	0.6	950.6	3.6	563.9
29-ago	5.2	933.4	6.4	902.2	0.0	950.6	0.6	564.5
30-ago	0.1	933.5	0.9	903.1	0.0	950.6	1.7	566.2
31-ago	0.0	933.5	0.0	903.1	0.0	950.6	3.1	569.3
01-sep	0.1	933.6	0.0	903.1	0.0	950.6	2.9	572.2
02-sep	5.5	939.1	0.0	903.1	0.5	951.1	2.4	574.6
03-sep	0.0	939.1	0.0	903.1	0.3	951.4	0.3	574.9
04-sep	0.0	939.1	1.3	904.4	0.0	951.4	3.8	578.7
05-sep	0.0	939.1	7.1	911.5	0.0	951.4	2.1	580.8
06-sep	0.0	939.1	0.0	911.5	0.0	951.4	8.0	588.8
07-sep	0.0	939.1	0.0	911.5	1.5	952.9	0.0	588.8
08-sep	0.0	939.1	0.0	911.5	7.1	960.0	0.0	588.8
09-sep	0.0	939.1	0.0	911.5	13.5	973.5	0.0	588.8
10-sep	0.8	939.9	0.0	911.5	0.3	973.8	0.0	588.8
11-sep	0.0	939.9	0.0	911.5	0.0	973.8	0.0	588.8
12-sep	0.0	939.9	0.2	911.7	0.0	973.8	0.0	588.8
13-sep	0.2	940.1	1.4	913.1	0.0	973.8	0.0	588.8
14-sep	4.2	944.3	1.6	914.7	0.0	973.8	0.0	588.8
15-sep	0.6	944.9	3.4	918.1	0.0	973.8	3.4	592.2

16-sep	3.1	948.0	7.1	925.2	0.0	973.8	7.0	599.2
17-sep	0.1	948.1	10.2	935.4	0.0	973.8	0.0	599.2
18-sep	1.5	949.6	4.3	939.7	6.6	980.4	0.0	599.2
19-sep	7.4	957.0	0.7	940.4	20.6	1000.9	0.7	599.9
20-sep	0.0	957.0	0.7	941.1	8.9	1009.8	3.4	603.3
21-sep	0.4	957.4	3.0	944.1	8.4	1018.2	0.0	603.3
22-sep	0.0	957.4	4.1	948.2	0.0	1018.2	0.0	603.3
23-sep	0.0	957.4	0.3	948.5	0.0	1018.2	0.0	603.3
24-sep	0.2	957.6	0.0	948.5	1.0	1019.2	0.0	603.3
25-sep	0.0	957.6	0.5	949.0	0.0	1019.2	10.3	613.6
26-sep	4.1	961.7	5.2	954.2	0.0	1019.2	5.6	619.2
27-sep	0.0	961.7	0.0	954.2	2.3	1021.5	7.5	626.7
28-sep	0.0	961.7	2.1	956.3	14.7	1036.2	2.3	629.0
29-sep	0.0	961.7	0.1	956.4	14.7	1051.0	0.6	629.6
30-sep	0.0	961.7	0.0	956.4	0.3	1051.2	0.0	629.6
01-oct	1.4	963.1	0.0	956.4	0.0	1051.2	4.4	634.0
02-oct	2.7	965.8	0.0	956.4	0.8	1052.0	14.3	648.3
03-oct	1.5	967.3	6.3	962.7	0.5	1052.5	0.0	648.3
04-oct	0.8	968.1	12.3	975.0	4.8	1057.3	0.8	649.1
05-oct	1.7	969.8	0.3	975.3	6.6	1063.9	7.1	656.2
06-oct	11.9	981.7	4.0	979.3	8.1	1072.1	14.1	670.3
07-oct	3.0	984.7	3.7	983.0	16.0	1088.1	2.8	673.1
08-oct	0.5	985.2	6.4	989.4	0.3	1088.3	0.0	673.1
09-oct	0.0	985.2	16.7	1006.1	0.8	1089.1	4.5	677.6
10-oct	0.0	985.2	0.7	1006.8	0.0	1089.1	11.1	688.7
11-oct	1.5	986.7	4.8	1011.6	0.0	1089.1	0.0	688.7
12-oct	9.6	996.3	2.3	1013.9	0.0	1089.1	2.2	690.9
13-oct	1.2	997.5	1.2	1015.1	0.0	1089.1	3.3	694.2
14-oct	14.2	1011.7	0.0	1015.1	0.0	1089.1	2.3	696.5
15-oct	11.5	1023.2	0.0	1015.1	0.0	1089.1	0.7	697.2
16-oct	24.2	1047.4	1.1	1016.2	0.0	1089.1	2.6	699.8
17-oct	7.8	1055.2	0.0	1016.2	4.3	1093.4	2.2	702.0
18-oct	0.5	1055.7	1.0	1017.2	1.3	1094.7	8.6	710.6
19-oct	1.5	1057.2	7.6	1024.8	0.0	1094.7	12.3	722.9
20-oct	0.0	1057.2	29.5	1054.3	5.6	1100.2	5.4	728.3
21-oct	0.0	1057.2	9.4	1063.7	0.0	1100.2	3.0	731.3
22-oct	0.4	1057.6	4.4	1068.1	2.3	1102.5	0.4	731.7
23-oct	10.7	1068.3	4.0	1072.1	0.0	1102.5	0.7	732.4
24-oct	17.7	1086.0	1.3	1073.4	0.3	1102.8	6.0	738.4
25-oct	7.6	1093.6	8.6	1082.0	9.4	1112.2	3.4	741.8
26-oct	3.1	1096.7	2.6	1084.6	11.2	1123.4	0.0	741.8
27-oct	3.7	1100.4	8.4	1093.0	3.3	1126.7	7.0	748.8
28-oct	8.6	1109.0	0.1	1093.1	17.5	1144.2	20.7	769.5
29-oct	6.9	1115.9	4.1	1097.2	2.8	1147.0	3.1	772.6

30-oct	1.0	1116.9	4.2	1101.4	9.4	1156.4	13.0	785.6
31-oct	0.0	1116.9	0.2	1101.6	0.0	1156.4	7.8	793.4
01-nov	1.2	1118.1	2.0	1103.6	0.0	1156.4	0.0	793.4
02-nov	1.7	1119.8	10.3	1113.9	0.0	1156.4	0.0	793.4
03-nov	11.1	1130.9	2.7	1116.6	0.0	1156.4	2.2	795.6
04-nov	12.6	1143.5	2.7	1119.3	0.0	1156.4	4.9	800.5
05-nov	4.2	1147.7	0.0	1119.3	1.8	1158.2	1.3	801.8
06-nov	4.8	1152.5	5.0	1124.3	14.2	1172.4	0.2	802.0
07-nov	0.3	1152.8	6.4	1130.7	4.6	1177.0	0.1	802.1
08-nov	0.0	1152.8	0.3	1131.0	19.1	1196.0	7.9	810.0
09-nov	6.5	1159.3	1.0	1132.0	11.9	1207.9	0.0	810.0
10-nov	4.5	1163.8	3.3	1135.3	4.1	1212.0	0.7	810.7
11-nov	9.0	1172.8	3.3	1138.6	18.0	1230.0	0.0	810.7
12-nov	8.9	1181.7	3.5	1142.1	9.9	1239.9	0.0	810.7
13-nov	3.9	1185.6	0.0	1142.1	1.5	1241.5	0.0	810.7
14-nov	2.0	1187.6	0.8	1142.9	2.5	1244.0	0.0	810.7
15-nov	0.3	1187.9	12.3	1155.2	2.8	1246.8	0.0	810.7
16-nov	0.1	1188.0	7.5	1162.7	7.6	1254.4	0.0	810.7
17-nov	0.8	1188.8	11.3	1174.0	14.7	1269.2	0.0	810.7
18-nov	1.2	1190.0	5.2	1179.2	0.0	1269.2	0.0	810.7
19-nov	1.3	1191.3	0.1	1179.3	0.0	1269.2	0.0	810.7
20-nov	1.3	1192.6	0.0	1179.3	0.8	1269.9	0.0	810.7
21-nov	3.8	1196.4	0.0	1179.3	2.0	1271.9	0.0	810.7
22-nov	13.0	1209.4	0.0	1179.3	20.6	1292.5	0.0	810.7
23-nov	15.7	1225.1	0.1	1179.4	1.0	1293.5	0.0	810.7
24-nov	7.3	1232.4	0.4	1179.8	0.0	1293.5	5.2	815.9
25-nov	2.5	1234.9	0.0	1179.8	1.5	1295.1	9.5	825.4
26-nov	0.4	1235.3	0.2	1180.0	0.0	1295.1	6.1	831.5
27-nov	0.0	1235.3	5.0	1185.0	1.5	1296.6	4.1	835.6
28-nov	4.5	1239.8	2.3	1187.3	1.0	1297.6	6.7	842.3
29-nov	3.7	1243.5	0.3	1187.6	0.3	1297.9	4.4	846.7
30-nov	8.8	1252.3	2.8	1190.4	10.9	1308.8	8.8	855.5
01-dic	3.1	1255.4	1.4	1191.8	16.3	1325.0	0.6	856.1
02-dic	11.2	1266.6	1.3	1193.1	1.5	1326.6	0.6	856.7
03-dic	10.3	1276.9	8.4	1201.5	1.8	1328.3	5.0	861.7
04-dic	8.0	1284.9	9.6	1211.1	3.6	1331.9	16.1	877.8
05-dic	19.2	1304.1	5.5	1216.6	3.1	1334.9	15.5	893.3
06-dic	6.3	1310.4	6.7	1223.3	4.3	1339.3	2.5	895.8
07-dic	3.7	1314.1	4.6	1227.9	2.8	1342.1	1.0	896.8
08-dic	12.6	1326.7	6.7	1234.6	3.8	1345.9	0.8	897.6
09-dic	4.2	1330.9	16.4	1251.0	4.8	1350.7	5.3	902.9
10-dic	1.3	1332.2	10.0	1261.0	6.1	1356.8	3.3	906.2
11-dic	1.2	1333.4	0.2	1261.2	0.0	1356.8	2.2	908.4
12-dic	4.4	1337.8	0.0	1261.2	1.5	1358.3	4.1	912.5

13-dic	10.0	1347.8	14.2	1275.4	1.0	1359.3	0.1	912.6
14-dic	6.4	1354.2	5.6	1281.0	2.3	1361.6	6.2	918.8
15-dic	17.9	1372.1	12.9	1293.9	4.8	1366.4	10.3	929.1
16-dic	19.6	1391.7	7.5	1301.4	1.0	1367.5	0.0	929.1
17-dic	7.7	1399.4	2.2	1303.6	5.3	1372.8	0.0	929.1
18-dic	1.5	1400.9	3.9	1307.5	3.3	1376.1	0.4	929.5
19-dic	8.0	1408.9	0.0	1307.5	3.1	1379.1	1.4	930.9
20-dic	1.0	1409.9	0.0	1307.5	5.2	1384.3	4.5	935.4
21-dic	2.7	1412.6	0.0	1307.5	2.9	1387.2	7.6	943.0
22-dic	1.5	1414.1	7.2	1314.7	4.1	1391.3	1.8	944.8
23-dic	0.8	1414.9	3.0	1317.7	10.4	1401.7	0.0	944.8
24-dic	0.1	1415.0	1.3	1319.0	15.0	1416.7	0.9	945.7
25-dic	4.4	1419.4	5.5	1324.5	2.3	1419.0	0.4	946.1
26-dic	0.0	1419.4	18.4	1342.9	8.9	1427.9	0.0	946.1
27-dic	0.1	1419.5	10.4	1353.3	5.3	1433.2	10.9	957.0
28-dic	0.5	1420.0	3.0	1356.3	11.9	1445.1	5.7	962.7
29-dic	0.7	1420.7	10.9	1367.2	4.8	1450.0	3.6	966.3
30-dic	0.0	1420.7	11.4	1378.6	4.6	1454.5	7.9	974.2
31-dic	5.3	1426.0	13.5	1392.1	1.8	1456.3	20.6	994.8

Cuadro: RESUMEN anual de acumulación de precipitaciones

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2013	187.6	202.0	266.6	78.2	58.9	31.1	40.0	69.1	28.2	155.2	135.4	173.7
2014	228.7	245.3	185.4	89.0	74.5	15.1	32.9	32.2	53.3	145.2	88.8	201.7
2015	237.0	175.3	182.7	152.7	147.8	27.2	5.8	22.2	100.6	105.2	152.4	147.6
2016	70.1	180.8	133.1	103.1	24.4	25.4	5.0	27.5	60.3	163.8	62.1	139.3

Anexo VI:
Registro de evaluación de Vía Superficial

Cuadro: URCI
Mina Rafael S.A.C.

TRAMO SIN TRATAMIENTO: (Kp 2+000 a Kp 3+035)

AREA (m ²)	UNIDAD DE MUESTRA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	m	VRC	PCI	CLASIFICACION
200.0	1	02+000	02+005	2.0	54	61	Bueno
200.0	2	02+005	02+010	3.0	86	45	Regular
200.0	3	02+010	02+015	2.0	53	61	Bueno
200.0	4	02+015	02+020	2.0	54	61	Bueno
200.0	5	02+020	02+025	3.0	93	41	Regular
200.0	6	02+025	02+030	2.0	53	61	Bueno
200.0	7	02+030	02+035	3.0	95	40	Regular
200.0	8	02+035	02+040	3.0	87	45	Regular
200.0	9	02+040	02+045	3.0	80	49	Regular
200.0	10	02+045	02+050	3.0	95	40	Regular
200.0	11	02+050	02+055	3.0	96	39	Pobre
200.0	12	02+055	02+060	2.0	52	62	Bueno
200.0	13	02+060	02+065	3.0	79	49	Regular
200.0	14	02+065	02+070	2.0	52	62	Bueno
200.0	15	02+070	02+075	3.0	97	39	Pobre
200.0	16	02+075	02+080	3.0	97	39	Pobre
200.0	17	02+080	02+085	2.0	52	62	Bueno
200.0	18	02+085	02+090	3.0	95	40	Regular
200.0	19	02+090	02+095	2.0	53	61	Bueno
200.0	20	02+095	02+100	3.0	90	43	Regular
200.0	21	02+100	02+105	2.0	54	61	Bueno
200.0	22	02+105	02+110	3.0	80	49	Regular
200.0	23	02+110	02+115	3.0	86	45	Regular
200.0	24	02+115	02+120	2.0	53	61	Bueno
200.0	25	02+120	02+125	2.0	53	61	Bueno
200.0	26	02+125	02+130	3.0	95	40	Regular
200.0	27	02+130	02+135	2.0	52	62	Bueno
200.0	28	02+135	02+140	2.0	53	61	Bueno
200.0	29	02+140	02+145	3.0	97	39	Pobre
200.0	30	02+145	02+150	2.0	53	61	Bueno
200.0	31	02+150	02+155	2.0	52	62	Bueno
200.0	32	02+155	02+160	3.0	90	43	Regular
200.0	33	02+160	02+165	3.0	85	46	Regular
200.0	34	02+165	02+170	3.0	81	48	Regular
200.0	35	02+170	02+175	2.0	52	62	Bueno

200.0	36	02+175	02+180	3.0	87	45	Regular
200.0	37	02+180	02+185	3.0	82	48	Regular
200.0	38	02+185	02+190	2.0	52	62	Bueno
200.0	39	02+190	02+195	2.0	54	61	Bueno
200.0	40	02+195	02+200	3.0	88	44	Regular
200.0	41	02+200	02+205	3.0	95	40	Regular
200.0	42	02+205	02+210	2.0	53	61	Bueno
200.0	43	02+210	02+215	3.0	91	42	Regular
200.0	44	02+215	02+220	3.0	97	39	Pobre
200.0	45	02+220	02+225	3.0	96	39	Pobre
200.0	46	02+225	02+230	3.0	79	49	Regular
200.0	47	02+230	02+235	3.0	82	48	Regular
200.0	48	02+235	02+240	2.0	53	61	Bueno
200.0	49	02+240	02+245	3.0	96	39	Pobre
200.0	50	02+245	02+250	2.0	53	61	Bueno
200.0	51	02+250	02+255	3.0	88	44	Regular
200.0	52	02+255	02+260	3.0	79	49	Regular
200.0	53	02+260	02+265	3.0	97	39	Pobre
200.0	54	02+265	02+270	2.0	54	61	Bueno
200.0	55	02+270	02+275	3.0	80	49	Regular
200.0	56	02+275	02+280	3.0	90	43	Regular
200.0	57	02+280	02+285	3.0	94	41	Regular
200.0	58	02+285	02+290	2.0	53	61	Bueno
200.0	59	02+290	02+295	3.0	90	43	Regular
200.0	60	02+295	02+300	2.0	54	61	Bueno
200.0	61	02+300	02+305	3.0	95	40	Regular
200.0	62	02+305	02+310	3.0	81	48	Regular
200.0	63	02+310	02+315	3.0	91	42	Regular
200.0	64	02+315	02+320	3.0	85	46	Regular
200.0	65	02+320	02+325	3.0	79	49	Regular
200.0	66	02+325	02+330	3.0	88	44	Regular
200.0	67	02+330	02+335	3.0	97	39	Pobre
200.0	68	02+335	02+340	2.0	54	61	Bueno
200.0	69	02+340	02+345	3.0	88	44	Regular
200.0	70	02+345	02+350	3.0	96	39	Pobre
200.0	71	02+350	02+355	3.0	97	39	Pobre
200.0	72	02+355	02+360	3.0	89	43	Regular
200.0	73	02+360	02+365	2.0	53	61	Bueno
200.0	74	02+365	02+370	3.0	85	46	Regular
200.0	75	02+370	02+375	3.0	96	39	Pobre
200.0	76	02+375	02+380	3.0	87	45	Regular
200.0	77	02+380	02+385	3.0	96	39	Pobre
200.0	78	02+385	02+390	3.0	86	45	Regular
200.0	79	02+390	02+395	3.0	82	48	Regular
200.0	80	02+395	02+400	3.0	86	45	Regular
200.0	81	02+400	02+405	3.0	79	49	Regular
200.0	82	02+405	02+410	3.0	94	41	Regular
200.0	83	02+410	02+415	3.0	97	39	Pobre
200.0	84	02+415	02+420	2.0	54	61	Bueno
200.0	85	02+420	02+425	2.0	52	62	Bueno
200.0	86	02+425	02+430	2.0	52	62	Bueno
200.0	87	02+430	02+435	3.0	88	44	Regular
200.0	88	02+435	02+440	3.0	95	40	Regular
200.0	89	02+440	02+445	3.0	79	49	Regular
200.0	90	02+445	02+450	3.0	90	43	Regular
200.0	91	02+450	02+455	2.0	54	61	Bueno
200.0	92	02+455	02+460	3.0	87	45	Regular
200.0	93	02+460	02+465	3.0	79	49	Regular
200.0	94	02+465	02+470	2.0	53	61	Bueno
200.0	95	02+470	02+475	3.0	90	43	Regular
200.0	96	02+475	02+480	3.0	90	43	Regular
200.0	97	02+480	02+485	2.0	54	61	Bueno
200.0	98	02+485	02+490	2.0	53	61	Bueno
200.0	99	02+490	02+495	3.0	96	39	Pobre

200.0	100	02+495	02+500	3.0	81	48	Regular
200.0	101	02+500	02+505	3.0	93	41	Regular
200.0	102	02+505	02+510	3.0	96	39	Pobre
200.0	103	02+510	02+515	3.0	93	41	Regular
200.0	104	02+515	02+520	3.0	96	39	Pobre
200.0	105	02+520	02+525	3.0	87	45	Regular
200.0	106	02+525	02+530	3.0	91	42	Regular
200.0	107	02+530	02+535	2.0	54	61	Bueno
200.0	108	02+535	02+540	3.0	97	39	Pobre
200.0	109	02+540	02+545	3.0	97	39	Pobre
200.0	110	02+545	02+550	3.0	96	39	Pobre
200.0	111	02+550	02+555	3.0	92	42	Regular
200.0	112	02+555	02+560	3.0	79	49	Regular
200.0	113	02+560	02+565	3.0	80	49	Regular
200.0	114	02+565	02+570	3.0	90	43	Regular
200.0	115	02+570	02+575	3.0	96	39	Pobre
200.0	116	02+575	02+580	3.0	81	48	Regular
200.0	117	02+580	02+585	3.0	80	49	Regular
200.0	118	02+585	02+590	3.0	89	43	Regular
200.0	119	02+590	02+595	3.0	91	42	Regular
200.0	120	02+595	02+600	3.0	82	48	Regular
200.0	121	02+600	02+605	3.0	85	46	Regular
200.0	122	02+605	02+610	3.0	96	39	Pobre
200.0	123	02+610	02+615	3.0	94	41	Regular
200.0	124	02+615	02+620	2.0	54	61	Bueno
200.0	125	02+620	02+625	3.0	96	39	Pobre
200.0	126	02+625	02+630	3.0	80	49	Regular
200.0	127	02+630	02+635	3.0	93	41	Regular
200.0	128	02+635	02+640	2.0	54	61	Bueno
200.0	129	02+640	02+645	3.0	94	41	Regular
200.0	130	02+645	02+650	2.0	54	61	Bueno
200.0	131	02+650	02+655	3.0	80	49	Regular
200.0	132	02+655	02+660	3.0	95	40	Regular
200.0	133	02+660	02+665	3.0	84	46	Regular
200.0	134	02+665	02+670	3.0	85	46	Regular
200.0	135	02+670	02+675	3.0	89	43	Regular
200.0	136	02+675	02+680	3.0	90	43	Regular
200.0	137	02+680	02+685	3.0	77	51	Regular
200.0	138	02+685	02+690	3.0	97	39	Pobre
200.0	139	02+690	02+695	2.0	54	61	Bueno
200.0	140	02+695	02+700	3.0	92	42	Regular
200.0	141	02+700	02+705	3.0	87	45	Regular
200.0	142	02+705	02+710	3.0	78	50	Regular
200.0	143	02+710	02+715	3.0	88	44	Regular
200.0	144	02+715	02+720	2.0	53	61	Bueno
200.0	145	02+720	02+725	3.0	90	43	Regular
200.0	146	02+725	02+730	3.0	85	46	Regular
200.0	147	02+730	02+735	2.0	54	61	Bueno
200.0	148	02+735	02+740	2.0	53	61	Bueno
200.0	149	02+740	02+745	3.0	95	40	Regular
200.0	150	02+745	02+750	3.0	84	46	Regular
200.0	151	02+750	02+755	3.0	90	43	Regular
200.0	152	02+755	02+760	3.0	94	41	Regular
200.0	153	02+760	02+765	3.0	89	43	Regular
200.0	154	02+765	02+770	2.0	52	62	Bueno
200.0	155	02+770	02+775	3.0	90	43	Regular
200.0	156	02+775	02+780	3.0	89	43	Regular
200.0	157	02+780	02+785	3.0	95	40	Regular
200.0	158	02+785	02+790	3.0	87	45	Regular
200.0	159	02+790	02+795	3.0	95	40	Regular
200.0	160	02+795	02+800	3.0	97	39	Pobre
200.0	161	02+800	02+805	3.0	90	43	Regular
200.0	162	02+805	02+810	3.0	95	40	Regular
200.0	163	02+810	02+815	2.0	53	61	Bueno

200.0	164	02+815	02+820	3.0	79	49	Regular
200.0	165	02+820	02+825	3.0	86	45	Regular
200.0	166	02+825	02+830	2.0	54	61	Bueno
200.0	167	02+830	02+835	2.0	52	62	Bueno
200.0	168	02+835	02+840	3.0	90	43	Regular
200.0	169	02+840	02+845	3.0	83	47	Regular
200.0	170	02+845	02+850	3.0	92	42	Regular
200.0	171	02+850	02+855	3.0	82	48	Regular
200.0	172	02+855	02+860	3.0	82	48	Regular
200.0	173	02+860	02+865	3.0	92	42	Regular
200.0	174	02+865	02+870	3.0	89	43	Regular
200.0	175	02+870	02+875	3.0	89	43	Regular
200.0	176	02+875	02+880	2.0	53	61	Bueno
200.0	177	02+880	02+885	2.0	53	61	Bueno
200.0	178	02+885	02+890	3.0	96	39	Pobre
200.0	179	02+890	02+895	2.0	53	61	Bueno
200.0	180	02+895	02+900	3.0	82	48	Regular
200.0	181	02+900	02+905	3.0	97	39	Pobre
200.0	182	02+905	02+910	2.0	54	61	Bueno
200.0	183	02+910	02+915	3.0	79	49	Regular
200.0	184	02+915	02+920	3.0	77	51	Regular
200.0	185	02+920	02+925	3.0	95	40	Regular
200.0	186	02+925	02+930	3.0	82	48	Regular
200.0	187	02+930	02+935	3.0	97	39	Pobre
200.0	188	02+935	02+940	3.0	87	45	Regular
200.0	189	02+940	02+945	3.0	82	48	Regular
200.0	190	02+945	02+950	3.0	97	39	Pobre
200.0	191	02+950	02+955	3.0	80	49	Regular
200.0	192	02+955	02+960	2.0	54	61	Bueno
200.0	193	02+960	02+965	2.0	53	61	Bueno
200.0	194	02+965	02+970	3.0	91	42	Regular
200.0	195	02+970	02+975	2.0	53	61	Bueno
200.0	196	02+975	02+980	3.0	80	49	Regular
200.0	197	02+980	02+985	3.0	96	39	Pobre
200.0	198	02+985	02+990	2.0	53	61	Bueno
200.0	199	02+990	02+995	2.0	52	62	Bueno
200.0	200	02+995	03+000	3.0	78	50	Regular
200.0	201	03+000	03+005	2.0	53	61	Bueno
200.0	202	03+005	03+010	3.0	78	50	Regular
200.0	203	03+010	03+015	2.0	52	62	Bueno
200.0	204	03+015	03+020	3.0	96	39	Pobre
200.0	205	03+020	03+025	3.0	84	46	Regular
200.0	206	03+025	03+030	3.0	80	49	Regular
200.0	207	03+030	03+035	3.0	95	40	Regular
200.0	208	03+035	03+040	2.0	53	61	Bueno

TRAMO CON TRATAMIENTO – M14: (Kp 3+040 a Kp 4+075)

200.0	1	03+040	03+045	2.0	46	66	Bueno
200.0	2	03+045	03+050	1.0	33	67	Bueno
200.0	3	03+050	03+055	2.0	53	61	Bueno
200.0	4	03+055	03+060	2.0	58	58	Bueno
200.0	5	03+060	03+065	2.0	52	62	Bueno
200.0	6	03+065	03+070	2.0	56	59	Bueno
200.0	7	03+070	03+075	1.0	33	67	Bueno
200.0	8	03+075	03+080	2.0	68	51	Regular
200.0	9	03+080	03+085	2.0	47	65	Bueno
200.0	10	03+085	03+090	2.0	46	66	Bueno
200.0	11	03+090	03+095	1.0	31	69	Bueno
200.0	12	03+095	03+100	2.0	49	64	Bueno
200.0	13	03+100	03+105	1.0	30	70	Muy Bueno
200.0	14	03+105	03+110	2.0	59	57	Bueno
200.0	15	03+110	03+115	2.0	46	66	Bueno
200.0	16	03+115	03+120	1.0	33	67	Bueno
200.0	17	03+120	03+125	2.0	49	64	Bueno
200.0	18	03+125	03+130	1.0	36	64	Bueno
200.0	19	03+130	03+135	2.0	41	69	Bueno
200.0	20	03+135	03+140	1.0	30	70	Muy Bueno
200.0	21	03+140	03+145	1.0	32	68	Bueno
200.0	22	03+145	03+150	2.0	60	57	Bueno
200.0	23	03+150	03+155	2.0	48	65	Bueno
200.0	24	03+155	03+160	1.0	31	69	Bueno
200.0	25	03+160	03+165	1.0	33	67	Bueno
200.0	26	03+165	03+170	2.0	63	55	Bueno
200.0	27	03+170	03+175	2.0	46	66	Bueno
200.0	28	03+175	03+180	1.0	30	70	Muy Bueno
200.0	29	03+180	03+185	2.0	44	67	Bueno
200.0	30	03+185	03+190	2.0	52	62	Bueno
200.0	31	03+190	03+195	2.0	59	57	Bueno
200.0	32	03+195	03+200	2.0	50	63	Bueno
200.0	33	03+200	03+205	1.0	35	65	Bueno
200.0	34	03+205	03+210	2.0	49	64	Bueno
200.0	35	03+210	03+215	2.0	58	58	Bueno
200.0	36	03+215	03+220	2.0	55	60	Bueno
200.0	37	03+220	03+225	2.0	52	62	Bueno
200.0	38	03+225	03+230	1.0	34	66	Bueno
200.0	39	03+230	03+235	2.0	59	57	Bueno
200.0	40	03+235	03+240	1.0	35	65	Bueno
200.0	41	03+240	03+245	2.0	45	67	Bueno
200.0	42	03+245	03+250	1.0	33	67	Bueno
200.0	43	03+250	03+255	2.0	45	67	Bueno
200.0	44	03+255	03+260	2.0	49	64	Bueno
200.0	45	03+260	03+265	2.0	48	65	Bueno

200.0	46	03+265	03+270	1.0	34	66	Bueno
200.0	47	03+270	03+275	1.0	31	69	Bueno
200.0	48	03+275	03+280	2.0	46	66	Bueno
200.0	49	03+280	03+285	2.0	48	65	Bueno
200.0	50	03+285	03+290	2.0	45	67	Bueno
200.0	51	03+290	03+295	2.0	54	61	Bueno
200.0	52	03+295	03+300	2.0	51	63	Bueno
200.0	53	03+300	03+305	2.0	49	64	Bueno
200.0	54	03+305	03+310	2.0	57	59	Bueno
200.0	55	03+310	03+315	2.0	47	65	Bueno
200.0	56	03+315	03+320	2.0	60	57	Bueno
200.0	57	03+320	03+325	1.0	33	67	Bueno
200.0	58	03+325	03+330	1.0	31	69	Bueno
200.0	59	03+330	03+335	2.0	57	59	Bueno
200.0	60	03+335	03+340	1.0	35	65	Bueno
200.0	61	03+340	03+345	2.0	61	56	Bueno
200.0	62	03+345	03+350	2.0	61	56	Bueno
200.0	63	03+350	03+355	1.0	33	67	Bueno
200.0	64	03+355	03+360	1.0	32	68	Bueno
200.0	65	03+360	03+365	2.0	60	57	Bueno
200.0	66	03+365	03+370	1.0	35	65	Bueno
200.0	67	03+370	03+375	1.0	32	68	Bueno
200.0	68	03+375	03+380	2.0	64	54	Regular
200.0	69	03+380	03+385	2.0	59	57	Bueno
200.0	70	03+385	03+390	2.0	48	65	Bueno
200.0	71	03+390	03+395	2.0	51	63	Bueno
200.0	72	03+395	03+400	2.0	62	55	Bueno
200.0	73	03+400	03+405	1.0	33	67	Bueno
200.0	74	03+405	03+410	1.0	35	65	Bueno
200.0	75	03+410	03+415	2.0	63	55	Bueno
200.0	76	03+415	03+420	2.0	56	59	Bueno
200.0	77	03+420	03+425	1.0	35	65	Bueno
200.0	78	03+425	03+430	2.0	56	59	Bueno
200.0	79	03+430	03+435	2.0	46	66	Bueno
200.0	80	03+435	03+440	1.0	30	70	Muy Bueno
200.0	81	03+440	03+445	2.0	52	62	Bueno
200.0	82	03+445	03+450	1.0	31	69	Bueno
200.0	83	03+450	03+455	1.0	35	65	Bueno
200.0	84	03+455	03+460	1.0	31	69	Bueno
200.0	85	03+460	03+465	2.0	55	60	Bueno
200.0	86	03+465	03+470	2.0	46	66	Bueno
200.0	87	03+470	03+475	2.0	58	58	Bueno
200.0	88	03+475	03+480	2.0	56	59	Bueno
200.0	89	03+480	03+485	2.0	48	65	Bueno
200.0	90	03+485	03+490	2.0	43	68	Bueno
200.0	91	03+490	03+495	2.0	50	63	Bueno
200.0	92	03+495	03+500	2.0	59	57	Bueno
200.0	93	03+500	03+505	2.0	53	61	Bueno
200.0	94	03+505	03+510	2.0	66	53	Regular
200.0	95	03+510	03+515	2.0	44	67	Bueno
200.0	96	03+515	03+520	1.0	33	67	Bueno
200.0	97	03+520	03+525	2.0	50	63	Bueno
200.0	98	03+525	03+530	2.0	49	64	Bueno
200.0	99	03+530	03+535	1.0	33	67	Bueno
200.0	100	03+535	03+540	1.0	33	67	Bueno
200.0	101	03+540	03+545	1.0	33	67	Bueno
200.0	102	03+545	03+550	1.0	33	67	Bueno
200.0	103	03+550	03+555	2.0	49	64	Bueno
200.0	104	03+555	03+560	1.0	33	67	Bueno
200.0	105	03+560	03+565	2.0	49	64	Bueno
200.0	106	03+565	03+570	2.0	50	63	Bueno
200.0	107	03+570	03+575	2.0	48	65	Bueno
200.0	108	03+575	03+580	2.0	50	63	Bueno
200.0	109	03+580	03+585	2.0	50	63	Bueno

200.0	110	03+585	03+590	2.0	52	62	Bueno
200.0	111	03+590	03+595	2.0	53	61	Bueno
200.0	112	03+595	03+600	1.0	32	68	Bueno
200.0	113	03+600	03+605	2.0	49	64	Bueno
200.0	114	03+605	03+610	2.0	48	65	Bueno
200.0	115	03+610	03+615	2.0	54	61	Bueno
200.0	116	03+615	03+620	2.0	51	63	Bueno
200.0	117	03+620	03+625	2.0	58	58	Bueno
200.0	118	03+625	03+630	1.0	33	67	Bueno
200.0	119	03+630	03+635	2.0	45	67	Bueno
200.0	120	03+635	03+640	2.0	61	56	Bueno
200.0	121	03+640	03+645	2.0	65	53	Regular
200.0	122	03+645	03+650	2.0	59	57	Bueno
200.0	123	03+650	03+655	2.0	50	63	Bueno
200.0	124	03+655	03+660	1.0	36	64	Bueno
200.0	125	03+660	03+665	2.0	63	55	Bueno
200.0	126	03+665	03+670	2.0	50	63	Bueno
200.0	127	03+670	03+675	2.0	57	59	Bueno
200.0	128	03+675	03+680	2.0	51	63	Bueno
200.0	129	03+680	03+685	2.0	60	57	Bueno
200.0	130	03+685	03+690	2.0	56	59	Bueno
200.0	131	03+690	03+695	1.0	35	65	Bueno
200.0	132	03+695	03+700	2.0	50	63	Bueno
200.0	133	03+700	03+705	2.0	54	61	Bueno
200.0	134	03+705	03+710	2.0	57	59	Bueno
200.0	135	03+710	03+715	1.0	33	67	Bueno
200.0	136	03+715	03+720	2.0	50	63	Bueno
200.0	137	03+720	03+725	1.0	34	66	Bueno
200.0	138	03+725	03+730	2.0	49	64	Bueno
200.0	139	03+730	03+735	2.0	48	65	Bueno
200.0	140	03+735	03+740	2.0	56	59	Bueno
200.0	141	03+740	03+745	2.0	53	61	Bueno
200.0	142	03+745	03+750	1.0	34	66	Bueno
200.0	143	03+750	03+755	2.0	45	67	Bueno
200.0	144	03+755	03+760	2.0	55	60	Bueno
200.0	145	03+760	03+765	2.0	55	60	Bueno
200.0	146	03+765	03+770	2.0	47	65	Bueno
200.0	147	03+770	03+775	2.0	63	55	Bueno
200.0	148	03+775	03+780	1.0	32	68	Bueno
200.0	149	03+780	03+785	2.0	51	63	Bueno
200.0	150	03+785	03+790	1.0	35	65	Bueno
200.0	151	03+790	03+795	2.0	47	65	Bueno
200.0	152	03+795	03+800	2.0	50	63	Bueno
200.0	153	03+800	03+805	1.0	35	65	Bueno
200.0	154	03+805	03+810	2.0	52	62	Bueno
200.0	155	03+810	03+815	2.0	51	63	Bueno
200.0	156	03+815	03+820	1.0	31	69	Bueno
200.0	157	03+820	03+825	1.0	32	68	Bueno
200.0	158	03+825	03+830	2.0	45	67	Bueno
200.0	159	03+830	03+835	2.0	52	62	Bueno
200.0	160	03+835	03+840	2.0	48	65	Bueno
200.0	161	03+840	03+845	2.0	47	65	Bueno
200.0	162	03+845	03+850	2.0	47	65	Bueno
200.0	163	03+850	03+855	2.0	43	68	Bueno
200.0	164	03+855	03+860	2.0	49	64	Bueno
200.0	165	03+860	03+865	2.0	52	62	Bueno
200.0	166	03+865	03+870	1.0	30	70	Muy Bueno
200.0	167	03+870	03+875	1.0	33	67	Bueno
200.0	168	03+875	03+880	1.0	35	65	Bueno
200.0	169	03+880	03+885	2.0	47	65	Bueno
200.0	170	03+885	03+890	2.0	52	62	Bueno
200.0	171	03+890	03+895	1.0	31	69	Bueno
200.0	172	03+895	03+900	2.0	49	64	Bueno
200.0	173	03+900	03+905	2.0	56	59	Bueno

200.0	174	03+905	03+910	2.0	54	61	Bueno
200.0	175	03+910	03+915	2.0	54	61	Bueno
200.0	176	03+915	03+920	2.0	56	59	Bueno
200.0	177	03+920	03+925	2.0	46	66	Bueno
200.0	178	03+925	03+930	2.0	53	61	Bueno
200.0	179	03+930	03+935	1.0	32	68	Bueno
200.0	180	03+935	03+940	2.0	52	62	Bueno
200.0	181	03+940	03+945	2.0	59	57	Bueno
200.0	182	03+945	03+950	1.0	34	66	Bueno
200.0	183	03+950	03+955	2.0	57	59	Bueno
200.0	184	03+955	03+960	2.0	60	57	Bueno
200.0	185	03+960	03+965	1.0	34	66	Bueno
200.0	186	03+965	03+970	2.0	48	65	Bueno
200.0	187	03+970	03+975	2.0	62	55	Bueno
200.0	188	03+975	03+980	2.0	49	64	Bueno
200.0	189	03+980	03+985	1.0	34	66	Bueno
200.0	190	03+985	03+990	2.0	47	65	Bueno
200.0	191	03+990	03+995	2.0	55	60	Bueno
200.0	192	03+995	04+000	2.0	60	57	Bueno
200.0	193	04+000	04+005	2.0	59	57	Bueno
200.0	194	04+005	04+010	2.0	56	59	Bueno
200.0	195	04+010	04+015	1.0	33	67	Bueno
200.0	196	04+015	04+020	1.0	34	66	Bueno
200.0	197	04+020	04+025	2.0	54	61	Bueno
200.0	198	04+025	04+030	1.0	31	69	Bueno
200.0	199	04+030	04+035	2.0	53	61	Bueno
200.0	200	04+035	04+040	2.0	45	67	Bueno
200.0	201	04+040	04+045	2.0	57	59	Bueno
200.0	202	04+045	04+050	2.0	45	67	Bueno
200.0	203	04+050	04+055	2.0	59	57	Bueno
200.0	204	04+055	04+060	1.0	31	69	Bueno
200.0	205	04+060	04+065	1.0	31	69	Bueno
200.0	206	04+065	04+070	2.0	60	57	Bueno
200.0	207	04+070	04+075	2.0	50	63	Bueno

Anexo VII:
Evaluación de afirmados – URCI
Mina Rafael S.A.C.

TRAMO SIN TRATAMIENTO: (Kp 2+000 a Kp 3+035)

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 001 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+000 Progresiva final: 02+005
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:

q: 2 TDV: 54 URCI: 61 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	87H
85M	

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶ 82	M	5.0										5.0	2.5	2
84	H	120.0										120.0	60.0	15
85	M													0
86	M	120.0										120.0	60.0	34
87	H	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 002 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+005 Progresiva final: 02+010
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 3 TDV: 86 URCI: 45 Regular

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m): 5 Ancho (m): 40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶ 82	M	5.0										5.0	2.5	2
83	M	112.0										112.0	56.0	33
84	H	125.0										125.0	62.5	15
85	M													0
86	M	105.0										105.0	52.5	33
87	H	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 003 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+010 Progresiva final: 02+015
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 53 URCI: 61 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

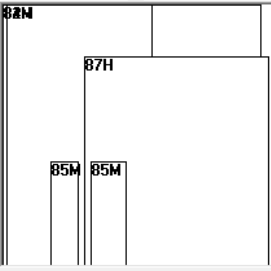
Longitud (m): 5 Ancho (m): 40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶ 82	M	5.0										5.0	2.5	2
84	H	125.0										125.0	62.5	15
85	M													0
86	M	92.0										92.0	46.0	33
87	H	4.0										4.0	2.0	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 004 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+015 Progresiva final: 02+020
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 54 URCI: 61 Bueno

Diagrama
 Longitud (m): 5 Ancho (m): 40


Daños

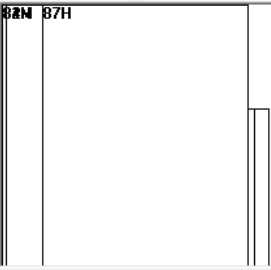
81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

	TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶	82	M	5.0										5.0	2.5	2
	84	H	110.0										110.0	55.0	15
	85	M													0
	86	M	115.0										115.0	57.5	34
	87	H	4.0										4.0	2.0	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 005 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+020 Progresiva final: 02+025
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 3 TDV: 93 URCI: 41 Regular

Diagrama
 Longitud (m): 5 Ancho (m): 40


Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

	TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶	82	M	5.0										5.0	2.5	2
	83	M	168.0										168.0	84.0	40
	84	H	115.0										115.0	57.5	15
	86	M	100.0										100.0	50.0	33
	87	H	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 006 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+025 Progresiva final: 02+030
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 53 URCI: 61 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	86M
87H	
	85(85M)

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	M	5.0										5.0	2.5	2
84	H	110.0										110.0	55.0	15
85	M													0
86	M	100.0										100.0	50.0	33
87	H	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 007 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+030 Progresiva final: 02+035
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 3 TDV: 95 URCI: 40 Regular

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	
	83(87H)

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	M	5.0										5.0	2.5	2
83	M	81.0	104.0									185.0	92.5	41
84	H	110.0										110.0	55.0	15
86	M	125.0										125.0	62.5	34
87	H	4.0										4.0	2.0	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 008 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+035 Progresiva final: 02+040
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 3 TDV: 87 URCI: 45 Regular

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m): 5 Ancho (m): 40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	M	5.0										5.0	2.5	2
83	M	116.0										116.0	58.0	33
84	H	105.0										105.0	52.5	15
85	M													0
86	M	110.0										110.0	55.0	34
87	H	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 009 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+040 Progresiva final: 02+045
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 3 TDV: 80 URCI: 49 Regular

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	M	5.0										5.0	2.5	2
83	M	81.0										81.0	40.5	26
84	H	100.0										100.0	50.0	15
85	M													0
86	M	125.0										125.0	62.5	34
87	H	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: TRAMO SIN TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 010 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 02+045 Progresiva final: 02+050
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 3 TDV: 95 URCI: 40 Regular

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	M	5.0										5.0	2.5	2
83	M	75.0	145.0									220.0	110.0	43
84	H	105.0										105.0	52.5	15
86	M	80.0										80.0	40.0	32
87	H	4.0										4.0	2.0	3

TRAMO SIN TRATAMIENTO: (Kp 2+000 a Kp 3+035)

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 001 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+040 Progresiva final: 03+045
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 46 URCI: 66 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	87M
86L	85L

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
83	L	48.0										48.0	24.0	14
84	M	125.0										125.0	62.5	4
85	L													0
86	L	69.0										69.0	34.5	24
87	M	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 002 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+045 Progresiva final: 03+050
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 1 TDV: 33 URCI: 67 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	87M
86L	85L

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
84	M	105.0										105.0	52.5	4
85	L													0
86	L	96.0										96.0	48.0	26
87	M	3.0										3.0	1.5	2

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 003 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+050 Progresiva final: 03+055
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:

q: 2 TDV: 53 URCI: 61 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	
83L	87M

	TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶	82	L	5.0										5.0	2.5	1
	83	L	45.0	48.0									93.0	46.5	23
	84	M	125.0										125.0	62.5	4
	86	L	60.0										60.0	30.0	23
	87	M	3.0										3.0	1.5	2

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 004 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+055 Progresiva final: 03+060
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:

q: 2 TDV: 58 URCI: 58 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	
86L	83L
83L	87M

	TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
▶	82	L	5.0										5.0	2.5	1
	83	L	40.0	65.0									105.0	52.5	25
	84	M	100.0										100.0	50.0	4
	86	L	96.0										96.0	48.0	26
	87	M	4.0										4.0	2.0	2

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 005 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+060 Progresiva final: 03+065
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 52 URCI: 62 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	
883L	87M

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
83	L	39.0	45.0									84.0	42.0	22
84	M	125.0										125.0	62.5	4
86	L	60.0										60.0	30.0	23
87	M	3.0										3.0	1.5	2

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 006 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+065 Progresiva final: 03+070
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 56 URCI: 59 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40
82M	83L
86	87M
83L	

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
83	L	44.0	65.0									109.0	54.5	25
84	M	100.0										100.0	50.0	4
86	L	60.0										60.0	30.0	23
87	M	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector Carril

Unidad de muestra Área de muestra (m²)

Progresiva inicial Progresiva final

Inspeccionado por

Fecha Muestra adicional

q TDV URCI Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
84	M	115.0										115.0	57.5	4
85	L													0
86	L	92.0										92.0	46.0	26
87	M	4.0										4.0	2.0	2

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector Carril

Unidad de muestra Área de muestra (m²)

Progresiva inicial Progresiva final

Inspeccionado por

Fecha Muestra adicional

q TDV URCI Regular

Daños

81. Sección transversal impropia	84. Polvo
82. Drenaje	85. Baches
83. Corrugación	86. Ahuellamiento
	87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m)	Ancho (m)
5	40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
83	L	95.0	100.0									195.0	97.5	33
84	M	110.0										110.0	55.0	4
86	L	110.0										110.0	55.0	27
87	M	5.0										5.0	2.5	3

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 009 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+080 Progresiva final: 03+085
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 47 URCI: 65 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m): 5 Ancho (m): 40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
83	L	60.0										60.0	30.0	17
84	M	105.0										105.0	52.5	4
85	L													0
86	L	63.0										63.0	31.5	23
87	M	4.0										4.0	2.0	2

Evaluación de Afirmados - URCI (TM 5-626 1995)

Sector: CON TRATAMIENTO Carril: UNICO 40 m

Unidad de muestra: 010 Area de muestra (m²): 200
 Progresiva inicial: 03+085 Progresiva final: 03+090
 Inspeccionado por: Bach. Percy Maravi
 Fecha: 01/10/2018 Muestra adicional:
 q: 2 TDV: 46 URCI: 66 Bueno

Daños

81. Sección transversal impropia 84. Polvo
 82. Drenaje 85. Baches
 83. Corrugación 86. Ahuellamiento
 87. Desprendimiento de agregados

Diagrama

Longitud (m): 5 Ancho (m): 40

TIPO	SEVERIDAD	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	TOTAL	DENSIDAD	VR
82	L	5.0										5.0	2.5	1
83	L	39.0										39.0	19.5	12
84	M	115.0										115.0	57.5	4
85	L													0
86	L	110.0										110.0	55.0	27
87	M	3.0										3.0	1.5	2