



UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

“ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA
ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA. HH EL
MILAGRO, 2016”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL

AUTORES:

ANGULO ROLDAN, DIEGO

ROJAS ESCAJADILLO, HEMBER FEMILANIO.

ASESOR:

Ing. ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA

IQUITOS – LORETO
2016

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a todas las personas que nos apoyaron en el transcurso de nuestra vida universitaria, las que hoy junto a nosotros celebran nuestros logros.

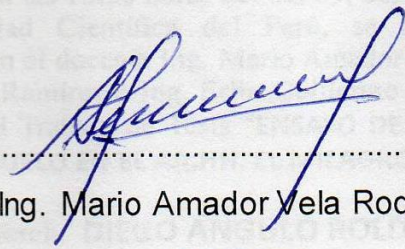
Diego y Hember

AGRADECIMIENTO

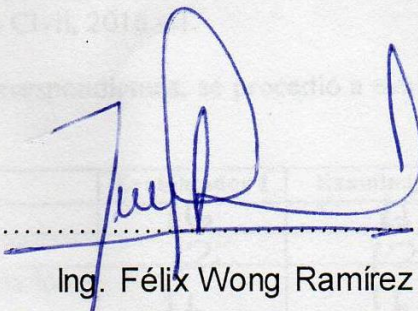
Agradecemos a Dios sobre todas las cosas, a nuestros padres por su apoyo incondicional en lo moral y económico, demás familiares y amigos que siempre estuvieron con nosotros en esta etapa maravillosa de nuestras vidas.

Diego y Hember

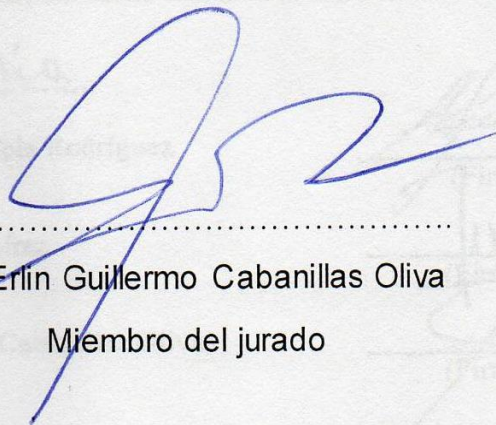
MIEMBROS DEL JURADO



Ing. Mario Amador Vela Rodríguez
Presidente



Ing. Félix Wong Ramírez
Miembro del jurado



Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva
Miembro del jurado



Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera
Asesor:

ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS DEL PROGRAMA PRO-TESIS

En la ciudad de Iquitos, a las 18:00 horas del día 09, del mes de noviembre del 2016, en las instalaciones de la Universidad Científica del Perú, se reunió el **Jurado Evaluador y Dictaminador** que lo conforman el docente Ing. Mario Amador Vela Rodríguez como Presidente y los Docentes Ing. Félix Wong Ramírez e Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva como Miembros, para evaluar la sustentación del Trabajo de Tesis **"ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA.HH. EL MILAGRO"**, presentada por los bachilleres:

Bach. DIEGO ANGULO ROLDÁN
Bach. HEMBER FEMILANIO ROJAS ESCAJADILLO

En la modalidad del Programa de Titulación Pro-Tesis de la facultad de Ciencias e Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2016 – I.

Después de las deliberaciones correspondientes, se procedió a evaluar y dictaminar, teniendo como resultado:

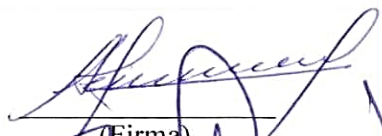
Indicador	Examinador 1	Examinador 2	Examinador 3	Promedio
A. Dominio del tema	16	15	16	16
B. Calidad de redacción del Informe	12	12	12	12
C. Competencia Expositiva argumentación y coherencia.	16	16	16	16
D. Calidad de respuestas	15	14	15	15
E. Uso de terminología especializada	15	14	13	14
Calificación Final	15			
Calificación Final (en letras)	Quince			

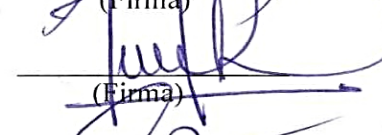
Aprobado por :..... *Mayoría*

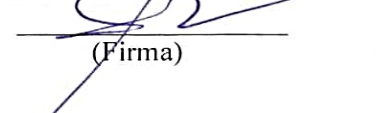
Presidente : Ing. Mario Amador Vela Rodríguez

Miembro : Ing. Félix Wong Ramírez

Miembro : Ing. Erlin Guillermo Cabanillas Oliva


(Firma)


(Firma)


(Firma)

Leyenda:

INDICADOR	PUNTAJE
Desaprobado	Menos de 13 puntos
Aprobado por Mayoría	De 14 a 15 puntos
Aprobado por Unanimidad	De 16 a 17 puntos
Aprobado por Excelencia	De 18 a 20 puntos

Nota: La calificación es en el sistema vigesimal (0 - 20).

PRESENTACIÓN

Presenta la tesis titulada “ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA. HH EL MILAGRO, 2016”, con la finalidad de verificar la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en carretera del AA. HH El Milagro, Distrito de San Juan Bautistas– Maynas – Loreto, mediante la estabilización de suelos utilizando el aditivo químico PROES, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Científica del Perú para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El documento consta de los siguientes capítulos:

Introducción; Marco Teórico; Marco Metodológico; Resultados; Discusión; Conclusiones; Recomendaciones - sugerencias; y, Bibliografía.

Autores:

Angulo Roldan, Diego

Rojas Escajadillo, Hember Femilanio.

Asesor:

Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
MIEMBROS DEL JURADO.....	IV
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	IV
PRESENTACIÓN.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.1.1. Descripción del problema.....	2
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.3. Objetivos.....	3
□ Objetivo General.....	3
□ Objetivos Específicos.....	3
II. Marco Teórico.....	5
2.1. Antecedentes del estudio.....	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Ensayos de suelos.....	7
2.2.2. Fiabilidad.....	8
2.2.3. Ensayos de fiabilidad.....	9
2.2.4. Suelo.....	9
2.2.4.1 Mecánica de suelos.....	9
2.2.4.2 Ingeniería de suelos.....	10
2.2.5. Estabilización de Suelos.....	10
2.2.5.1 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras.....	11
2.2.5.1.1 Estabilidad Volumétrica.....	11
2.2.5.1.2 Resistencia.....	12
2.2.5.1.3 Permeabilidad.....	12
2.2.5.1.4 Durabilidad.....	13
2.2.5.1.5 Compresibilidad.....	14
2.2.5.2 Tipos de estabilización.....	14
2.2.5.2.1 Estabilización mecánica.....	14
2.2.5.2.2 Estabilización física.....	15
2.2.5.2.3 Estabilización química.....	16
2.2.5.2.4 Estabilización con cal.....	16

2.2.5.2.5	Estabilización suelo-cemento.....	17
2.2.5.2.6	Estabilización con productos asfálticos.....	18
2.2.5.2.7	Estabilización con escoria de fundación	19
2.2.5.2.8	Estabilización con polímero.....	20
2.2.5.2.9	Estabilización con aditivo PROES.....	20
2.2.5.2.9.1	Especificaciones técnicas.....	21
2.2.5.2.9.1.1	Descripción General.	22
2.2.5.2.9.2.2	Materiales.	23
2.2.5.2.9.2.3	Equipos Necesarios.....	24
2.2.5.2.9.2.4	Procedimiento de Trabajo.	24
2.2.5.2.9.2.4.1	Preparación de la Subrasante.	24
2.2.5.2.9.2.4.2	Aplicación de Aditivos y Mezclado.	25
2.2.5.2.9.2.4.3	Compactación.	26
2.2.5.2.9.2.4.4	Cuidado de la Estabilización.	26
2.2.5.2.9.2.4.5	Limitaciones Meteorológicas.	27
2.2.5.2.9.2.4.6	Carpeta de Rodado.	27
2.2.5.2.9.2.4.7	Partidas del Presupuesto y Bases de Medición.	28
2.2.5.2.9.2.4.8	Control de Calidad.	28
2.2.5.2.9.2.4.8.1	Previo al inicio de la estabilización.	29
2.2.5.2.9.2.4.8.2	Durante el proceso de estabilización.....	29
2.2.5.2.9.2.4.8.3	Nuevas dosificaciones.	30
2.2.5.2.9.2.4.8.4	Para recepción de la estabilización.	30
2.2.5.2.9.2.4.8.5	Finalizado el proceso de estabilización.....	30
2.2.5.2.10	Ensayo CBR	30
2.2.5.2.11	Ensayo de Proctor Modificado.....	32
2.2.5.2.11.1	Uso.....	33
2.2.5.2.11.2	Herramientas y equipos.....	35
2.3	Definición de Términos básicos.	36
I.	Marco Metodológico	37
1.1.	Tipo de Investigación.....	37
1.1.1.	Población y muestra	37
1.1.2.	Técnicas, instrumentos, procedimientos de recolección de datos	38
1.1.3.	Procesamiento y análisis e interpretación de los datos	38
1.2.	Hipótesis.....	38
1.3.	Variable.....	38
1.3.1.	Identificación y definición de variables.....	38
1.3.2.	Operacionalización de las variables.....	39
VARIABLE	39
INDICADOR	39

INDICES.....	39
DEPENDIENTE.....	39
Proctor (suelo natural).....	39
>95%	39
CBR (suelo natural).....	39
INDEPENDIENTE	39
CBR (suelo con cemento y aditivo).....	39
Pruebas de laboratorio (prueba de carga)	39
II. Resultados.....	40
2.1. Resultados.....	40
2.1.1. Muestra de suelo A-4 (1).....	40
2.1.2. Combinacion Muestra de Suelo A-2-4(0) y A-7-5(9).....	50
III. Discusión	69
IV. Conclusiones y Recomendaciones	70
4.1. Conclusiones.....	70
4.2. Recomendaciones.....	71
V. Bibliografía.....	72
VI. ANEXOS.....	74
6.1. Matriz de consistencia	75
8.2 PANEL FOTOGRAFICO	77
8.2. Plano de ubicación	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Permeabilidad según la textura del suelo	13
Tabla 2. Permeabilidad según la estructura del suelo	13
Tabla 3. Categoría de la subrasante según su CBR	32
Tabla 4. Operacionalización de las variables.	39
Tabla 5. Clasificación de suelos A-4(1).....	40
Tabla 6. Compactación y humedad de Muestra A-4(1)	41
Tabla 7. CBR Muestra A-4(1).....	42
Tabla 8. CBR Muestra A-4(1), 2% de cemento	44
Tabla 9. CBR Muestra A-4(1), 2% de cemento y 0.3 lt/m3 aditivo PROES (Sumergido).....	46
Tabla 10. CBR Muestra A-4(1), 2% de cemento y 0.3 lt/m3 aditivo PROES (curado).	48
Tabla 11. Clasificación de suelos A-2-4(0) y A-7-5(9)	50
Tabla 12. Compactación y humedad de Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9).....	51
Tabla 13. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9)	52
Tabla 14- CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento	54
Tabla 15. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3lt/m3	56
Tabla 16. Clasificación de suelos A-3(0) y A-7-5(9)	58
Tabla 17. Compactación y humedad de Muestra A-3(0) y A-7-5(9)	59
Tabla 18. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9).....	60
Tabla 19. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento	62
Tabla 20. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m3	64
Tabla 21- Muestra: A-4(1). CBR al 95%, M.D.S Y O.C.H.....	66
Tabla 22. Muestra: Combinación A-2(4) 85% y A-7-5(9) 15%	67
Tabla 23. Muestra: Combinación A-3(0) 85% y A-7-5(9) 15%	68

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva Granulométrica A-4(1).	40
Gráfica 2. Curva de compactación A-4(1).....	41
Gráfica 3. CBR Muestra A-4(1), Curva C.B.R y Curva de Compactación.	43
Gráfica 4. CBR Muestra A-4(1), 2%cemento.....	45
Gráfica 5. CBR Muestra A-4(1), 2%cemento y 0.3 lt/m3 (Sumergido)	47
Gráfica 6. CBR Muestra A-4(1), 2%cemento y 0.3 lt/m3 (curado).....	49
Gráfica 7. Curva Granulométrica A-2-4(0) y A-7-5(9)	50
Gráfica 8. Curva de compactación A-2-4(0) y A-7-5(9)	51
Gráfica 9. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9).....	53
Gráfica 10- CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento	55
Gráfica 11. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m3 aditivo PROES	57
Gráfica 12. Curva Granulométrica A-3(0) y A-7-5(9)	58
Gráfica 13. Curva de compactación A-3(0) y A-7-5(9).....	59
Gráfica 14. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9).....	61
Gráfica 15. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento.....	63
Gráfica 16- CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m3.....	65
Gráfica 17. Muestra: A-4(1). CBR al 95%, M.D.S Y O.C.H	66
Gráfica 18. Combinación A-2(4) y A-7-5(9)	67
Gráfica 19. Combinación A-3(0) Y A-7-5(9) Con 2% de Cemento y Aditivo.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del Proceso de dosificación de una base con tecnología Proes	22
Figura 2. Variaciones de CBR con las muestras de suelos encontradas en la zona	70

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA	77
Foto N° 2. Visita y recolección de datos al inicio de la Tesis.....	78
Foto N° 3. Recorrido de la carretera del AA. HH El Milagro.	78
Foto N° 4. Recorrido de la carretera del AA. HH El Milagro	79
Foto N° 5. Recolectando muestras para realizar los ensayos.	79
Foto N° 6. Recolectando muestras para realizar los ensayos.	80
Foto N° 7. Proceso de secado de las muestras.....	80
Foto N° 8. Ensayos de Próctor modificado.	81
Foto N° 9. Mezcla de Aditivo PROES con agua.	81
Foto N° 10. Muestras de ensayos sumergidos por 04 días en agua.	82
Foto N° 11. Prueba de carga CBR.....	82
Foto N° 12. Preparación de la Subrasante	83
Foto N° 13. Esparcido del Material	83
Foto N° 14. Aplicación Aditivo Sólido.....	84
Foto N° 15. Con Camión Esparcidor.....	84
Foto N° 16. Mezclado Aditivo Sólido.....	85
Foto N° 17. Adición Aditivo Líquido Proes100	85
Foto N° 18. Mezclando Aditivo Líquido	86
Foto N° 19. Recicladora y Camión Aljibe	86
Foto N° 20. Compactación con Niveladora	87
Foto N° 21. Tránsito Durante la Faena.	87
Foto N° 22. Barrido y Soplado Base	88
Foto N° 23. Riego de Liga.....	88
Foto N° 24. Lechada Asfáltica.....	89
Foto N° 25. Base Proes con Tratamiento Asfáltico (Slurry).....	89
Foto N° 26. Colocación Mezcla Asfáltica	90
Foto N° 27. Base Proes con Mezcla Asfalto en Caliente, Espesor 4,0 cm.	90
Foto N° 28. Plano de Ubicación	92
Foto N° 29. Tramo 0.000 - 1.000 km.....	93
Foto N° 30. Tramo 1.000 - 2.000 km.....	94
Foto N° 31. Tramo 2.000 - 3.000 km.....	95
Foto N° 32. Tramo 3.000 - 4.000 km.....	96
Foto N° 33. Tramo 4.000 - 5.000 km.....	97
Foto N° 34. Tramo 5.000 - 6.000 km.....	98

RESUMEN

Este trabajo de investigación permite verificar la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la carretera del AA. HH El “Milagro”, distrito de San Juan Bautista – provincia de Maynas – Loreto, mediante la estabilización de suelos utilizando el aditivo químico PROES.

La carretera en estudio ha sido evaluada tanto funcional como estructuralmente mediante la determinación de la capacidad de soporte CBR del suelo. La finalidad de este ensayo, fue determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.

Los ensayos se efectuaron en el Laboratorio de mecánica de suelos y tecnología de los materiales de construcción de la Universidad Científica del Perú – Iquitos, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Para las muestras de suelos obtenidos por mezcla de 85% A-2-4(0) y 15% A-7-5(9), se alcanzó un CBR hasta de 102%; y, para muestras de suelo A-4(1) se alcanzó un CBR de 14.4% natural, 25.5% con 2% de cemento y 36.1% con 2% de cemento + 0.3 lt/m³ de aditivo.

La cantidad óptima de aditivo PROES para los suelos de la carretera en mención fue de 0.30 lt/m³, con una dosificación de cemento de 2%, alcanzándose CBR entre 43.2% y 102%.

Quedando demostrado que el uso de la tecnología PROES mejora la capacidad de soporte del suelo, uniformiza las características físicas y mecánicas del suelo en general y garantiza un correcto desempeño en términos de niveles de servicio, siempre y cuando se adicione al suelo el aditivo sólido (cemento PORTLAND).

PALABRAS CLAVE: Estabilización de suelos; estabilización química; aditivo PROES; suelos residuales – Iquitos, fiabilidad.

ABSTRACT

This research verifies the improvement of physical and mechanical properties on the road AA. HH The "Milagro" district of San Juan Bautista - Province of Maynas - Loreto, soil stabilization by using the chemical additive PROES.

The road study has been assessed both functionally and structurally by determining the bearing capacity of soil CBR. The purpose of this test was to determine the ability of support (CBR) aggregates and compacted soil laboratory, with an optimal humidity and varying levels of compaction.

The tests were conducted at the Laboratory of soil mechanics and technology of building materials Scientific University of Peru - Iquitos, the following results were obtained:

For soil samples obtained by mixing 85% A-2-4 (0) and 15% A-7-5 (9), a CBR reached up to 102%; and for soil samples A-4 (1) a CBR of 14.4% natural, 25.5% with 2% cement and 36.1% with 2% cement + 0.3 lt / m³ additive it was reached.

The optimum amount of additive for soils PROES the road in question was 0.30 lt / m³, with a cement dosage of 2%, reaching between 43.2% and CBR 102%.

It is demonstrated that the use of PROES technology improves soil support, standardizes the physical and mechanical characteristics of the soil in general and ensure correct performance in terms of service levels, as long as would be added to soil the solid additive (Portland cement).

KEYWORDS: Soil stabilization; chemical stabilization; PROES additive; residual soils - Iquitos, reliability.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú una de las grandes problemáticas para el desarrollo económico es no contar con vías de acceso hacia los poblados tanto en la zona de la sierra y selva amazónica; es por ello que se siente la necesidad de los gobernantes tanto nacional, regional como municipal para dar más énfasis en la construcción de vías de acceso, siendo una de las soluciones básicas para mejorar la calidad de vida de las personas generando desarrollo y progreso.

En la actualidad, la municipalidad distrital de San Juan Bautista tiene un proyecto de ejecución de la vía de acceso al AAHH “El Milagro”, ubicado a la margen izquierda del Km 21 de la carretera Iquitos –Nauta. Es así, que se construirán 6 km de carretera conectando a la carretera Iquitos-Nauta, previéndose construir 6 km de carretera que la conectará ésta hacia el Río Itaya.

Por tal motivo, el proveedor de la Empresa Profund Estabilizadores (PROES), quienes se dedican a la consultoría en ingeniería en Chile, (con oficina sucursal en nuestro país), solicitaron a nuestra universidad tesis de Ingeniería Civil para la realización de estudios de estabilización de suelos con el uso del aditivo líquido (PROES) en la carretera de penetración al AAHH “El Milagro”, a través del laboratorio de Mecánica de suelos y Tecnología de Materiales de la Universidad Científica del Perú – Iquitos.

En tal sentido solicitaron a la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú – Iquitos. Brindándonos a nosotros los “autores” la oportunidad de desarrollar esta investigación, denominado: “ENSAYOS DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES, PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, EN EL AA.HH EL MILAGRO, 2016”

Por ello la presente tesis determinó que sí, era posible alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad, generándose incrementos importantes en la resistencia y/o en la capacidad estructural de una base estabilizada, mediante el uso de un aditivo químico llamado PROES.

El presente informe final de tesis contiene los siguientes capítulos: Introducción, marco teórico, marco metodológico, resultados, discusión, conclusión, recomendación, bibliografía, anexos.

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Descripción del problema.

Atarama Mondragón, Edson, en su Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, señala que “El crecimiento social y económico de una población se debe principalmente a sus vías de comunicación ya que a través de ellas se realizan las relaciones comerciales, personales, de comunicación, etc., pero el gasto económico que demanda la construcción de caminos y carreteras, y su posterior mantenimiento, hace que sean proyectos inviables en poblados cuya afluencia vehicular es baja, justamente por ser pueblos en vías de desarrollo” (1).

La carretera de acceso a los AA.HH “El Milagro”, “El Otorongo” y “Villa Buen Pastor” atraviesa 02 quebradas y el agua de rebose de más de 15 piscigranjas escurre directamente sobre la carretera, cuya plataforma está conformada por suelos arcillosos, básicamente (desde “El Milagro” hasta “Moralillos”); lo cual se agrava debido a las continuas lluvias propias de la Amazonía. En respuesta a este problema, es que actualmente, gracias a la aparición de nuevas tecnologías, se puede habilitar caminos con buena transitabilidad a bajo costo por un periodo de vida determinado. Una de estas nuevas tecnologías es la elaboración de bases estabilizadas con agente aglomerante, ya sea químico o de otra índole, que comparadas al clásico sistema de construcción de carreteras con bases y sub bases, resulta optima y rentable en el caso ya mencionado. Por lo que se realiza la investigación denominada: “Ensayo de Fiabilidad con Aditivo PROES para la Estabilización de Suelos en la Vía de Acceso al AA.HH El Milagro, 2016

1.1.2. Formulación del problema

➤ Problema general

¿Cómo influyen en los ensayos de fiabilidad el uso de aditivo PROES para la estabilización de los suelos en la carretera de penetración al AA. HH “El Milagro”?

➤ Problemas específicos

- ¿Cómo es la estabilización del suelo antes de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016?
- ¿Cómo es la estabilización del suelo después de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016?
- ¿Cuál es la diferencia de la estabilización del suelo al comparar los resultados antes y después de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016?

1.1.3. Objetivos

➤ Objetivo General

Determinar la influencia de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la estabilización del suelo en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016

➤ Objetivos Específicos

- Evaluar la estabilización del suelo antes de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016

- Evaluar la estabilización del suelo después de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016
- Establecer la diferencia de la estabilización del suelo al comparar los resultados antes y después de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la carretera de penetración al AA.HH el Milagro, 2016

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes del estudio

León Fierro, Kenneth Junior (2016), en su tesis denominada “Funcionalidad del aditivo sólido rocatech 70/30 como aglomerante para una base estabilizada con la tecnología PROES en el proyecto Red Vial N°3-Cusco”, presentado el 2016 por el tesista, indicó: “Los suelos tratados con tecnología Proes típicamente desarrollan enlaces fuertes que le otorgan cohesión al material. Estos enlaces a diferencias de los suelos tratados únicamente con cemento no frágiles, debido al tipo de aditivos que utiliza Proes. El proceso químico hace que aumente la resistencia manteniendo un comportamiento estable, flexible y dúctil de los suelos. Mientras se mantenga los enlaces cohesivos el material presentará un módulo relativamente alto en comparación con el suelo sin tratar”.

Atarama Mondragón, Edson (2015), en su tesis denominada “Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES”, presentado el 2015 por el tesista, concluyó: “De la evaluación del suelo de fundación se encontró que predominan los suelos formados por arena arcillosa y arcillas inorgánicas, la clasificación predominante SUCS es SC y CL, y en AASHTO es A-2-6, con un índice de plasticidad promedio de 13%, la humedad natural que presentan los suelos se encuentra con un promedio de 16% y máximos de 51%, de los CBRs encontrados están en el rango de 5% y 30%, con un promedio de 16% al 95% de la MDS”.

Serigos Pedro, Antonio (2009), en su tesis denominada “rigidez a baja deformación de suelo de la formación pampeado y cemento portland”, presentado el 2009 por el tesista concluyó: “Los productos de las reacciones químicas entre el agua, cemento portland y los minerales de la fracción arcillosa del suelo dependerán del tipo y de la cantidad de cada una de estas. El suelo utilizado en este trabajo es un limo de baja plasticidad de la formación pampeada proveniente de la localidad de Ranelagh, en la provincia de Buenos Aires”.

El cemento utilizado fue un CPN 40 (MRS), las dosificaciones de cemento utilizadas fueron del 4,68 y 10%.

Ruano López, Denis Robin (2012), en su tesis denominada “Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva”, presentado el 2012 por el tesista concluyó: “Las características de las arenas de origen volcánico usadas en la investigación presentan cualidades positivas para la estabilización de suelos cohesivos, las minas ya se usan de forma exitosa en la construcción para diferentes áreas como fundición de concretos y la fabricación de tejas de concreto prefabricadas”.

Díaz Ariza, Jesús Alberto y Mejía Vargas Julio Cesar (2004), en su tesis denominada “Estabilización de suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuestos inorgánicos”, presentado el 2004 por los tesistas concluyeron: “Como ocurre con casi todas las estabilizaciones es necesario determinar las dosificaciones óptimas para cada tipo de suelo para su aplicación”.

“Los resultados muestran que el aditivo químico no parece tener un gran efecto sobre las propiedades de plasticidad. Lo cual permite intuir una acción más de tipo cementante que de tipo químico en la estabilización de los suelos; al menos en los ensayados”.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ensayos de suelos.

Los ensayos de suelos se desarrollan en los laboratorios de mecánica de suelos, a través de pruebas para determinar las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento físico mecánico. Estos ensayos se ejecutan sobre las muestras previamente obtenidas en el terreno y, dependiendo del tipo de ensayo, se exigen distintas calidades de muestra. (22)

Clasificación de los ensayos.

Para la determinación de las propiedades del suelo, los ensayos se clasifican en:

- Ensayos de identificación: son los únicos (junto con los de compactación) que pueden realizarse sobre muestras alteradas. Pueden ser:
 - Físicos: granulometría, plasticidad o peso específico de partículas.
 - Químicos: Contenido en sulfatos, carbonatos o materia orgánica.(22)
- Ensayos de estado: humedad natural, peso específico seco o aparente. Proporcionan la situación del terreno en su estado natural. Como excepción, pueden utilizarse muestras alteradas para la obtención de la humedad natural, siempre que se protejan de pérdidas posteriores de humedad nada más proceder a su obtención. (22)
- Ensayos de permeabilidad: en permeámetros de carga constante, de carga variable o en célula triaxial. (22)
- Ensayos de cambio de volumen: compresibilidad edométrica, expansividad (presión de hinchamiento, hinchamiento libre, índice de Lambe) y colapso. (22)
- Ensayos de resistencia: compresión simple, corte directo (CD, CU, UU), compresión triaxial (CD, CU, UU). (22)
- Otros ensayos, sobre todo en rocas:
 - Compactación proctor.
 - Índice de dispersividad Pin-Hole (sobre muestra alternada).

- Ensayos sobre rocas: compresión simple (con o sin galgas extensométricas), carga puntual (Point Load), corte directo de diaclasas, índice de durabilidad Slake, compresión triaxial.
- Ensayos químicos sobre agua freática: obtención de pH, de contenido en sales solubles o de elementos contaminantes.(22)

2.2.2. Fiabilidad.

En ingeniería existe el interés de observar el comportamiento de los productos fabricados. Sobre todo interesa estudiar las causas de que los productos fallen, los efectos que producen los fallos y los aspectos de diseño, fabricación y mantenimiento que pueden afectar a los fallos. (15)

Uno de los objetivos en la industria es diseñar y mantener un producto de forma tal que dure el mayor tiempo posible. (15)

La fiabilidad es la capacidad de los productos o servicios de comportarse en la forma requerida bajo condiciones establecidas y durante un tiempo establecido, dicho de otro modo, es la permanencia de la calidad de los productos o servicios a lo largo del tiempo. (15)

La diferencia entre calidad y fiabilidad es que la calidad garantiza que el producto sale de fábrica en buenas condiciones. La fiabilidad garantiza que el producto permanezca en buenas condiciones durante un periodo razonable de tiempo; pero evidentemente, la calidad de un producto contribuye a la fiabilidad del mismo. (15)

Por tanto, la calidad carece de la dependencia temporal de la fiabilidad. Y esta dependencia temporal introduce una incertidumbre en la definición de fiabilidad, es decir, saber si un producto funcionará a lo largo de un periodo de tiempo es una cuestión de probabilidad. (15)

En definición formal la fiabilidad es la probabilidad de que un producto se comporte adecuadamente durante un tiempo establecido. (15)

Por tanto, es necesario el uso de la probabilidad y la estadística en el estudio de la fiabilidad. Este estudio se va basar en la observación del patrón de los tiempos de fallo de los productos (tiempos de vida). (15)

2.2.3. Ensayos de fiabilidad.

Para obtener el grado de fiabilidad de una muestra determinada de suelo, necesitamos realizar ensayos de la estimación de la incertidumbre, esto se basa principalmente en un parámetro que caracteriza la variabilidad de los resultados de ensayos de laboratorio y de cualquier medición. Se identifican parámetros que influyen en los resultados, y se demuestran los errores significativos y el grado de confiabilidad que este ensayo pueda tener en el proceso del análisis en el laboratorio de mecánica de suelos, una vez que se cuantifique los errores que se presentan durante el desarrollo de un ensayo de laboratorio, esta cuantificación de la incertidumbre de los resultados de ensayos de mecánica de suelos permite identificar y minimizar los errores con la finalidad de contribuir a la confiabilidad de los resultados y mejora la evaluación del ensayo se suelo realizado. (16)

2.2.4. Suelo.

El suelo, desde el punto de vista de la ingeniería es un agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo contribuyen. El ingeniero, compara al suelo como un material de construcción que tienen una importante influencia en el diseño y construcción de una obra de ingeniería.

El suelo al igual que otros materiales posee propiedades ingenieriles, que están gobernadas por el tamaño de sus partículas y la forma en que estas interaccionan entre sí. Los suelos por lo general, son materiales heterogéneos y anisotrópicos, por lo que no están compuestos de un mismo material en toda su masa, además son materiales no conservativos, es decir que la masa de suelo al deformarse no recupera su forma original. (23)

2.2.4.1 Mecánica de suelos.

La mecánica de suelos, estudia el comportamiento y las propiedades físicas del suelo cuando fuerzas y agentes externos actúan en la masa de suelo. Esta rama de la geotecnia considera la estructura del suelo, la forma de las partículas que lo constituyen y las fases que éste presenta, concentrándose en las propiedades ingenieriles. (23)

2.2.4.2 Ingeniería de suelos.

Ingeniería de suelos, es la aplicación de los principios de la mecánica de suelos a problemas prácticos, donde la experiencia y la teoría se complementan.

Es una ciencia, que combina los conocimientos de la ingeniería geotécnica y la ingeniería geológica al estudio del comportamiento y la clasificación de los elementos encontrados en la corteza terrestre, como ser: suelo, roca y agua subterránea. (23)

2.2.5. Estabilización de Suelos.

Si un suelo tiene buena capacidad de soporte, resistente a los esfuerzos de corte, y si su comportamiento estructural no cambia significativamente frente a variaciones de humedad, se dice que es un suelo estable. Sin embargo cuando se presenta un suelo que no reúne las características necesarias para trabajar directamente con él (2), se tendrá cuatro posibilidades:

- Utilizar el material como de bajo aporte.
- Sustituir el material.
- Modificar sus propiedades (estabilizar).
- Combinación de suelos.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizadores, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.) (2)

Estabilizar los suelos consiste en dotar a los mismos, de capacidad de soporte y permanencia de propiedades en el tiempo. Las formas son variadas y van desde la agregación de otro tipo de suelo, a la integración de uno o más

agentes estabilizantes. Cualquiera sea la forma de estabilizar el suelo, se continúa de un proceso de compactación.

Se define la estabilización como un proceso intercediendo la reducción de sus susceptibilidades al dominio del agua y a las condiciones del tránsito, modificando notablemente las características del mismo, generando un incremento en su capacidad de soporte y estabilidad a largo plazo, nos referimos a su durabilidad. Para suelos arcillosos (A-4(1), A-4(0) Y A-7-5(9)), de características plásticas que se inclinan a sufrir deformaciones volumétricas a consecuencia de cambios de humedad y con baja plasticidad de soporte el objetivo será una disminución en su índice de plasticidad, ya que un IP demasiado elevado significará un demasiada expansión y opuesta contracción, a la vez una baja capacidad para soportar cargas.

2.2.5.1 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras.

Las carreteras de Tercera Clase, según el MTC (2013), son aquellas con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo, aún excepcionalmente pueden tener hasta 2,50m; Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsionantes asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura (11).

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades del suelo, como son la estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad siendo estas las más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se concentran en verificar si mejora alguna de éstas propiedades (14).

2.2.5.1.1 Estabilidad Volumétrica.

La expansión y contracción de varios suelos, causados por los constantes cambios de humedad, se pueden manifestar en forma repentina o acompañando a las variaciones estacionales o con la actividad del ingeniero.

Para el desarrollo de esta propiedad nos basaremos en los tipos de suelos arcillosos; los cuales tienen la capacidad de expansión o de retracción dependiendo de su contenido de humedad. En un suelo de estas características el objetivo primordial es cambiar esa masa de arcilla expansiva a una masa completamente rígida o en una masa granulada, pero con una capacidad de expansión mínima; esto es juntar las partículas que la conforman, de manera que puedan resistir las presiones internas que provocan la expansión y/o hinchamiento. Esto más que todo se logra con la aplicación de procesos químicos o térmicos. Para arcillas ubicadas en la superficie los procesos químicos son efectivos; los procesos térmicos se han aplicado a arcillas más profundas.

2.2.5.1.2 Resistencia.

La estabilización mecánica es fundamental para mejorar esta propiedad (compactación), para lograr una mayor resistencia se necesita aplicar algunas formas de estabilización, estas son:

- a) Compactación (mediante amasado, vibración o impactos)
- b) Vibro-flotación
- c) Precarga
- d) Drenaje (para reducir la cantidad y/o presión de agua en los poros de los suelos)
- e) Estabilización mecánica con mezclas y/o combinación de otros suelos
- f) Estabilización química con cemento, cal u otros aditivos.

Con poca resistencia ocurre comúnmente en suelos orgánicos, ya que la presencia de material orgánico no permite una adecuada estabilización de estos suelos.

2.2.5.1.3 Permeabilidad.

En los diferentes tipos de suelos la permeabilidad es la capacidad de transferir agua (u otra sustancia); es permeable cuando éste deja pasar a través de él una cantidad considerable de fluido, y es impermeable si la cantidad de fluido es nulo. El suelo se puede definir como permeable pues presenta poros; en este caso son los espacios vacíos que le permiten absorber el agua; a su vez

estos espacios vacíos están interconectados de tal forma que dispone de caminos por los que el agua puede pasar sin ningún impedimento. Si no ocurre esto, es decir, la cantidad de espacios vacíos es mínima, entonces el suelo será impermeable.

Muchas veces la permeabilidad se ve perjudicada por las propiedades y estructura del suelo, donde éstas serán dependientes del número y tamaño de los poros del suelo.

Según la textura, mientras el suelo sea más fino (textura más fina) más lenta será su permeabilidad (Tabla 2).

Tabla 1. Permeabilidad según la textura del suelo

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelos arcillosos	fina	De muy lenta a muy rápida
Suelos limosos	Modernamente fina	
	Modernamente gruesa	
Suelos arenosos	Gruesa	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

La permeabilidad se podrá modificar si se modifica la estructura, como lo indica la Tabla 2.

Tabla 2. Permeabilidad según la estructura del suelo

Tipo de estructura		Permeabilidad
Laminar	Gran traslazo	De muy lenta a muy rápida
	Ligero traslazo	
En bloque		
prismática		
Granular		

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.2.51.4 Durabilidad.

La resistencia al intemperismo es lo deseable para obtener suelos estabilizados, los principales problemas de durabilidad están relacionados a los suelos cercanos a la superficie de rodamiento; y para mejorarlas se necesita de la inserción de químicos, dependiendo del tipo de suelo.

2.2.5.1.5 Compresibilidad.

Es el grado en que la masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Esta propiedad afecta a otras como la permeabilidad; también altera la magnitud y el sentido de las fuerzas interpartículas; modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o pudiendo provocar deslizamientos (6).

Si se habla de los suelos de textura gruesa (gravas y arenas); la compresibilidad será mínima, pues sus partículas están en contacto. Nos centraremos en los suelos de grano fino, las arcillas y limos; si se comprime una masa húmeda de estos suelos, se produce una reducción en su volumen, pues gran parte de la humedad y el aire presentes se eliminarán; la compresibilidad llega al máximo mientras mayor cantidad de materia orgánica esté presente. (8)

Estos problemas pueden afectar a los suelos naturales como a los estabilizados, si bien en estos últimos los peores comportamientos suelen ser consecuencia de diseños inadecuados, tales como una mala elección del agente estabilizador o un serio error en uso.

2.2.5.2 Tipos de estabilización.

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. (10)

En la actualidad se emplean los siguientes métodos:

- Estabilización mecánica (compactación).
- Estabilización física
- Estabilización química (cemento, cal, asfalto, otros productos).

2.2.5.2.1 Estabilización mecánica.

Con esta técnica se pretende mejorar propiedades de los suelos ejerciendo una acción mecánica de corta duración de forma repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturado, sin cambiar la forma, estructura y composición básica del mismo. Se utilizan equipos compactadores, donde el

objetivo principal es lograr incrementar la resistencia al corte reduciendo el volumen de vacíos presentes en el suelo.

Al compactar el suelo se obtiene:

- Mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo.
- Mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura.
- Disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos. (14)

2.2.5.2.2 Estabilización física.

Entre los métodos de estabilización física de suelos más aplicados en la Amazonía son:

- a) Combinación o mezcla de suelos: se considera combinación o mezcla de suelos cuando adicionamos material de préstamo, pero esta agregación y mezcla no hace que sea estable como para ser pavimento de una carretera, ya que para hacer posible esto debe tener cohesión con las partículas y estas al estar con las diferentes solicitaciones de cargas, no deben separarse e incluso salirse del camino.
La combinación adecuada de los suelos, en la mayoría de los casos da como resultado un material estable, de obtener una combinación adecuada se procede a conformar y compactar de acuerdo a densidad y espesor requerido.
- b) Sustitución de suelos: se da principalmente cuando el suelo de la capa de subrasante existente no cumple con las características necesarias para su buen funcionamiento, debido a su baja capacidad de soporte, materiales inadecuados o contaminados y con muy poco aporte para el pavimento.

Por lo que se procede al cambio por una material que cumpla las características necesarias para un buen funcionamiento acorde a las diferentes solicitaciones de cargas que recibirá la estructura, las características deben estar contemplados dentro del manual de carreteras vigente.

Los espesores de suelos recomendados para la estabilización por sustitución de suelos son entre:

$$3\% < \text{CBR} < 6\%$$

2.2.5.2.3 Estabilización química.

La estabilización química de suelos se refiere principalmente a la adición de agentes estabilizantes químicos específicos, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. Con esta tecnología de estabilización se busca generar una reacción química del suelo con el estabilizante para lograr la modificación de las características y propiedades del suelo; y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido, ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

2.2.5.2.4 Estabilización con cal.

Se da con la mezcla de suelo, cal y agua, se genera la estabilidad cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. Al hidratarse la cal genera reacciones con las partículas arcillosas y esto evoluciona permanentemente en una fuerte matriz cementante.

La ventaja de estabilizar suelos con cal, es que aumenta la plasticidad, así como también el LL como el LP, y también considerablemente su IP.

También se genera una compactación óptima gracias al aumento de su humedad, densificando al suelo de su elevada humedad natural, donde no permitirían la construcción de la capa de rodadura sobre ellos.

La National Lime Association resumen las propiedades que se obtienen después de una estabilización o mejoramiento con cal, en lo siguiente:

- Reducción del índice de plasticidad, debido a una reducción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos (rotura fácil de grumos).
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del potencial de contracción y del potencial de hinchamiento.
- Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado alcanzando en algunos casos hasta un 40% de incremento.
- Incremento de la capacidad portante del suelo (CBR).
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o al ascenso capilar de aguas subterráneas. (20)

2.2.5.2.5 Estabilización suelo-cemento

Se obtiene por la combinación de un suelo separado con aditivo sólido (cemento), teniendo como principal adición el agua, procediendo a una compactación y curado adecuado. Solo así, esta combinación para una base estabilizada se convierte en otro endurecido, mejorando su resistencia altamente.

Al realizar los ensayos de Proctor modificado, determinamos el óptimo contenido de agua, así mismo para la compactación de suelos. Estas propiedades dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua

- Ejecución
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Mientras más cemento y tiempo de preparación tenga la mezcla, aumenta su resistencia, el IP disminuye antes de agregarse el cemento e iniciarse el fraguado, su LL cambia ligeramente y su densidad máxima y húmeda cambia ligeramente.

2.2.5.2.6 Estabilización con productos asfálticos

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad (11):

- Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.
- Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, $LL < 30$ e $IP < 10$. (10)

El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La mezcla se hace con frecuencia in situ, y la elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. La granulometría puede ser abierta, cerrada con finos o cerrada sin finos, pero una mayor superficie específica exigirá un ligante de curado y rotura más lentos, para permitir una mezcla más adecuada. En zonas con temperaturas elevadas, también deberán usarse productos de curado y rotura más lentos, éstos podrán ser más viscosos. (11)

En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas. Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea. Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes¹² puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad; puede usarse también con las arcillas pero solo le procura impermeabilidad; además, para el caso de suelos plásticos, con otros productos se logra mayor eficiencia y economías. (11)

2.2.5.2.7 Estabilización con escoria de fundación

Hoy en día las escorias de acería o de otros hornos de fundición se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y sub-base en los pavimentos, en la estabilización de sub-rasantes, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso¹⁰; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales (11). Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y combustibles, y se reducen las emisiones de CO₂ al ambiente.

En los suelos estabilizados con escoria y cal el porcentaje estimado en peso de cal se encuentra en 1.5 y 3% y de escoria entre 35% - 45% en volumen. La utilización de grados con tamaño máximo limitado al de las arenas facilita los trabajos de mantenimiento sin desgastar prematuramente las cuchillas de motoniveladoras ni formar estrías sobre la calzada. Además tamaño de

agregados mayores a 1 cm al ser despedidos por la acción del tránsito pueden provocar daños a los vehículos así como a las personas.

2.2.5.2.8 Estabilización con polímero

La palabra polímero se usa para una gran variedad de productos ofrecidos a la industria de construcción de carreteras. Algunos productos de “polímeros” tienen la misma fórmula que los jabones en polvo. Algunos simplemente lubrican el suelo para ayudar a lograr la máxima densidad cuando se compacta el suelo tratado. Ellos no tienen propiedades vinculantes del todo. Muchos de estos polímeros requieren gran contenido de arcilla y cuentan con una capa a ser tratada que tiene arcilla para proporcionar las propiedades vinculantes requeridas para una base de carreteras exitosa. Estabilización de suelos y control de polvo es una forma única de polímero entrelazados de estireno acrílico, basada en agua, económicamente efectiva, amigable al ambiente. (7)

Los polímeros se caracterizan por tener una resistencia mecánica eficiente, los polímeros se distinguen de los demás materiales son sus propiedades mecánicas.

Con polímeros se logra mejorar la estabilización ya que aumenta su resistencia y capacidad de carga, esto se debe porque cada partícula es cubierta con el polímero, luego se entrelaza por la fórmula única de polímeros entrelazados al ser compactados formando una masa semi-rígida, flexible, resistente al agua y con capacidad de carga.

2.2.5.2.9 Estabilización con aditivo PROES

Este procedimiento se refiere a la construcción de bases tratadas químicamente usando el Aditivo Líquido Proes100 y la Tecnología PROES®, ubicadas sobre la subrasante o mejoramiento de suelos y destinadas a formar parte de la estructura de un pavimento indicado en proyecto de ingeniería. (19)

La estabilización con Tecnología PROES©, consiste en el mejoramiento estructural de las propiedades del suelo natural. Luego del análisis de suelos e informe de dosificación, la estabilización se realiza agregando al suelo las dosis estudiada de un aditivo sólido y un aditivo líquido PROES100© diluido en el agua de amasado, logrando una mezcla homogénea, y compactando a lo menos a un 95% de la D.M.C.S. El espesor de la base y la dosificación de los aditivos quedan definido por el diseño de ingeniería y especificado en la oferta de PROES©. (11)

2.2.5.2.9.1 Especificaciones técnicas

En general todos los suelos pueden ser estabilizados químicamente con la tecnología Proes, lo que se necesita hacer, es un estudio de dosificación, determinando previamente las características físicas, composición mineralógica, PH15 y comportamiento mecánico del material sin tratar. Posteriormente se estudia una dosificación que depende de los índices iniciales y de la estructura que se desea obtener (ejemplo CBR final).

La empresa distribuidora del producto en el Perú Proestech Perú R a menudo caracteriza a los distintos tipos de suelos genéricos que se pueden encontrar en el país de la siguiente manera:

Proceso Dosificación PROES

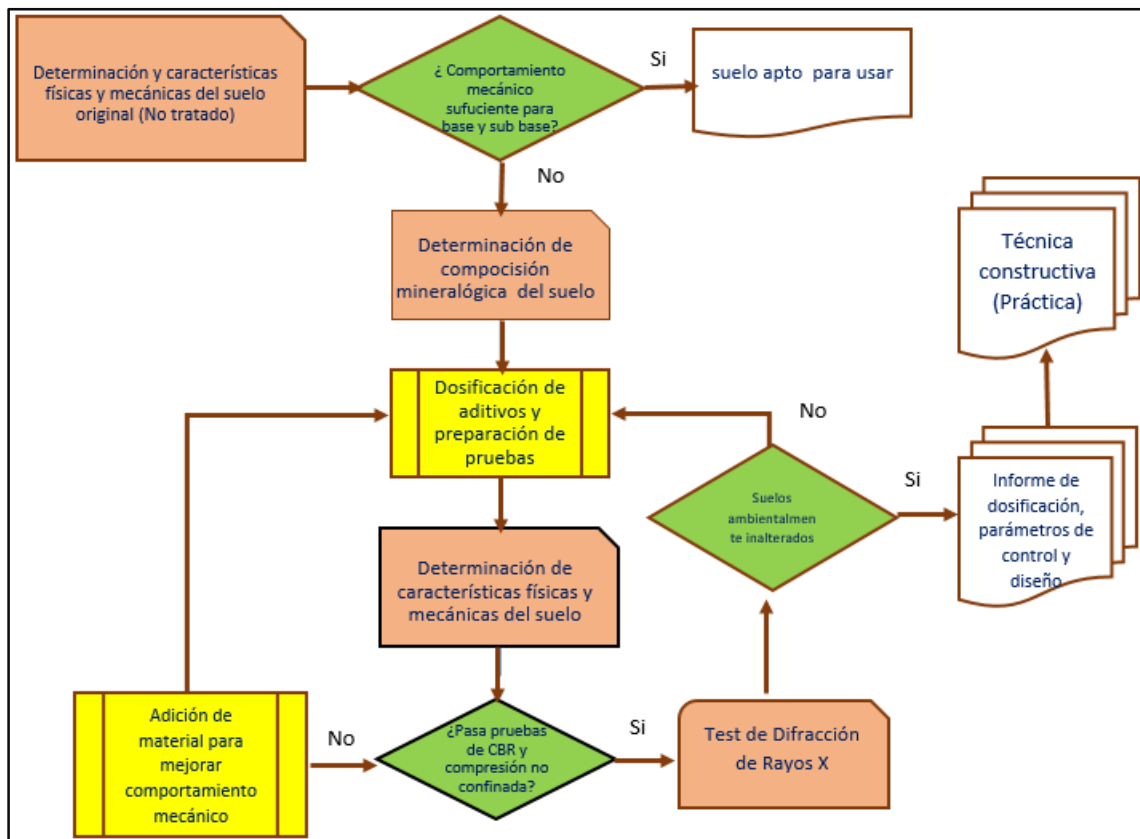


Figura 1. Esquema del Proceso de dosificación de una base con tecnología Proes

Fuente: Proestech Perú®

2.2.5.2.9.1.1 Descripción General.

Este procedimiento se refiere a la construcción de bases tratadas químicamente usando el Aditivo Líquido Proes100 y la Tecnología PROES®, ubicadas sobre la subrasante o mejoramiento de suelos y destinadas a formar parte de la estructura de un pavimento indicado en proyecto de ingeniería. (25)

La estabilización con Tecnología PROES®, consiste en el mejoramiento estructural de las propiedades del suelo natural. Luego del análisis de suelos e informe de dosificación, la estabilización se realiza agregando al suelo las dosis estudiada de un aditivo sólido y un aditivo líquido PROES100® diluido en el agua de amasado, logrando una mezcla homogénea, y compactando a lo menos a un 95% de la D.M.C.S. El espesor de la base y la dosificación de

los aditivos quedan definido por el diseño de ingeniería y especificado en la oferta de PROES©. (25)

La estabilización con Tecnología PROES© considera que será supervisada en terreno por personal técnico calificado para entregar soporte en el proceso de construcción. (25)

2.2.5.2.9.2.2 Materiales.

El suelo a estabilizar químicamente corresponderá al suelo existente en la rasante actual del camino o un material mezclado o preparado para este propósito, que debe contener partículas arcillosas ($IP > 0$) y que en términos generales tiene su mejor desempeño en suelos con las siguientes características:

Tamaño Máximo: 2"

Pasante Malla # 4 > 40%

Pasante Malla # 200 > 12%

Estas características pueden variar en función de los resultados que se requieran y la mineralogía de los materiales. (25)

Es posible estudiar otro tipo de suelos para ser estabilizados químicamente con Tecnología Proes, pero es necesario hacer nuevos estudios de dosificación para mejorar la capacidad estructural del suelo. Información Confidencial – EETT Proes100 - www.proestech.com – Prohibida su Reproducción Página 2 (25)

La dosificación de los aditivos sólido y líquido utilizados en la estabilización, así como los espesores, serán definidos en el proyecto de ingeniería, una vez conocidas las características específicas del material a estabilizar.

Si el suelo natural disponible no cumple con las características descritas, el diseño de ingeniería y la dosificación que complementa la oferta PROES© propondrá una combinación de dosificación y adición de materiales para lograr los resultados esperados. (25)

2.2.5.2.9.2.3 Equipos Necesarios.

Los equipos mínimos requeridos son:

- Motoniveladora (escarificado y acordonado, pre-mezclado suelo con aditivo sólido, mezclado de suelo con aditivo sólido y aditivo líquido, perfilado final).
- Camiones Cisterna o Aljibe (aplicación aditivo líquido y humectación de la base). Cantidad de camiones depende de distancia de transporte y volumen de agua.
- Rodillo Liso Vibratorio y/o Rodillo Pata de Cabra (compactación). (25)

Opcionalmente, se puede utilizar:

- Camión esparcidor de aditivo sólido (esparcir aditivo sólido).
- Recicladora o Pullver-Mixer con Camión Cisterna (aplicación aditivo líquido y mezclado de los aditivos sólido y líquido con el material).
- Retroexcavadora o Cargador frontal (Manipulación del aditivo sólido, transportado en el formato de maxi sacos)
- Camión $\frac{3}{4}$ con estanques plástico y presión por bomba. (25)

Los Rendimientos promedios están en el rango de 300-400 m³ por jornada de 8 horas. En el caso de utilizar recicladora se puede en el rango 900 a 1.500 m³ por jornada. (25)

2.2.5.2.9.2.4 Procedimiento de Trabajo.

2.2.5.2.9.2.4.1 Preparación de la Subrasante.

Este ítem quedará definido en el proyecto de ingeniería. La generalidad es que con motoniveladora se escarifique y/o ruta la superficie original de camino y que será aprovechada para la base. Este material se acordona y se procede a compactar la subrasante.

Antes de colocar el material de base y después de haber dado término al movimiento de tierras, la subrasante debe ser perfilada a las cotas y

pendientes indicadas en los planos del proyecto (Foto 1). La sobre excavación en que se incurra se absorberá con el material natural extraído de la excavación o con el material de base. Posteriormente se procederá a compactar el sello, según lo establezca el proyecto. (25)

2.2.5.2.9.2.4.2 Aplicación de Aditivos y Mezclado.

Terminada la preparación de la subrasante a satisfacción de la I.T.O., se realiza la estabilización química del suelo. Esta etapa está acompañada por personal técnico calificado de PROES©.

Con el equipo adecuado, como motoniveladora, camión esparcidor y/o pullver mixer y camión cisterna, se procede a adicionar a un volumen establecido de material el Aditivo Sólido (Foto 3), que puede ser suministrado en bolsas o a granel, en la dosis especificada y se mezcla el suelo (con humedad natural) con el aditivo sólido y se extiende (Foto 4). Esta adición del aditivo sólido se puede realizar antes, siendo independiente la adición del aditivo líquido diluido en el agua de amasado.

Posteriormente a la adición del aditivo sólido, en un camión cisterna o estanque, se diluye el Aditivo Líquido PROES© (*) en un volumen máximo determinado por el diferencial entre la humedad óptima y la humedad natural del suelo (se debe contar con equipo para medir humedad natural del material, ya sea con Densímetro o Speedy), más el agua estimada por pérdidas por evaporación en la manipulación y tiempo de trabajo. El riego del suelo (Foto 5), su revoltura y extensión con motoniveladora se realizan simultáneamente (Foto 6). Es recomendable en caso de condiciones climáticas inestable, diluir el aditivo líquido en menos cantidad de agua, para asegurar el 100% de aplicación del aditivo líquido. Si falta agua, se adiciona después.

El mezclado de los aditivos debe ser homogéneo en toda la superficie, respetando el espesor de diseño y ejecutado en un tiempo tal, que permita lograr la compactación, para la cual se dispone de máximo 5,0 horas desde la adición del aditivo líquido PROES©, dadas por la reacción de endurecimiento de la mezcla.

Es posible utilizar otro equipo constructivo con recicladora o pullver-mixer (Foto 7), tal como se describe en el cap. 3 de este documento.

(*) Nota importante: El aditivo líquido PROES® debe ser agitado un par de minutos en su recipiente o estanque previo a la dilución en agua. (25)

2.2.5.2.9.2.4.3 Compactación.

El equipo adecuado para la compactación es el rodillo liso vibratorio (Foto 8) o rodillo pata de cabra (estática o dinámica). La cantidad de equipo será dada por el rendimiento del ítem anterior y el rendimiento de los equipos de compactación.

No deberán compactarse espesores sueltos superiores a 25 cm, siendo necesario hacer bases compactadas por capas cuando el espesor de diseño (compacto) sea superior. En casos de espesores reducidos (menor a 15 cm) hay que prestar especial cuidado en evitar la sobre compactación.

La compactación deberá ser igual o superior al 95% de la D.M.C.S.

2.2.5.2.9.2.4.4 Cuidado de la Estabilización.

Durante los cuatro días siguientes a la estabilización se debe cuidar que el suelo tratado no varíe su humedad (es decir que la base se mantenga húmeda), de tal forma que si se produce evaporación superficial del agua, deberá regarse.

Una opción de control de la evaporación es colocar un riego de liga con emulsión lenta diluida en agua, lo que puede realizarse 24 horas después de haber terminado las faenas de estabilización. No es necesario esperar los cuatro días para hacer la imprimación.

Para casos especiales como pérdida acelerada o exceso de humedad, reperfilado, curvas pronunciadas o bajas temperaturas se debe consultar las Especificaciones que maneja el Supervisor PROES®. (25)

2.2.5.2.9.2.4.5 Limitaciones Meteorológicas.

Para realizar faenas de estabilización es necesario que la temperatura ambiente sea superior a 10°C por al menos 4 horas del día durante el primer mes de curado.

La condición de temperatura anterior debe cumplirse para evitar el fenómeno de “latencia”, que es cuando la temperatura es menor a 8 °C, la reacción química se paraliza hasta que la temperatura supere los 10 ° C.

Se debe suspender la estabilización química cuando las condiciones climáticas predominantes en esa temporada se estimen como lluviosas y frías (temperaturas que no superan los 10°C y precipitaciones frecuentes). (25)

2.2.5.2.9.2.4.6 Carpeta de Rodado.

El sector a estabilizar puede ser transitado durante y después de la estabilización (Foto 9), a excepción de lo señalado en el caso 4.4. Derivado del exceso de humedad. Sin embargo la base estabilizada con PROES100© está diseñada primordialmente para agregar capacidad estructural al camino o plataforma y no como carpeta de rodado permanente, ya que la acción abrasiva del tráfico la desgasta.

Para proteger la base estabilizada y aumentar su vida útil se requiere sellar la base con algún tratamiento asfáltico u otro que determine el fabricante. La base PROES© es una base ligada, impermeable, cohesiva, flexible y con un Módulo Elástico entre 230 y 2.000 MPa según dosificación. Estas características permiten que la carpeta de rodado sea diseñada exclusivamente para resolver el tema de la abrasión y no para agregar capacidad estructural al pavimento.

Dependiendo del tráfico, clima, estándar requerido y otras condiciones de operatividad, se pueden usar carpetas de rodado desde una imprimación asfáltica reforzada con emulsiones, un slurry seal (Foto 10) o una mezcla de asfalto en caliente de espesor bajo que será determinado por diseño (Foto

Información Confidencial – EETT Proes100 - www.proestech.com – Prohibida su Reproducción Página 5 (25)

Las especificaciones de materiales y métodos de aplicación son los estándar de cada carpeta de rodado, con la sola excepción del proceso de imprimación que para el caso particular de esta Tecnología corresponde a un “riego de liga” y para el que se deberá utilizar emulsiones asfálticas de quiebre lento del tipo CSS-1h diluidas entre 1:3 y 1:6 en agua, en una tasa de 0,7 a 1,0 lt/m² (de solución). Tanto la dilución como la tasa deben ser verificadas en terreno por supervisión.

Para el caso de una imprimación reforzada, recomendable en caso de clima inestable y lluvias, posterior al riego de liga especificado en párrafo anterior, se realiza un segundo riego de CSS-1h diluido en agua (1:1) a una tasa de 0,8 a 1,0 lt/m² (de solución), más esparcido de arena inmediatamente después del segundo riego de liga. Se entrega posteriormente al tránsito. (25)

2.2.5.2.9.2.4.7 Partidas del Presupuesto y Bases de Medición.

La partida incluye la provisión y suministro de todos los materiales y aditivos, equipos y mano de obra necesarios para la confección, colocación, compactación, terminación y mantención de bases estabilizadas químicamente con Tecnología PROES®.

Base Estabilizada Químicamente con PROES100®.

Se medirá por metro cúbico (m³) de base estabilizada de capacidad de soporte mayor a CBR o Resistencia a Compresión especificado en el proyecto de ingeniería (por ejemplo Resistencia a la Compresión mayor a 2,8 MPa), de acuerdo a las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo requeridos por el Proyecto y aprobados por la I.T.O. (25)

2.2.5.2.9.2.4.8 Control de Calidad.

Si bien la función del Supervisor no es realizar controles de calidad, ya que esta función corresponde a los Laboratorios de Autocontrol y/o Inspección

Técnica, el Supervisor podrá solicitar la realización de los siguientes controles previo, durante, para recepción y posterior a la ejecución de las Obras: (25)

2.2.5.2.9.2.4.8.1 Previo al inicio de la estabilización.

Antes del inicio de las faenas de estabilización química, el Supervisor de Proes deberá solicitar al Laboratorio de Autocontrol y/o Inspección Técnica los análisis de los materiales a estabilizar. Estos análisis deberían realizarse cada vez que visiblemente el material a estabilizar cambie. Se deberá individualizar el sector de donde se toma la muestra de suelo e indicar a qué tramo representa. Los ensayos mínimos requeridos son:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Proctor Modificado
- Capacidad de Soporte CBR (de modo ocasional si en las especificaciones de proyecto se indica).
- Ocasionalmente se podrá solicitar ensaye de Límites de Atterberg y de Difracción de Rayos X a material bajo mala # 200. (25)

2.2.5.2.9.2.4.8.2 Durante el proceso de estabilización.

Durante el proceso de estabilización deberán realizarse ensayos de capacidad de soporte CBR y Estabilidad Marshall. Se recomienda que la cantidad mínima de ensayos a realizar sea uno cada 3.000 m² de superficie estabilizada. Se deberá individualizar el sector de donde se toma la muestra de suelo. La muestra de suelo a ensayar deberá ser tomada una vez que el aditivo sólido haya sido incorporado y homogéneamente revuelto con el suelo a estabilizar (esto debería ser cuando el suelo ha sido revuelto y extendido y está listo para recibir el aditivo líquido) y el aditivo líquido será incorporado en Laboratorio. Los ensayos mínimos requeridos son:

- Control de Compactación
- Capacidad de Soporte CBR. (Expansión)
- Estabilidad Marshall (25)

2.2.5.2.9.2.4.8.3 Nuevas dosificaciones.

Durante la ejecución de grandes obras, se recomienda estar continuamente haciendo nuevos estudios de dosificación, con objeto de lograr dosificaciones más eficientes, considerando los materiales locales, subrasante y el aditivo sólido disponible. Lo anterior en el marco de estabilizaciones que cumplan con las estructuras especificadas en el proyecto. (25)

2.2.5.2.9.2.4.8.4 Para recepción de la estabilización.

Inmediatamente terminada la compactación de las bases estabilizadas, para recepcionarlas, se deberán realizar controles de la compactación alcanzada por las mismas. Los sectores donde se realiza el control de densidades deben individualizarse y se recomienda que la cantidad mínima de ensayos a realizar sea uno cada 400 m² de superficie estabilizada. (25)

2.2.5.2.9.2.4.8.5 Finalizado el proceso de estabilización.

Después de 7 días de estabilizado el suelo, el Supervisor podrá solicitar al Laboratorio de Autocontrol y/o Inspección ensayos con penetrómetro dinámico de cono portátil (PDCCP). Se recomienda que la cantidad mínima de ensayos a realizar sea uno cada 700 m² de superficie estabilizada.

Adicionalmente, pasado 21 días de la estabilización, el Supervisor deberá informar al Administrador del Proyecto Proes, para que éste programe control de las bases estabilizadas por medio de deflectometría de impacto (LWD o FWD). Estos ensayos deben ser realizados también por el laboratorio de la obra. (25)

2.2.5.2.10 Ensayo CBR

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) suele emplearse en carreteras y aeropuertos para la caracterización mecánica de los suelos por ser un ensayo sencillo para ser realizado in situ o en laboratorio. Es, posiblemente, el ensayo más utilizado en todo el mundo para estimar la capacidad de soporte de una explanada, factor básico para el dimensionamiento de los firmes. (12)

El ensayo CBR es un ensayo de penetración o punzonamiento y además se mide el hinchamiento del suelo al sumergirlo durante 4 días en agua. En Perú se sigue la norma técnica NTP 339.145.

Se compacta una muestra de suelo, con la humedad y energía de compactación deseada, en un molde cilíndrico de 152,4 mm de diámetro interior y 177,8 mm de altura, provisto con un collar supletorio y una base perforada. Esta muestra se sumerge en agua durante 4 días con una sobrecarga que ocasiona una compresión equivalente a la del futuro firme sobre la explanada, midiéndose el hinchamiento vertical, que se expresa en porcentaje de la altura de la muestra. (12)

La muestra se ensaya a penetración mediante una prensa y un pistón cilíndrico, que se desplaza a velocidad uniforme. El Índice resistente CBR se define como la razón, en porcentaje, entre la presión necesaria para que el pistón penetre en el suelo hasta una profundidad determinada y la correspondiente a esa misma penetración en una muestra patrón de grava machacada. Se obtiene este índice para dos penetraciones, de 2,54 y 5,08 mm, tomándose como índice CBR el mayor valor. (12)

El suelo utilizado en el ensayo no puede contener más de un 10% de partículas retenidas por el tamiz 20, pudiéndose sustituir hasta un 30% por una proporción igual de material comprendido entre los tamices 5 y 20. La inmersión puede afectar, en algunos suelos, a la evaluación de la resistencia a esfuerzo cortante, siendo esta en algunos casos demasiado pesimista. Este ensayo no está concebido para suelos granulares y los valores superiores a 20 tienen solamente una significación cualitativa. (12)

Tabla 3. Categoría de la subrasante según su CBR

Nombre	Subrasante	CBR
S0	Muy Pobre	<3%
S1	Pobre	3% - 5%
S2	Regular	6% - 10%
S3	Buena	11% - 19%
S4	Muy Buena	>20%

Fuente autores: Elaboración Propia.

Fuente de Origen: Ministerio de transportes y comunicaciones.

2.2.5.2.11 Ensayo de Proctor Modificado.

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno. Históricamente, el primer método, respecto a la técnica que se utiliza actualmente, es el debido R.R. Proctor y que es conocido como Prueba Proctor estándar. El más empleado, actualmente, es la denominada prueba Proctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitudes que las modernas estructuras imponen al suelo. También para algunas condiciones se utiliza el que se conoce como Proctor de 15 golpes. (24)

El objetivo es conseguir la máxima compacidad de un suelo o capa granular con una energía de compactación determinada, con el fin de evitar asentamientos una vez puesta en servicio la obra. (24)

El objeto del ensayo es determinar, en un suelo o capa granular, la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación de 2700 KN-m³/m³, y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, que se puede conseguir con ese suelo en el laboratorio. (24)

El agua que se utiliza en la compactación funciona como lubricante, disminuyendo la fricción entre las partículas y permitiendo una mayor compactación con una menor energía. (24)

Para obtener la densidad máxima de un suelo será necesario obtener 5 puntos (densidad / humedad); 3 de ellos se deben encontrar en la rama ascendente y los 2 restantes en la rama descendente. (24)

El método está basado en la determinación de las densidades secas de varias probetas, compactadas en idénticas condiciones pero con contenidos de humedad diferentes. Para cada contenido de humedad se alcanza una determinada densidad, de manera que estos pares de valores, representados en coordenadas cartesianas, definen la relación buscada. (24)

2.2.5.2.11.1 Uso.

El suelo colocado como terraplén de la ingeniería (terraplenes, cojines de la fundación, bases del camino) se condensa a un estado denso para obtener características satisfactorias de la ingeniería tales como fuerza de esqueleto, compresibilidad, o permeabilidad. Además, los suelos de la fundación se condensan a menudo para mejorar sus características de la ingeniería. Las pruebas de la compactación del laboratorio proporcionan la base para determinar la compactación de los por ciento y moldear el contenido en agua necesitado para alcanzar las características requeridas el dirigir, y para la construcción que controla para asegurar que la compactación requerida y los contenidos en agua están alcanzados. (24)

El grado de compactación de suelo requerido para alcanzar las características deseadas el dirigir se especifica a menudo como porcentaje del peso seco máximo modificado como resuelto usando este método de la prueba. Si el grado requerido de compactación es substancialmente menos que el peso seco máximo modificado usando este método de la prueba, puede ser practicable para que la prueba sea realizada usando el método D698 de la prueba y especificar el grado de compactación como porcentaje del peso seco máximo estándar. Puesto que más energía se solicita la compactación usando este método de la prueba, las partículas del suelo se emban más de

cerca que cuando se utiliza D698. El resultado total general es un peso seco máximo más alto, un contenido de agua óptimo más bajo, una mayor fuerza de esquiileo, una mayor tiesura, una compresibilidad más baja, vacíos más bajos del aire, y una permeabilidad disminuida. Sin embargo, porque los suelos de grano fino altamente condensados, absorción del agua puede dar lugar a la hinchazón, con fuerza de esquiileo reducida y la compresibilidad creciente, reduciendo las ventajas del esfuerzo creciente usado para la compactación (2). El uso de D698, por otra parte, permite la compactación usando menos esfuerzo y generalmente en un contenido de agua óptimo más alto. El suelo condensado puede ser menos frágil, más flexible, más permeable, y menos conforme a efectos de la hinchazón y de contraerse. En muchos usos, el edificio o los códigos de la construcción pueden dirigir qué método de la prueba, D698 o éste, debe ser utilizado cuando al especificar la comparación de la prueba de laboratorio resulta el grado de compactación del suelo sobre el terreno en el campo. (24)

Durante diseño de un terraplén dirigido, la prueba realizada para determinar esquiileo, la consolidación, la permeabilidad, u otras características requiere especímenes de la prueba ser preparada condensando el suelo en un contenido en agua prescrito el moldear para obtener un peso de unidad predeterminado. Es práctica común a primero determina el contenido en agua óptimo y el peso seco máximo por medio de una prueba de la compactación. Los especímenes de la prueba se condensan en un contenido en agua seleccionado el moldear (w), mojado o seco del grado óptimo o en el grado óptimo y en un peso seco seleccionado relacionado con un porcentaje del peso seco máximo. La selección del contenido en agua del moldeado (w), mojado o seco del grado óptimo o en el grado óptimo y el peso seco se puede basar en experiencia previa, o de una gama de valores se puede investigar para determinar los por ciento necesarios de compactación. (24)

2.2.5.2.11.2 Herramientas y equipos.

- Zaranda.-Con la finalidad de obtener una muestra de buena representatividad se utiliza las zarandas cuya mallas son de diámetros de: 2",3/4",3/8", N°4. (24)
- HORNO.- El horno deberá estar debidamente calibrada y mantener una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ para secar la muestra en sus diferentes pasos del ensayo. (24)
- CAZUELA.- Bandeja que nos permite almacenar el material debe estar debidamente etiquetada e indicar su peso de 2500 gr. (24)
- BALANZA.- Equipo que nos permite medir la masa (en suelo "peso") de la muestra en los diferentes pasos del ensayo. estas pueden ser electrónicos o mecánicos pero con precisión de $\pm 0.01\text{gr}$. (24)
- RECIPIENTE.- Sirve para preparar la muestra del suelo incrementando agua para diferentes puntos del proctor modificado. (24)
- PISON.- La masa del pisón es de $454\pm 0.01\text{ kg}$. la cara golpeante del pisón debe ser plana y circular, el pisón debe caer libremente de $457.2\pm 1.6\text{ mm}$. (24)
- MOLDE: Un molde que tenga en promedio $4\pm 0.016\text{ pulg}$ de diámetro interior, altura de $4.584\pm 0.018\text{ pulg}$. y un volumen de $0.333\pm 0.0005\text{ pie}^3$. (24)
- REGLA: Regla metálica, rígida de una longitud conveniente no menor de 10 pulgadas. el borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso de $1/8\text{ pulg}$. (24)
- CUCHARON.- Nos sirve para mezclar la muestra y de colocar en partes la muestra en el molde de 4 pulg. (24)
- BADILEJO.- Sirve para poder modelar la muestra de suelo o mezclar la muestra. (24)
- ALICATE.- Nos sirve para ajustar y desajustar el molde. (24)
- GUANTES: Nos ayuda a proteger el suelo en contacto directo con las manos. (24)

2.3 Definición de Términos básicos.

AASHTO:	Norma para el cálculo y el diseño vial. Sistema de clasificación que está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.
ADITIVO:	Sustancia que se puede agregar o incorporar a otra cosa.
CBR:	Capacidad de Soporte de Suelos y Agregados Compactados en laboratorio.
CL:	Arcilla de baja Plasticidad
DOSIFICACIÓN:	Regulación de la cantidad o porciones de sustancias o materiales
ENSAYO:	Prueba que se hace para determinar si un elemento o material funciona o resulta como se desea.
GM:	Gravas con presencia de limos.
GP:	Grava pobremente graduada.
FIABILIDAD:	Probabilidad de buen funcionamiento de algo.
MDS:	Máxima densidad seca.
OCH:	Optimo Contenido de Humedad.
PRÓCTOR:	Prueba de laboratorio que sirve para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado.
PROES:	Nombre de aditivo empleado en la tesis, que hace referencia a su empresa.
SC:	Sistema de clasificación.
SUCS:	(Por sus siglas en inglés) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

I. Marco Metodológico

1.1. Tipo de Investigación

DISEÑO PRE-EXPERIMENTOS. Los Pre experimentos se llaman así porque su grado de control es mínimo. Uno de estos diseños es:

- a. Diseño de una Pre prueba y Post Prueba con un solo grupo (Pre Test y Post Test).

Su esquema es:

GE:	O_1	X	O_2
------------	-------	-----	-------

Donde:

- GE : Grupo Experimental
 O_1 : Pre-prueba (Pre Test o Medición)
 X : Experimento o tratamiento
 O_2 : Post-prueba (post Test o Medición)

La aplicación de este diseño significa realizar los siguientes pasos:

1. Efectuar una medición o prueba (diagnóstico) en la variable dependiente (VD) que interesa estudiar (pre test).
2. Realizar el experimento (X), se aplica la variable independiente a los sujetos de estudio.
3. Efectuar una nueva medición en la variable dependiente a los sujetos (post test).
4. Comparar los resultados, para analizar las diferencias y obtener conclusiones respecto al tratamiento o experimento realizado.

Una limitación de este diseño, es que no usa grupo de control (GC), lo que definitivamente no permite afirmar categóricamente si los cambios son producidos por el tratamiento.

1.1.1. Población y muestra

Población: Carreteras de tercer orden en la región Loreto.

Muestra: Carretera de acceso al Asentamiento Humano “El milagro” km 21 margen izquierdo carretera Iquitos – Nauta.

1.1.2. Técnicas, instrumentos, procedimientos de recolección de datos

- Técnicas de recolección de datos: Observación
- Instrumentos de recolección de datos: Guía de observación
- Procedimiento de recolección de datos: son los pasos que se siguen en la recolección de la información.

1.1.3. Procesamiento y análisis e interpretación de los datos

En el presente trabajo de investigación se usó software de procesamientos y hojas de cálculo, Excel, procesador de textos Word. Para realizar pruebas de Proctor Modificado y determinar el CBR de carga se utilizaron los ensayos clásicos y los moldes normalizados de laboratorio.

El análisis e interpretación de los datos se realizó empleando la estadística descriptiva.

1.2. Hipótesis.

Los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES “mejoran sustancialmente”, la estabilización del suelo en la carretera de penetración al AA. HH el Milagro, 2016

1.3. Variable

1.3.1. Identificación y definición de variables

- Variable independiente (X_1) : Ensayos de fiabilidad con aditivos PROES
- Variable dependiente (Y_1) : La estabilización del suelo.

1.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 4. Operacionalización de las variables.

VARIABLE	INDICADOR	INDICES	
DEPENDIENTE	Suelo franco arcilloso	Pasante malla #200 >35%	
	Suelo arcilla arenoso	Pasante la mal #200 >12%	
	Proctor (suelo natural)	>95%	
	CBR (suelo natural)	14%<CBR<44%	
INDEPENDIENTE	CBR (suelo con cemento y aditivo)	45%<CBR<105%	
	Pruebas de laboratorio (prueba de carga)	Categoría de la subrasante según su CBR	
Nombre		Subrasante	CBR
S0		Muy Pobre	<3%
S1		Pobre	3% - 5%
S2		Regular	6% - 10%
S3		Buena	11% - 19%
S4	Muy Buena	>20%	

II. Resultados

2.1. Resultados

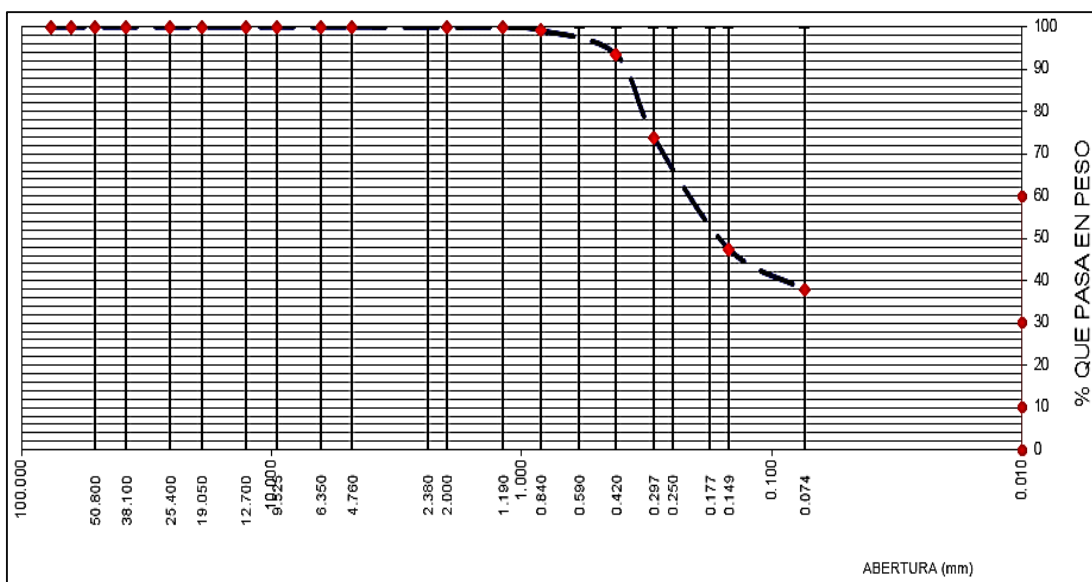
Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, obtuvimos los siguientes resultados:

2.1.1. Muestra de suelo A-4 (1)

Tabla 5. Clasificación de suelos A-4(1)

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : SM
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-4 (1)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.13	0.07	0.07	99.93		
Nº20	0.840	1.43	0.78	0.85	99.15		
Nº40	0.420	10.41	5.65	6.49	93.51		
Nº50	0.297	36.05	19.55	26.05	73.95		
Nº100	0.149	48.79	26.46	52.51	47.49		
Nº200	0.074	17.86	9.69	62.20	37.80		
Pasa Nº200		69.70	37.80				

Fuente: Los Autores



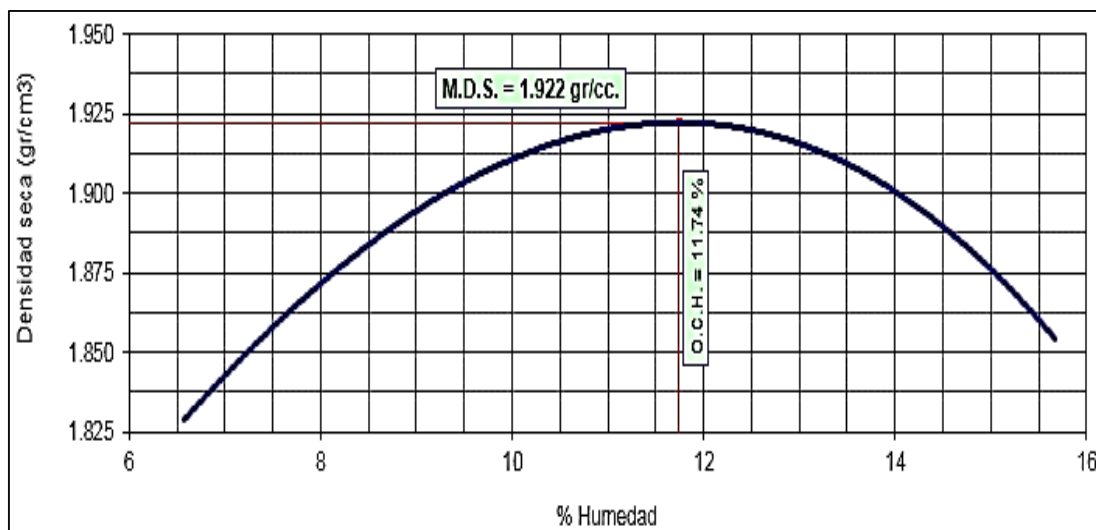
Gráfica 1. Curva Granulométrica A-4(1).

Fuente: Los Autores

Tabla 6. Compactación y humedad de Muestra A-4(1)

Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	1.922	gr/cm ³				
Ubicación	:	Carretera Iquitos - Nauta km 21 / trocha carrozable a El Milagro	O. C. H.	11.74	%				
Muestra	:	A-4(1)	Clas. SUCS	---					
Profundidad	:	Acopio - Mezcla	Clas. AASHTO	---					
Fecha de ensayo	:	12/08/2016							
Fecha de muestreo	:	01/08/2016							
1.- Compactación									
Prueba N°		1	2	3	4				
Numero de capas		5	5	5	5				
Numero de golpes		25	25	25	25				
Peso suelo + molde (gr.)		5964	6096	6166	6148				
Peso molde (gr.)		4134	4134	4134	4134				
Volumen del molde (cm ³)		939	939	939	939				
Peso suelo compactado (gr.)		1830	1962	2032	2014				
Densidad húmeda (gr/cm ³)		1.949	2.089	2.164	2.145				
2.- Humedad (%)									
N° Recipiente		1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)		160.63	184.79	166.98	166.94	134.28	125.84	135.59	141.24
Recipiente + suelo seco (gr.)		153.00	176.56	155.21	157.08	125.37	116.74	122.53	127.77
Peso de recipiente (gr.)		38.51	49.66	39.80	48.62	53.33	49.14	41.35	39.45
Peso de agua (gr.)		7.63	8.23	11.77	9.86	8.91	9.10	13.06	13.47
Peso de suelo seco (gr.)		114.49	126.90	115.41	108.46	72.04	67.60	81.18	88.32
Humedad (%)		6.66	6.49	10.20	9.09	12.37	13.46	16.09	15.25
Promedio Humedad (%)		6.57		9.64		12.91		15.67	
Densidad Seca (gr/cm ³)		1.829		1.906		1.916		1.854	

Fuente: Los Autores



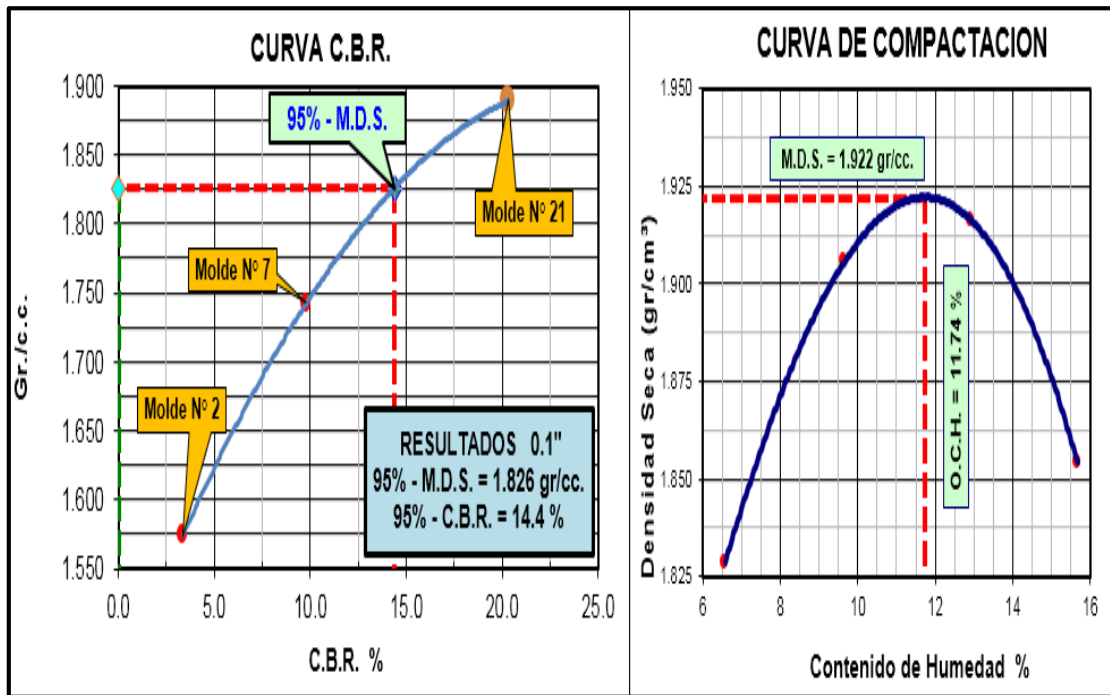
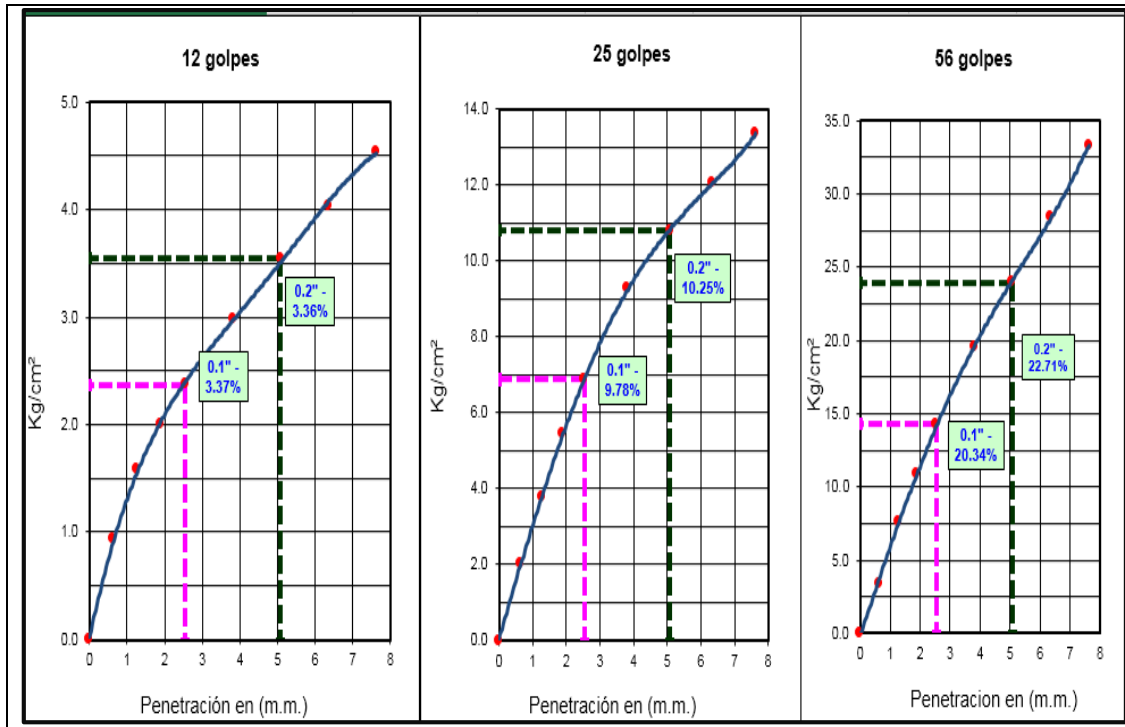
Gráfica 2. Curva de compactación A-4(1)

Fuente: Los Autores

Tabla 7. CBR Muestra A-4(1)

Datos de campo:								
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.922	gr/cm ³		
Muestra	:	A-4(1)	O. C. H.	:	11.74	%		
			Clas. SUCS	:	---			
			Clas. AASHTO	:	---			
Profundidad	:	Acopio - Mezcla						
Fecha de ensayo	:	12/08/2016						
Fecha de muestreo	:	01/08/2016						
Molde	Nº	2	7	21				
Capas	Nº	5	5	5				
Golpes por capa	Nº	12	25	56				
Condición de muestra		Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12660	13085	13345	13331	13552	13785	
Peso del molde	Gr.	8505	8505	8798	8798	8629	8629	
Volumen del suelo	c.c.	2372	2372	2341	2341	2341	2341	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4155	4580	4547	4593	4923	5156	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.752	1.931	1.942	1.962	2.103	2.203	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	143.13	95.28	140.63	135.90	125.61	120.98	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	134.01	84.74	130.20	123.03	117.05	111.45	
Peso de la Recipiente	Gr.	52.97	47.71	39.45	55.97	41.46	37.36	
Peso del agua	Gr.	9.12	10.54	10.43	12.87	8.56	9.53	
Peso del suelo seco	Gr.	81.04	37.03	90.75	67.06	75.59	74.09	
Humedad	%	11.25	28.46	11.49	19.19	11.32	12.86	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.575	1.503	1.742	1.646	1.889	1.952	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
1 de agosto de 2016	10:12	0	0.170	0.00	0.176	0.00	0.171	0.00
2 de agosto de 2016	11:20	1	0.252	1.63	0.257	1.61	0.214	0.85
3 de agosto de 2016	12:32	2	0.253	0.02	0.259	0.04	0.216	0.04
4 de agosto de 2016	12:15	3	0.253	0.00	0.259	0.00	0.216	0.00
5 de agosto de 2016	12:05	4	0.253	0.00	0.259	0.00	0.216	0.00
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	
0.025	0.63	18.4	0.94	39.4	2.01	66.0	3.36	
0.050	1.27	31.0	1.58	74.4	3.79	148.8	7.57	
0.075	1.90	39.3	2.00	106.7	5.43	214.8	10.94	
0.100	2.54	46.5	2.37	135.1	6.88	280.8	14.30	
0.150	3.81	58.5	2.98	182.1	9.27	384.6	19.58	
0.200	5.08	69.7	3.55	212.3	10.81	470.4	23.95	
0.250	6.35	79.3	4.04	236.5	12.04	559.1	28.47	
0.300	7.62	88.9	4.53	262.2	13.35	653.6	33.28	
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm²				

Fuente: Los Autores

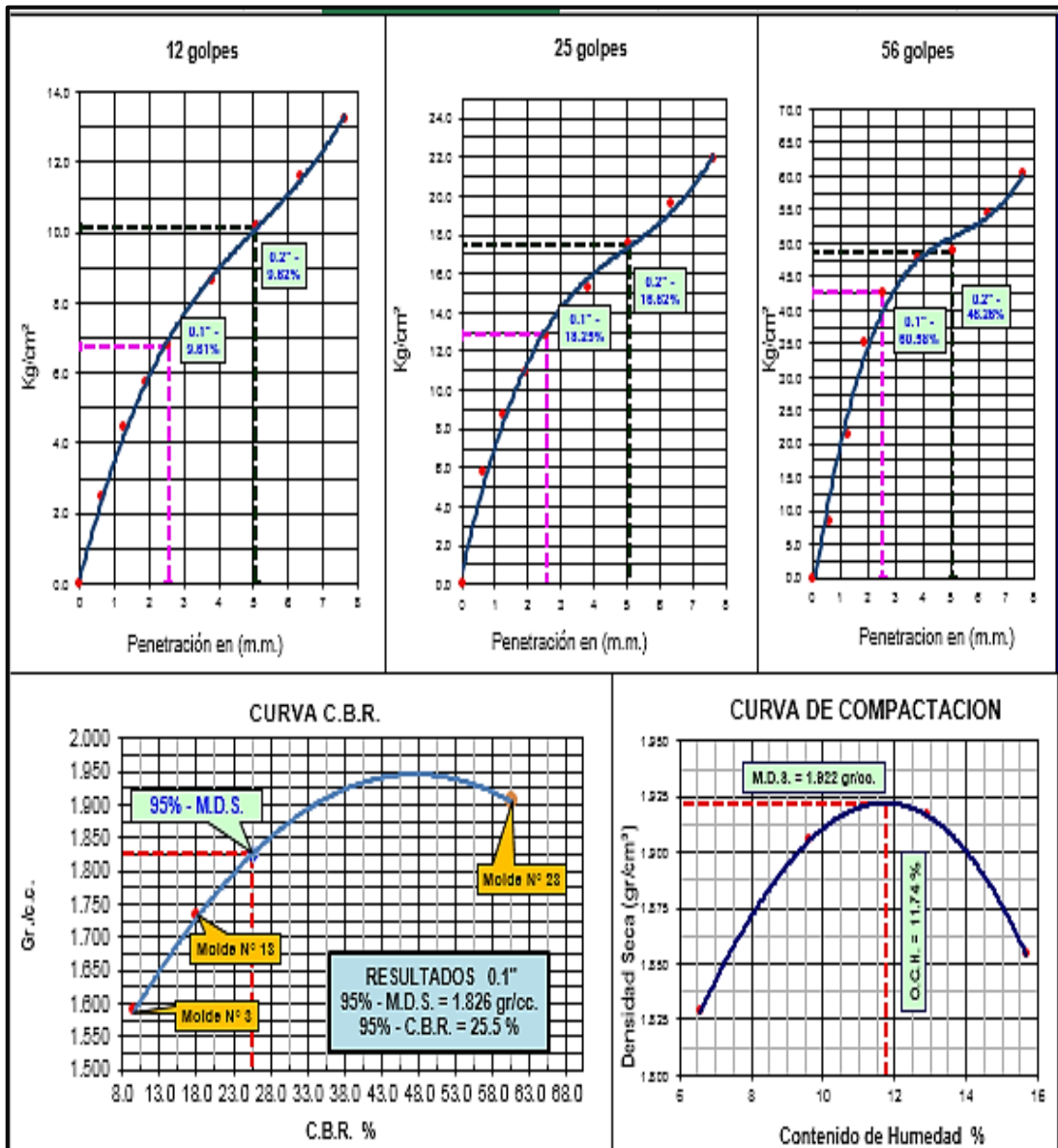


Gráfica 3. CBR Muestra A-4(1), Curva C.B.R y Curva de Compactación.
Fuente: Los Autores

Tabla 8. CBR Muestra A-4(1), 2% de cemento

Datos de campo:							
Canteras	:	Centro Polblado El Milagro	M. D. S.	:	1.922	gr/cm3	
Muestra	:	A-4(1), 2% cemento	O. C. H.	:	11.74	%	
Profundidad	:	Superficial	Clas. SUCS	:	---		
Fecha de ensayo	:	12/08/2016	Clas. AASHTO	:	---		
Fecha de muestreo	:	01/08/2016					
Molde	N°	3		13		23	
Capas	N°	5		5		5	
Golpes por capa	N°	12		25		56	
Condición de muestra			Mem. Optima	Seterada	Mem. Optima	Seterada	Mem. Optima
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12683	13170	13109	13481	13581	13781
Peso del molde	Gr.	8538	8538	8641	8641	8656	8656
Volúmen del suelo	c.c.	2356	2356	2332	2332	2341	2341
Peso del suelo húmedo	Gr.	4145	4632	4468	4840	4925	5125
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.759	1.966	1.916	2.076	2.104	2.189
HUMEDAD							
N° de Recipiente	N°	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	96.72	135.30	103.10	125.75	94.64	135.47
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	92.35	120.62	97.34	113.09	89.42	124.15
Peso de la Recipiente	Gr.	51.84	53.54	42.93	40.80	39.61	45.81
Peso del agua	Gr.	4.37	14.68	5.76	12.66	5.22	11.32
Peso del suelo seco	Gr.	40.51	67.08	54.41	72.29	49.81	78.34
Humedad	%	10.79	21.88	10.59	17.51	10.48	14.45
Densidad seca	Gr/c.c.	1.588	1.613	1.733	1.766	1.904	1.913
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)
12 de agosto de 2016	10:12	0	0.128	0.00	0.077	0.00	0.096
13 de agosto de 2016	11:20	1	0.128	0.00	0.077	0.00	0.096
14 de agosto de 2016	12:32	2	0.128	0.00	0.077	0.00	0.096
15 de agosto de 2016	12:15	3	0.128	0.00	0.077	0.00	0.096
16 de agosto de 2016	12:05	4	0.129	0.02	0.078	0.02	0.096
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	48.5	2.47	113.4	5.77	165.2	8.41
0.050	1.27	87.0	4.43	171.9	8.75	419.1	21.34
0.075	1.90	112.3	5.72	215.3	10.96	688.7	35.06
0.100	2.54	132.7	6.76	252.0	12.83	836.5	42.59
0.150	3.81	169.8	8.64	300.7	15.31	935.3	47.62
0.200	5.08	199.4	10.15	344.3	17.53	958.1	48.78
0.250	6.35	228.4	11.63	384.9	19.60	1070.4	54.50
0.300	7.62	259.9	13.23	430.2	21.90	1185.5	60.36
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

Fuente: Los Autores



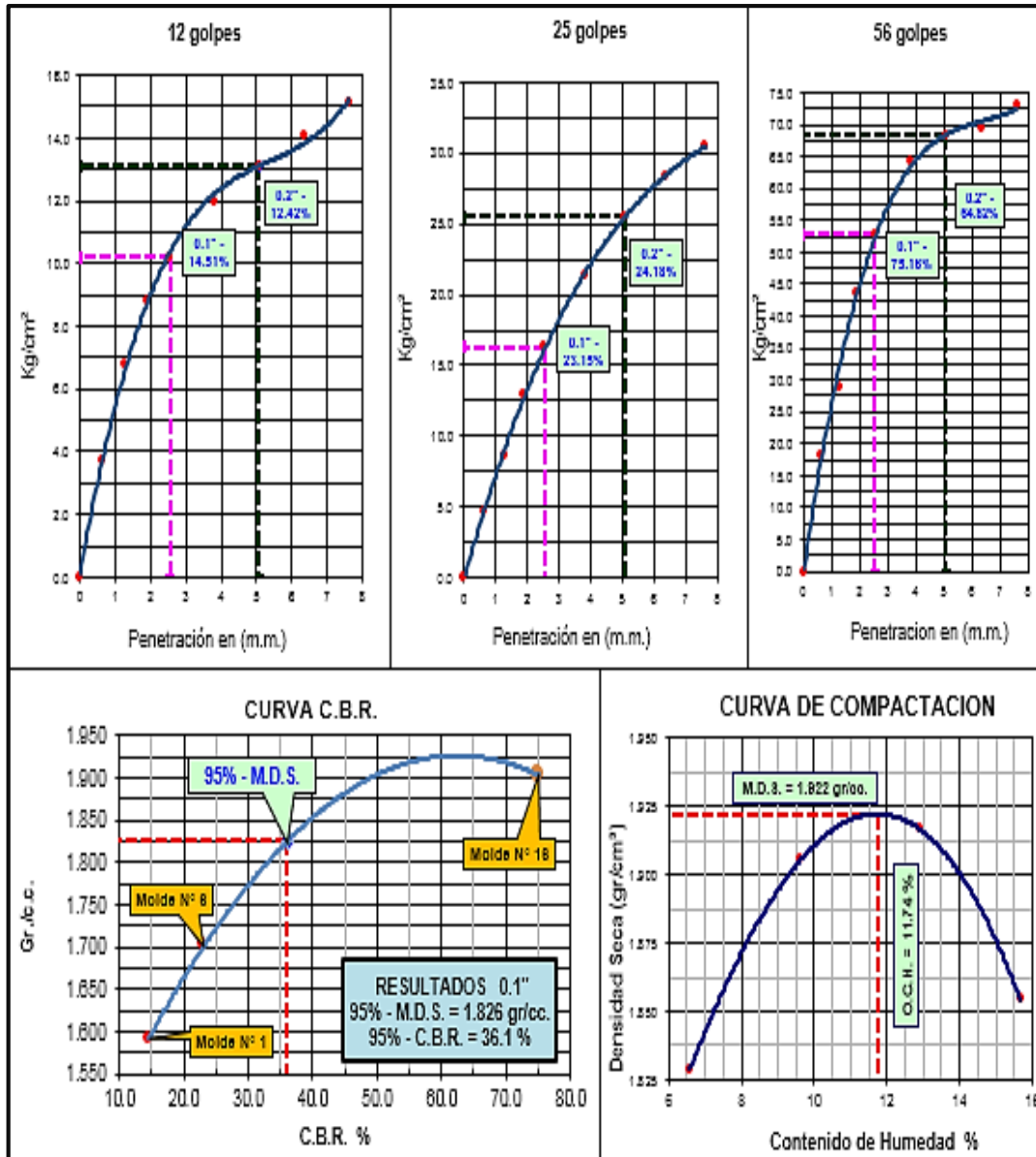
Gráfica 4. CBR Muestra A-4(1), 2% cemento

Fuente: Los Autores

Tabla 9. CBR Muestra A-4(1), 2% de cemento y 0.3 lt/m³ aditivo PROES (Sumergido).

Datos de campo:								
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.922	gr/cm ³		
Muestra	:	A-4(1) / 2% cemento, PROES	O. C. H.	:	11.74	%		
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion	Clas. SUCS	:	---			
Fecha de ensayo	:	12/08/2016	Clas. AASHTO	:	---			
Fecha de muestreo	:	01/08/2016						
Molde	N°	1		6		16		
Capas	N°	5		5		5		
Golpes por capa	N°	12		25		56		
Condición de muestra			Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima	Saturada	Hum. Optima	Saturada
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12696	13176	13140	13521	13582	13807	
Peso del molde	Gr.	8543	8543	8622	8622	8598	8598	
Volumen del suelo	c.c.	2341	2341	2372	2372	2341	2341	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4153	4633	4518	4899	4984	5209	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.774	1.979	1.905	2.066	2.129	2.225	
HUMEDAD								
N° de Recipiente	N°	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	99.40	120.92	82.14	154.17	101.90	147.77	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	93.17	106.52	77.59	138.21	96.65	135.71	
Peso de la Recipiente	Gr.	38.89	38.91	38.53	51.87	52.40	48.64	
Peso del agua	Gr.	6.23	14.40	4.55	15.96	5.25	12.06	
Peso del suelo seco	Gr.	54.28	67.61	38.06	86.34	44.25	87.07	
Humedad	%	11.48	21.30	11.95	18.49	11.86	13.85	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.592	1.632	1.702	1.743	1.903	1.955	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
1 de agosto de 2016	10:12	0	0.247	0.00	0.100	0.00	0.061	0.00
2 de agosto de 2016	11:20	1	0.342	1.89	0.167	1.33	0.105	0.87
3 de agosto de 2016	12:32	2	0.342	0.00	0.167	0.00	0.105	0.00
4 de agosto de 2016	12:15	3	0.342	0.00	0.167	0.00	0.105	0.00
5 de agosto de 2016	12:05	4	0.342	0.00	0.167	0.00	0.105	0.00
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	
0.025	0.63	73.4	3.74	91.3	4.65	355.3	18.09	
0.050	1.27	134.0	6.82	170.2	8.66	567.9	28.92	
0.075	1.90	173.6	8.84	255.4	13.01	856.1	43.59	
0.100	2.54	200.4	10.20	319.7	16.28	1037.8	52.84	
0.150	3.81	235.5	11.99	418.7	21.32	1262.6	64.29	
0.200	5.08	257.3	13.10	500.8	25.50	1342.5	68.36	
0.250	6.35	276.7	14.09	557.3	28.38	1363.7	69.43	
0.300	7.62	296.6	15.10	598.0	30.45	1434.0	73.02	
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm²		

Fuente: Los Autores

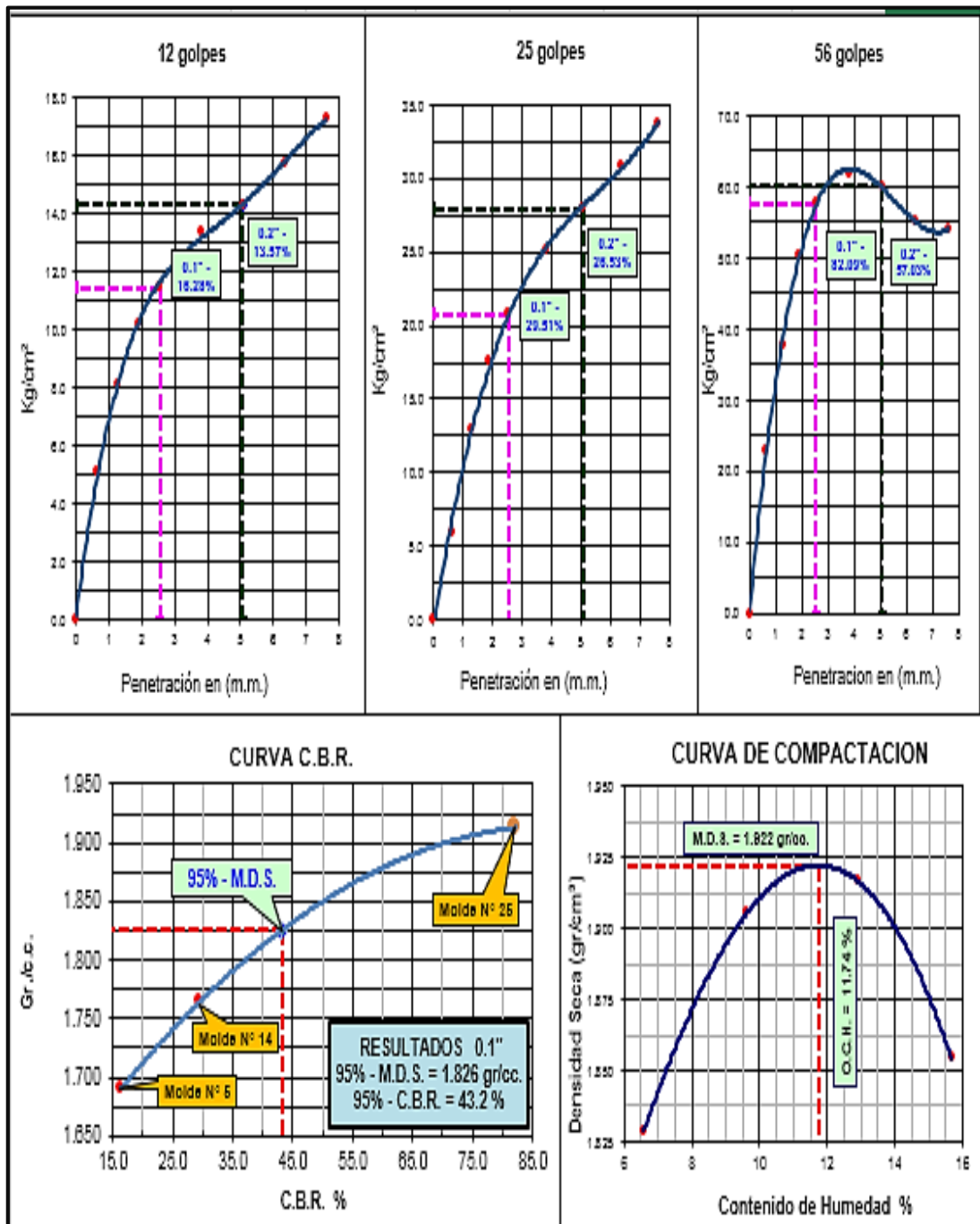


Gráfica 5. CBR Muestra A-4(1), 2% cemento y 0.3 lt/m³ (Sumergido)
 Fuente: Los Autores

Tabla 10. CBR Muestra A-4(1), 2% de cemento y 0.3 lt/m3 aditivo PROES (curado).

Datos de campo:								
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.922	gr/cm3		
Muestra	:	A-4(1) 2% cemento + 0.3lt./m3 de aditivo químico. PROES (MIDANM)	O. C. H.	:	11.74	%		
			Clas. SUCS	:	---			
			Clas. AASHTO	:	---			
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinación						
Fecha de ensayo	:	12/08/2016						
Fecha de muestreo	:	01/08/2016						
Molde	Nº	5	14	25				
Capas	Nº	5	5	5				
Golpes por capa	Nº	12	25	56				
Condición de muestra		Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12947	13385	13177	13491	13758	13985	
Peso del molde	Gr.	8508	8508	8578	8578	8750	8750	
Volúmen del suelo	c.c.	2356	2356	2341	2341	2356	2356	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4439	4877	4599	4913	5008	5235	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.884	2.070	1.965	2.099	2.125	2.222	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	110.01	126.36	90.32	132.99	88.95	137.49	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	103.78	112.17	85.97	120.12	84.00	124.71	
Peso de la Recipiente	Gr.	49.50	33.33	47.71	39.28	39.45	41.35	
Peso del agua	Gr.	6.23	14.19	4.35	12.87	4.95	12.78	
Peso del suelo seco	Gr.	54.28	72.64	38.26	80.84	44.55	83.36	
Humedad	%	11.48	19.48	11.37	15.92	11.11	15.33	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.690	1.732	1.764	1.811	1.913	1.926	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
12 de agosto de 2016	10:12	0	0.128	0.00	0.077	0.00	0.036	0.00
13 de agosto de 2016	11:20	1	0.128	0.00	0.077	0.00	0.036	0.00
14 de agosto de 2016	12:32	2	0.128	0.00	0.077	0.00	0.036	0.00
15 de agosto de 2016	12:15	3	0.128	0.00	0.077	0.00	0.036	0.00
16 de agosto de 2016	12:05	4	0.129	0.02	0.078	0.02	0.036	0.00
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	
0.025	0.63	99.8	5.08	115.4	5.88	449.2	22.87	
0.050	1.27	158.8	8.08	254.7	12.97	740.4	37.70	
0.075	1.90	200.7	10.22	345.1	17.57	985.7	50.19	
0.100	2.54	224.8	11.45	407.5	20.75	1133.6	57.72	
0.150	3.81	261.8	13.33	492.2	25.06	1214.6	61.84	
0.200	5.08	281.1	14.31	549.5	27.98	1181.2	60.14	
0.250	6.35	309.3	15.75	605.9	30.85	1083.8	55.18	
0.300	7.62	338.9	17.25	661.8	33.70	1060.3	53.99	
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2				

Fuente: Los Autores



Gráfica 6. CBR Muestra A-4(1), 2% cemento y 0.3 lt/m³ (curado)

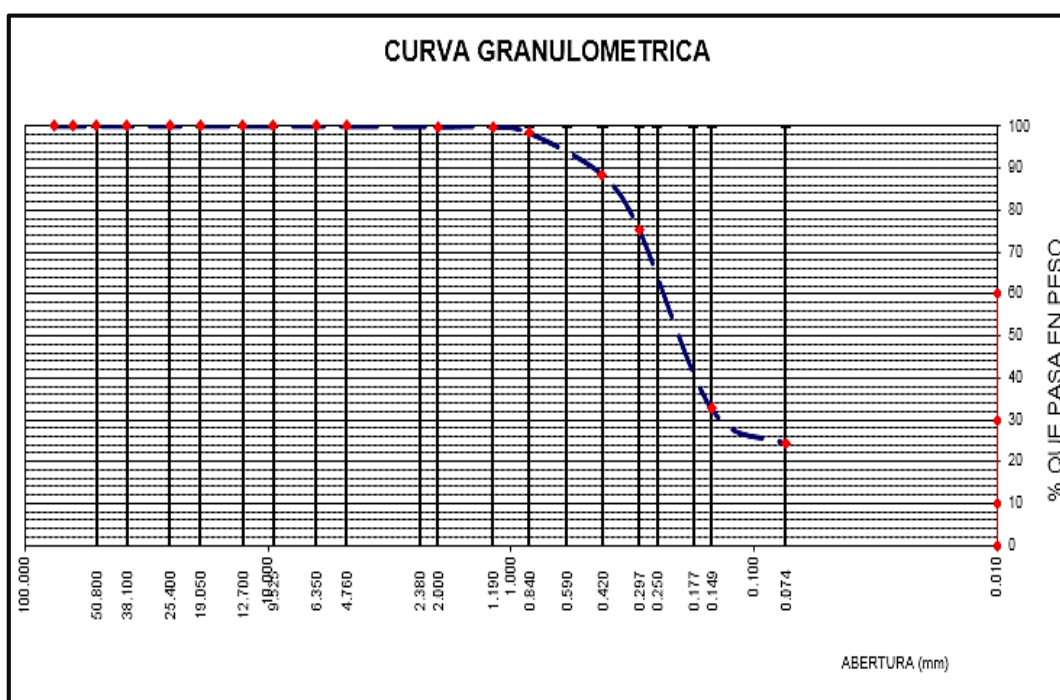
Fuente: Los Autores

2.1.2. Combinación Muestra de Suelo A-2-4(0) y A-7-5(9)

Tabla 11. Clasificación de suelos A-2-4(0) y A-7-5(9)

Datos de campo:							
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro					
Ubicación	:	Carretera Iquitos - Nauta km 21 / trocha carrozable a El Milagro					
Muestra	:	A-2-4(0) 85% / A-7-5(9) 15%					
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinación					
Fecha de ensayo	:	14/09/2016					
Fecha de muestreo	:	03/09/2016					
Peso de muestra seca	:	223.48					
Peso de muestra lavada	:	168.87					
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : SM
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-2-4 (0)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.26	0.12	0.12	99.88		
Nº20	0.840	3.42	1.53	1.65	98.35		
Nº40	0.420	22.24	9.95	11.60	88.40		
Nº50	0.297	29.22	13.07	24.67	75.33		
Nº100	0.149	95.47	42.72	67.39	32.61		
Nº200	0.074	18.26	8.17	75.56	24.44		
Pasa Nº200		54.61	24.44				

Fuente: Los Autores



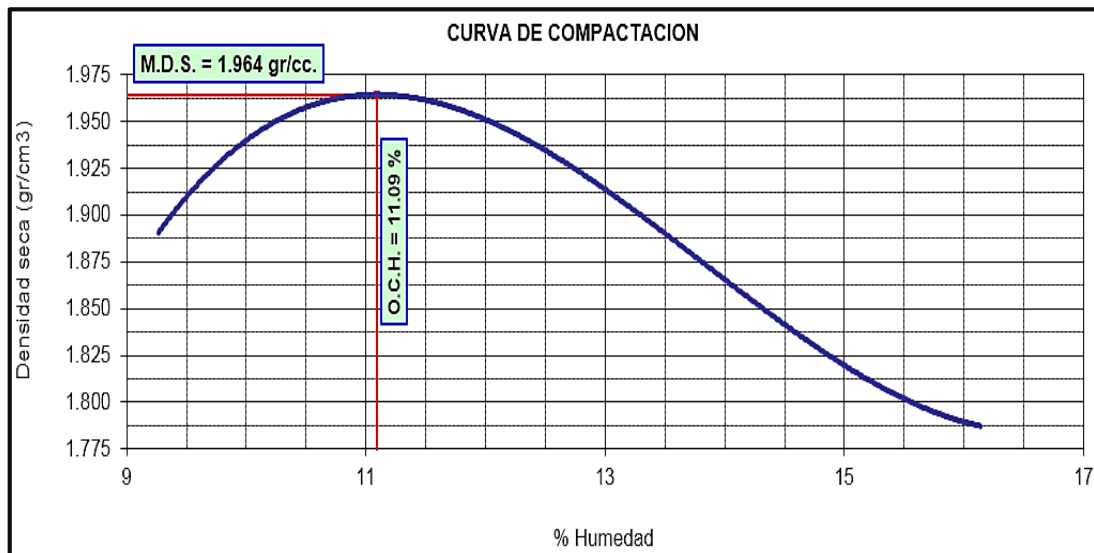
Gráfica 7. Curva Granulométrica A-2-4(0) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores

Tabla 12. Compactación y humedad de Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9)

Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	1.964	gr/cm ³				
Ubicación	:	Carretera Iquitos - Nauta km 21 / trocha car	O. C. H.	11.09	%				
Muestra	:	A-2-4(0) 85% / A-7-5(9) 15%	Clas. SUCS	---					
			Clas. AASHTO	---					
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion							
Fecha de ensayo	:	14/09/2016							
Fecha de muestreo	:	03/09/2016							
1.- Compactación									
Prueba N°		1	2	3	4				
Numero de capas		5	5	5	5				
Numero de golpes		25	25	25	25				
Peso suelo + molde (gr.)		6074	6188	6138	6083				
Peso molde (gr.)		4134	4134	4134	4134				
Volumen del molde (cm ³)		939	939	939	939				
Peso suelo compactado (gr.)		1940	2054	2004	1949				
Densidad humeda (gr/cm ³)		2.066	2.187	2.134	2.076				
2.- Humedad (%)									
N° Recipiente		1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)		121.79	107.44	100.80	106.56	93.97	108.50	120.54	105.58
Recipiente + suelo seco (gr.)		116.16	102.67	94.80	100.67	87.35	101.31	111.20	95.87
Peso de recipiente (gr.)		55.54	51.07	43.00	50.07	39.13	49.49	53.34	35.67
Peso de agua (gr.)		5.63	4.77	6.00	5.89	6.62	7.19	9.34	9.71
Peso de suelo seco (gr.)		60.62	51.60	51.80	50.60	48.22	51.82	57.86	60.20
Humedad (%)		9.29	9.24	11.58	11.64	13.73	13.87	16.14	16.13
Promedio Humedad (%)		9.27		11.61		13.80		16.14	
Densidad Seca (gr/cm ³)		1.891		1.960		1.875		1.787	

Fuente: Los Autores



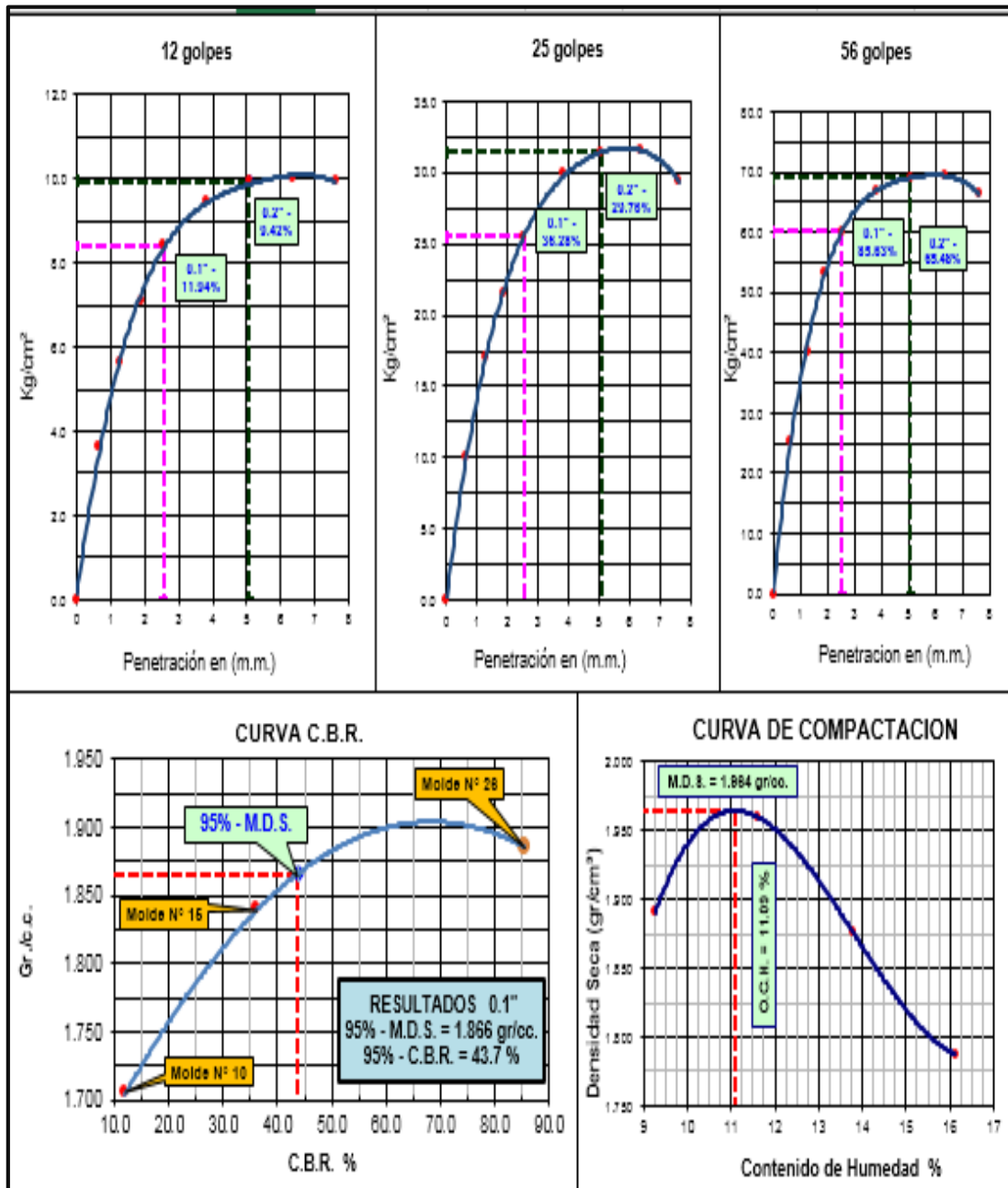
Gráfica 8. Curva de compactación A-2-4(0) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores

Tabla 13. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9)

Datos de campo:								
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.964	gr/cm ³		
Muestra	:	A-2-4(0) 85% / A-7-5(9) 15%	O. C. H.	:	11.09	%		
			Clas. SUCS	:	---			
			Clas. AASHTO	:	---			
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion						
Fecha de ensayo	:	14/09/2016						
Fecha de muestreo	:	03/09/2016						
Molde	Nº	10		15		26		
Capas	Nº	5		5		5		
Golpes por capa	Nº	12		25		56		
Condición de muestra		Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	13156	13388	13398	13547	13980	14016	
Peso del molde	Gr.	8712	8712	8596	8596	9066	9066	
Volúmen del suelo	c.c.	2332	2332	2341	2341	2341	2341	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4444	4676	4802	4951	4914	4950	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.906	2.005	2.051	2.115	2.099	2.115	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	94.24	89.62	84.19	80.60	62.51	64.68	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	88.51	85.04	80.91	76.54	59.99	61.78	
Peso de la Recipiente	Gr.	39.95	47.81	52.40	46.85	37.73	42.87	
Peso del agua	Gr.	5.73	4.58	3.28	4.06	2.52	2.90	
Peso del suelo seco	Gr.	48.56	87.23	28.51	29.69	22.26	18.91	
Humedad	%	11.80	12.30	11.50	13.67	11.32	15.34	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.705	1.786	1.840	1.861	1.886	1.833	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm²	Kg	kg/cm²	Kg	kg/cm²	
0.025	0.63	71.7	3.65	199.1	10.14	498.4	25.38	
0.050	1.27	110.9	5.65	334.4	17.02	790.9	40.27	
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetración m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm²	Kg	kg/cm²	Kg	kg/cm²	
0.025	0.63	71.7	3.65	199.1	10.14	498.4	25.38	
0.050	1.27	110.9	5.65	334.4	17.02	790.9	40.27	
0.075	1.90	138.9	7.07	421.6	21.47	1049.9	53.46	
0.100	2.54	164.9	8.40	501.0	25.51	1182.4	60.21	
0.150	3.81	185.4	9.44	587.5	29.91	1311.6	66.78	
0.200	5.08	195.0	9.93	616.5	31.39	1356.2	69.05	
0.250	6.35	196.4	10.00	618.6	31.50	1363.0	69.40	
0.300	7.62	195.0	9.93	578.0	29.43	1301.4	66.26	
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm²				

Fuente: Los Autores



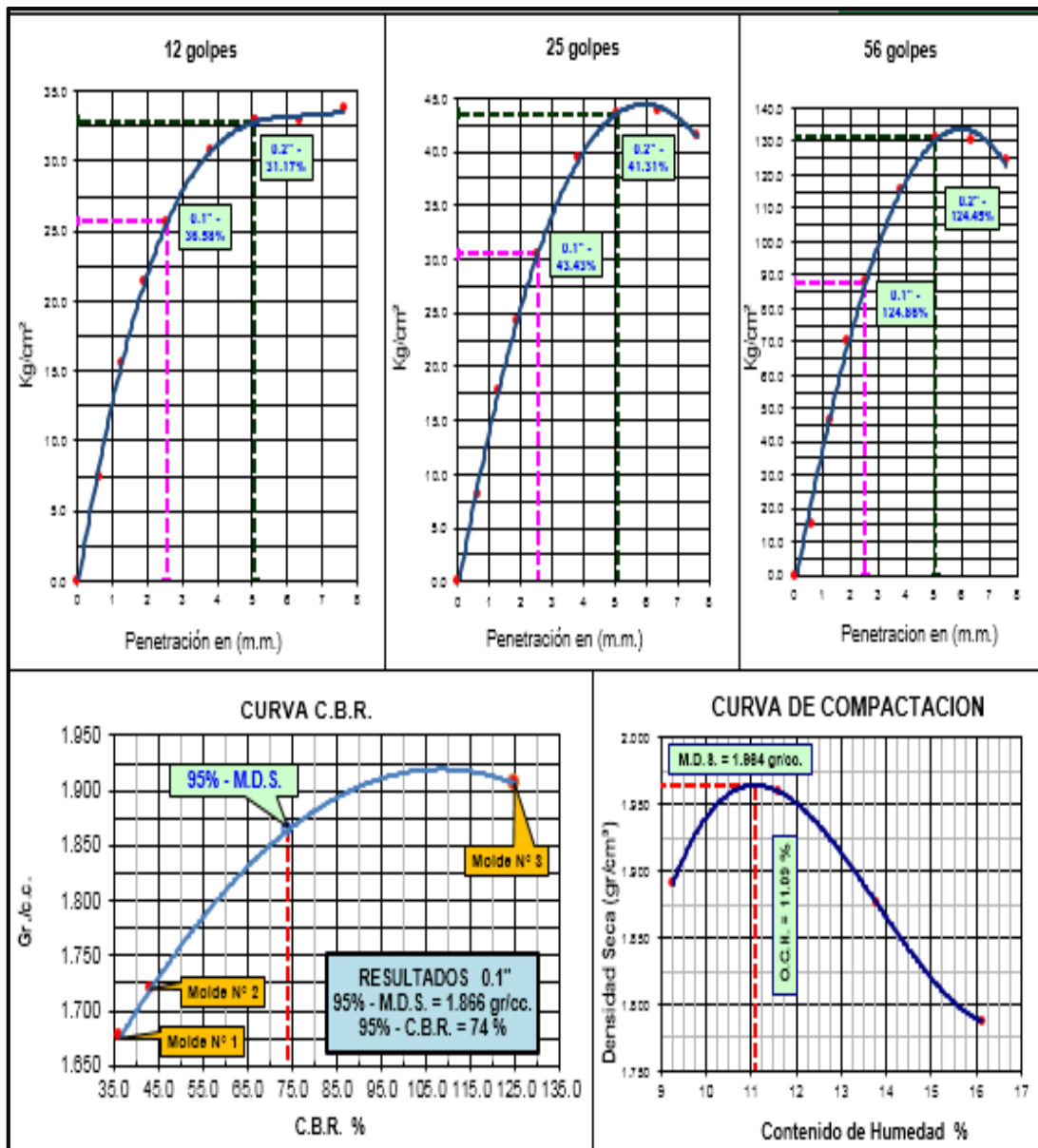
Gráfica 9. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores

Tabla 14- CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento

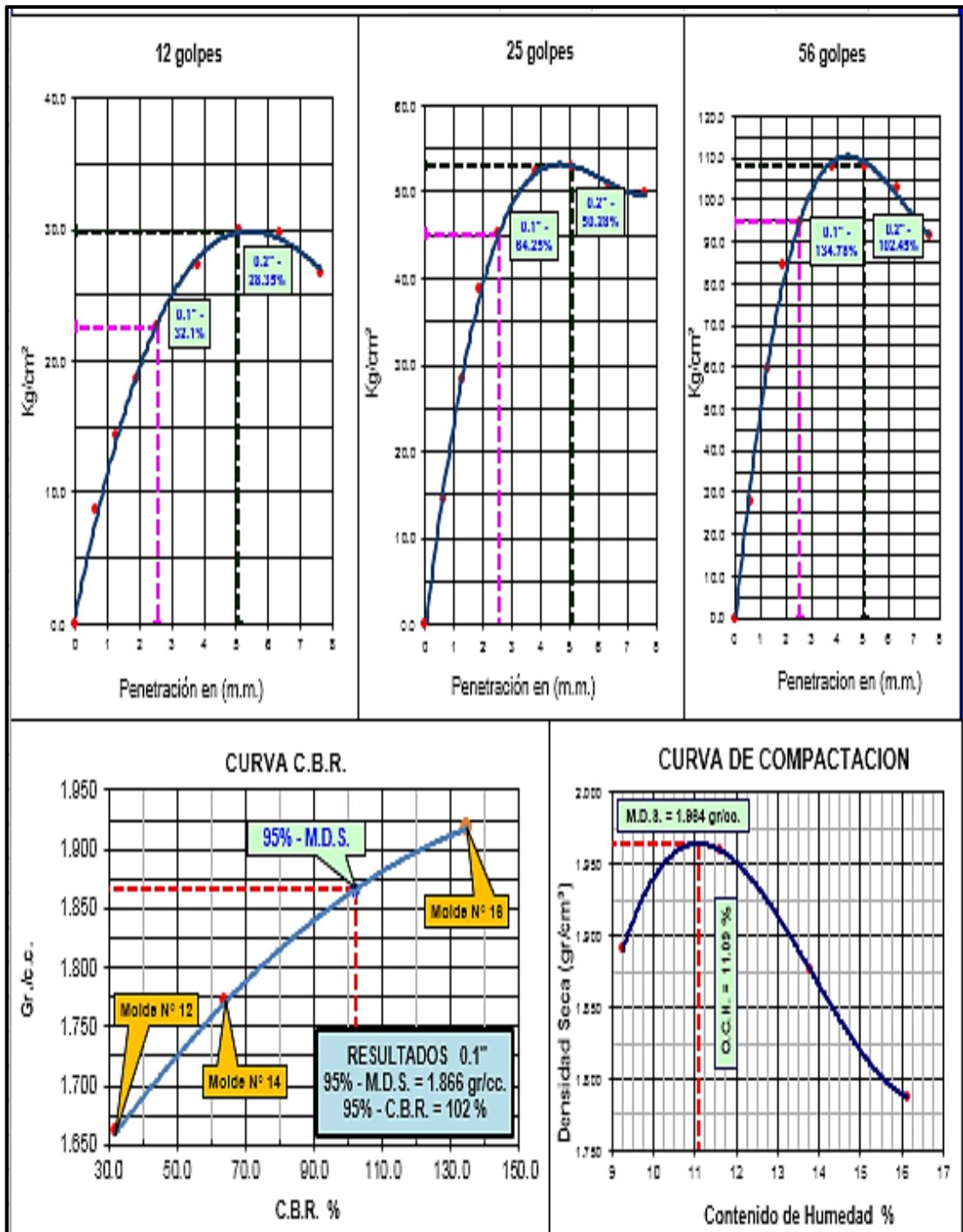
Datos de campo:							
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.964	gr/cm ³	
Muestra	:	A-2-4(0) 85% - 15% A-7-5(9) / 2% cemento	O. C. H.	:	11.09	%	
			Clas. SUCS	:	---		
			Clas. AASHTO	:	---		
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion					
Fecha de ensayo	:	19/09/2016					
Fecha de muestreo	:	08/09/2016					
Molde	Nº	1	2	3			
Capas	Nº	5	5	5			
Golpes por capa	Nº	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12899	13239	13038	13365	13558	13678
Peso del molde	Gr.	8543	8543	8505	8505	8538	8538
Volúmen del suelo	c.c.	2341	2341	2372	2372	2356	2356
Peso del suelo húmedo	Gr.	4356	4696	4533	4860	5020	5140
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.861	2.006	1.911	2.049	2.131	2.181
HUMEDAD							
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	103.04	119.39	89.90	118.26	99.52	113.44
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	98.00	103.26	84.86	103.38	94.08	107.42
Peso de la Recipiente	Gr.	52.41	46.52	38.54	53.20	47.76	52.36
Peso del agua	Gr.	5.04	10.11	5.04	8.28	5.44	6.02
Peso del suelo seco	Gr.	45.59	62.76	45.32	56.78	46.32	55.06
Humedad	%	11.06	16.11	11.12	14.58	11.74	10.93
Densidad seca	Gr/c.c.	1.676	1.728	1.720	1.788	1.907	1.966
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	144.7	7.37	157.3	8.01	305.1	15.54
0.050	1.27	305.6	15.56	349.9	17.82	905.8	46.12
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²
0.025	0.63	144.7	7.37	157.3	8.01	305.1	15.54
0.050	1.27	305.6	15.56	349.9	17.82	905.8	46.12
0.075	1.90	418.5	21.31	476.0	24.24	1384.5	70.49
0.100	2.54	505.1	25.72	599.7	30.54	1724.1	87.79
0.150	3.81	603.2	30.71	773.0	39.36	2271.8	115.67
0.200	5.08	645.6	32.87	855.7	43.57	2577.6	131.24
0.250	6.35	647.1	32.95	861.4	43.86	2559.6	130.32
0.300	7.62	662.0	33.71	815.3	41.51	2436.1	124.04
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm ²			

Fuente: Los Autores



Gráfica 10- CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento

Fuente: Los Autores



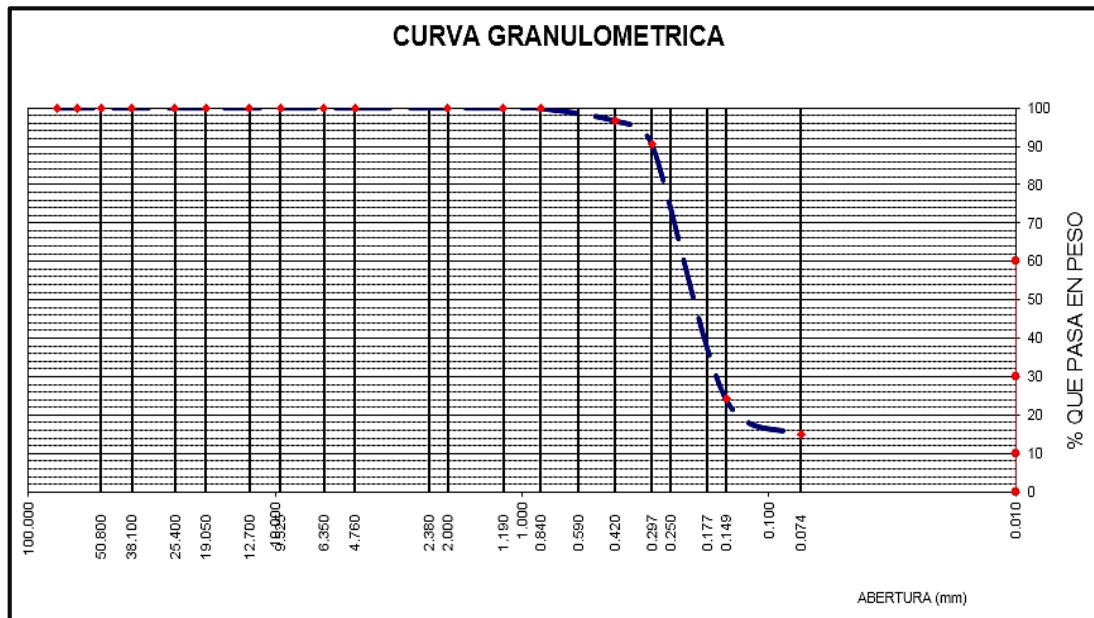
Gráfica 11. CBR Muestra A-2-4(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m³ aditivo PROES

Fuente: Los Autores

Tabla 16. Clasificación de suelos A-3(0) y A-7-5(9)

Datos de campo:							
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro					
Ubicación	:	Carretera Iquitos - Nauta km 21 / trocha carrozable a El Milagro					
Muestra	:	A-3(0) 85% - 15% A-7-5(9).					
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion					
Fecha de ensayo	:	14/09/2016					
Fecha de muestreo	:	03/09/2016					
Peso de muestra seca	:	233.65					
Peso de muestra lavada	:	198.97					
Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Especific.	Observaciones
2 1/2"	63.500						L. Líquido : NP
2"	50.600						L. Plástico : NP
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : NP
1"	25.400						Clas. SUCS : SM
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : A-2-4 (0)
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
Nº4	4.760				100.00		
Nº10	2.000	0.04	0.02	0.02	99.98		
Nº20	0.840	0.26	0.11	0.13	99.87		
Nº40	0.420	7.58	3.24	3.37	96.63		
Nº50	0.297	14.11	6.04	9.41	90.59		
Nº100	0.149	154.93	66.31	75.72	24.28		
Nº200	0.074	22.05	9.44	85.16	14.84		
Pasa Nº200		34.68	14.84				

Fuente: Los Autores



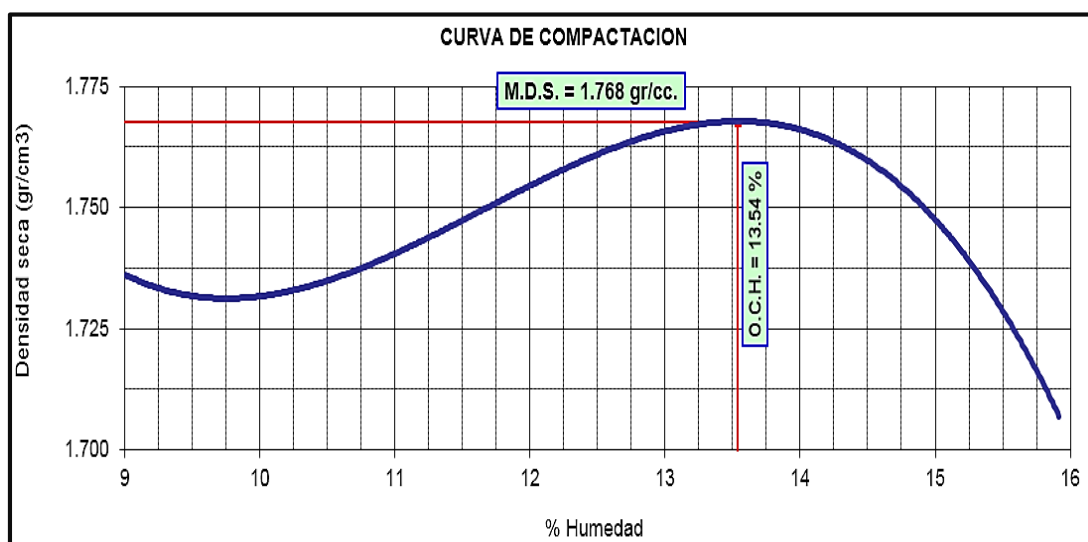
Gráfica 12. Curva Granulométrica A-3(0) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores

Tabla 17. Compactación y humedad de Muestra A-3(0) y A-7-5(9)

Datos de campo:		Resultados						
Canteras	: Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	1.768 gr/cm ³					
Ubicación	: Carretera Iquitos - Nauta km 21 / trocha car	O. C. H.	13.54 %					
Muestra	: A-3(0) 85% - 15% A-7-5(9).	Clas. SUCS	---					
		Clas. AASHTO	---					
Profundidad	: Acopio - Mezcla o combinacion							
Fecha de ensayo	: 14/09/2016							
Fecha de muestreo	: 03/09/2016							
1.- Compactación								
Prueba N°	1	2	3	4				
Numero de capas	5	5	5	5				
Numero de golpes	25	25	25	25				
Peso suelo + molde (gr.)	5911	5950	6019	5992				
Peso molde (gr.)	4134	4134	4134	4134				
Volumen del molde (cm ³)	939	939	939	939				
Peso suelo compactado (gr.)	1777	1816	1885	1858				
Densidad humeda (gr/cm ³)	1.892	1.934	2.007	1.979				
2.- Humedad (%)								
N° Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Recipiente + suelo húmedo (gr.)	95.65	98.23	83.04	77.54	117.21	100.57	98.08	98.26
Recipiente + suelo seco (gr.)	90.99	93.43	78.76	73.82	107.73	93.69	90.07	91.06
Peso de recipiente (gr.)	39.32	40.03	40.81	39.53	37.76	42.96	39.59	45.97
Peso de agua (gr.)	4.66	4.80	4.28	3.72	9.48	6.88	8.01	7.20
Peso de suelo seco (gr.)	51.67	53.40	37.95	34.29	69.97	50.73	50.48	45.09
Humedad (%)	9.02	8.99	11.28	10.85	13.55	13.56	15.87	15.97
Promedio Humedad (%)	9.00		11.06		13.56		15.92	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.736		1.741		1.768		1.707	

Fuente: Los Autores



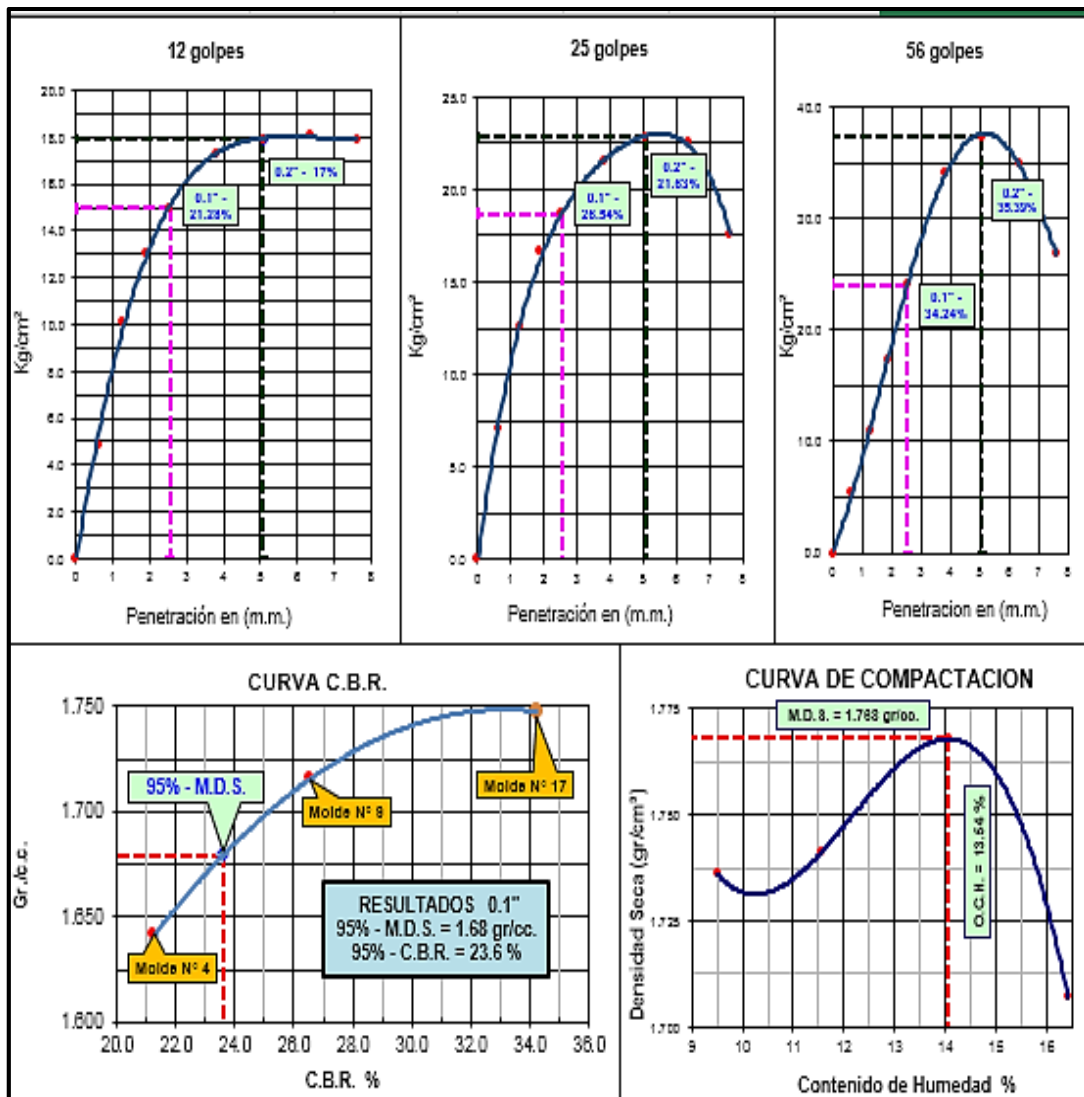
Gráfica 13. Curva de compactación A-3(0) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores

Tabla 18. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9)

Datos de campo:								
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.768	gr/cm3		
Muestra	:	A-3(0) 85% - 15% A-7-5(9).	O. C. H.	:	13.54	%		
			Clas. SUCS	:	---			
			Clas. AASHTO	:	---			
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion						
Fecha de ensayo	:	14/03/2016						
Fecha de muestreo	:	03/03/2016						
Molde	Nº	4		3		17		
Capas	Nº	5		5		5		
Golpes por capa	Nº	12		25		56		
Condición de muestra		Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	Hum. Optim.	Saturada	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	12863	13071	13140	13284	13267	13308	
Peso del molde	Gr.	8500	8500	8519	8519	8570	8570	
Volúmen del suelo	c.c.	2341	2341	2372	2372	2372	2372	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4363	4571	4621	4765	4697	4738	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.864	1.953	1.948	2.009	1.980	1.998	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente	Nº	4	5	6	7	8	9	
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	122.31	114.56	123.65	126.71	113.39	136.11	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	113.13	105.16	114.68	115.32	105.12	122.80	
Peso de la Recipiente	Gr.	45.62	42.31	48.62	40.22	43.03	45.79	
Peso del agua	Gr.	9.18	9.40	8.97	11.39	8.27	13.31	
Peso del suelo seco	Gr.	67.81	62.85	66.06	75.10	62.09	77.01	
Humedad	%	13.54	14.96	13.58	15.17	13.32	17.28	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.642	1.699	1.715	1.745	1.748	1.703	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	
0.025	0.63	95.3	4.85	137.8	7.01	108.7	5.53	
0.050	1.27	199.4	10.15	246.3	12.54	213.7	10.88	
0.075	1.90	256.0	13.04	327.3	16.66	339.2	17.27	
0.100	2.54	293.9	14.96	366.5	18.66	472.8	24.07	
0.150	3.81	338.8	17.25	422.0	21.49	670.2	34.12	
0.200	5.08	352.1	17.93	448.0	22.81	733.0	37.32	
0.250	6.35	355.2	18.09	442.5	22.53	685.3	34.90	
0.300	7.62	352.2	17.94	346.0	17.61	525.6	26.76	
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K =		19.64 cm2		

Fuente: Los Autores



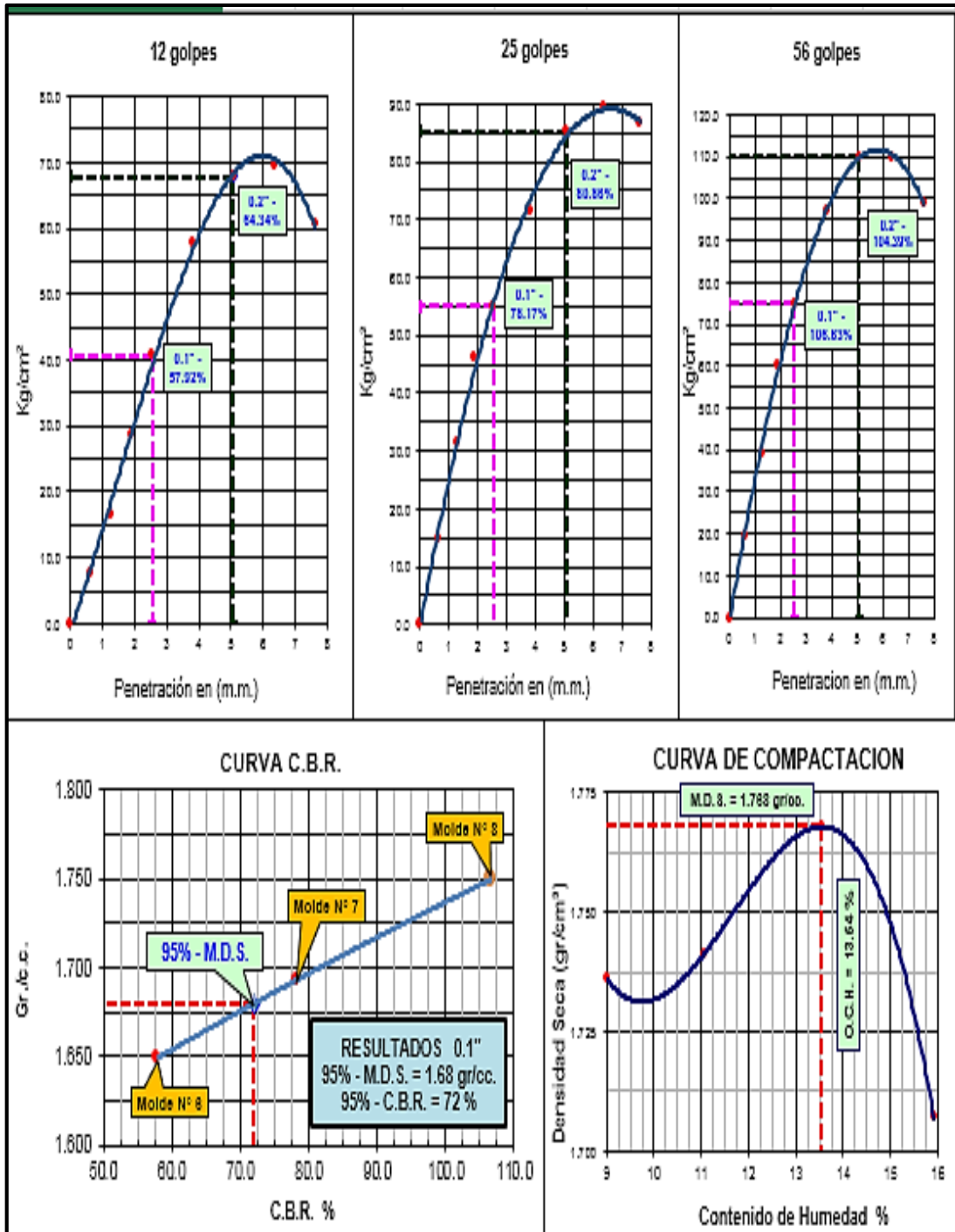
Gráfica 14. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores

Tabla 19. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento

Datos de campo:							
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.768	gr/cm3	
Muestra	:	A-3(0) 85% - 15% A-7-5(9) / 2% cemento	O. C. H.	:	13.54	%	
Profundidad	:	Acopio - Mezcla o combinacion	Clas. SUCS	:	---		
Fecha de ensayo	:	19/09/2016	Clas. AASHTO	:	---		
Fecha de muestreo	:	08/09/2016					
Molde	N°	6	7	8			
Capas	N°	5	5	5			
Golpes por capa	N°	12	25	56			
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	13063	13255	13300	13433	13319	13391
Peso del molde	Gr.	8622	8622	8798	8798	8635	8635
Volúmen del suelo	c.c.	2372	2372	2341	2341	2356	2356
Peso del suelo húmedo	Gr.	4441	4633	4502	4635	4684	4756
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.872	1.953	1.923	1.980	1.988	2.018
HUMEDAD							
N° de Recipiente	N°	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	110.83	98.47	119.14	115.89	116.70	98.47
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	102.56	89.41	109.83	103.55	106.59	88.41
Peso de la Recipiente	Gr.	41.46	39.92	41.36	38.88	32.29	39.92
Peso del agua	Gr.	8.27	9.06	9.31	12.34	10.11	10.06
Peso del suelo seco	Gr.	61.10	49.49	68.47	64.67	74.30	48.49
Humedad	%	13.54	18.31	13.60	19.08	13.61	20.75
Densidad seca	Gr/c.c.	1.649	1.651	1.693	1.663	1.750	1.672
EXPANSION							
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)
PENETRACION							
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga	
		Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2	Kg	kg/cm2
0.025	0.63	146.9	7.48	290.3	14.78	386.9	19.70
0.050	1.27	326.5	16.62	619.4	31.54	773.9	39.40
0.075	1.90	561.3	28.58	902.8	45.97	1178.6	60.01
0.100	2.54	799.7	40.72	1079.5	54.96	1472.4	74.97
0.150	3.81	1137.8	57.93	1402.1	71.39	1901.4	96.81
0.200	5.08	1332.7	67.86	1674.7	85.27	2162.1	110.09
0.250	6.35	1362.7	69.39	1757.8	89.50	2160.3	110.00
0.300	7.62	1191.2	60.65	1704.2	86.77	1945.5	99.06
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm2			

Fuente: Los Autores



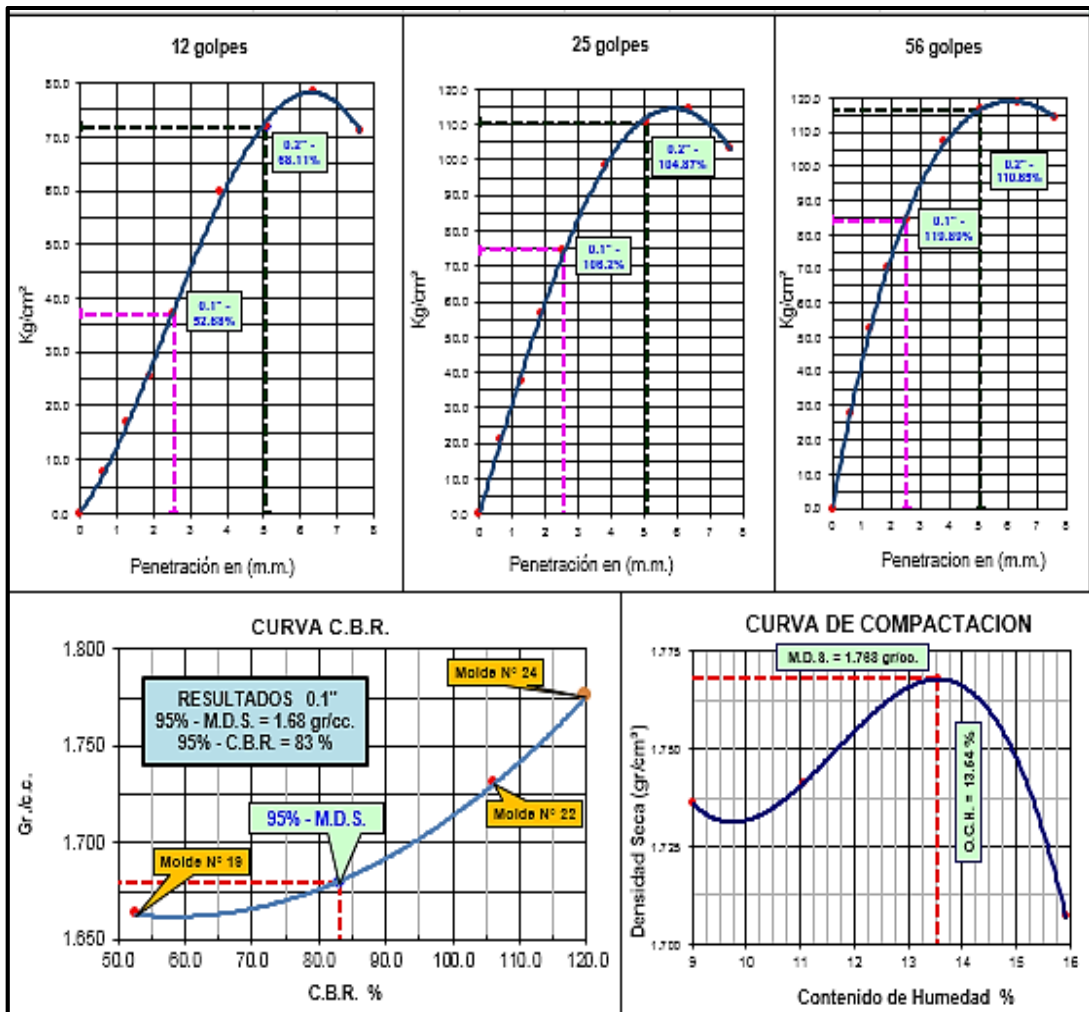
Gráfica 15. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento

Fuente: Los Autores

Tabla 20. CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m³

Datos de campo:								
Canteras	:	Centro Poblado El Milagro	M. D. S.	:	1.768	gr/cm ³		
Muestra	:	A-3(0) 85% /15% A-7-5(9) / 2% cemento - 0.3lt./m ³ de aditivo químico.	O. C. H.	:	13.54	%		
			Clas. SUCS	:	—			
			Clas. AASHTO	:	—			
Profundidad	:	Acopio Mezcla o combinacion						
Fecha de ensayo	:	19/09/2016						
Fecha de muestreo	:	08/09/2016						
Molde	Nº	19		22		24		
Capas	Nº	5		5		5		
Golpes por capa	Nº	12		25		56		
Condición de muestra		Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	Hum. Optima	Saturado	
Peso de suelo húmedo + molde	Gr.	13050	13255	13209	13309	13349	13388	
Peso del molde	Gr.	8639	8639	8630	8630	8614	8614	
Volúmen del suelo	c.c.	2341	2341	2332	2332	2341	2341	
Peso del suelo húmedo	Gr.	4411	4616	4579	4679	4735	4774	
Densidad húmeda	Gr/c.c.	1.884	1.972	1.964	2.007	2.023	2.039	
HUMEDAD								
Nº de Recipiente		Nº	4	5	6	7	8	9
Peso del suelo húmedo + Recip.	Gr.	120.91	119.52	127.18	147.53	92.57	128.72	
Peso del suelo seco + Recip.	Gr.	112.30	108.19	116.76	133.56	86.21	115.21	
Peso de la Recipiente	Gr.	47.71	39.27	39.45	52.41	40.57	42.99	
Peso del agua	Gr.	8.61	11.33	10.42	13.97	6.36	13.51	
Peso del suelo seco	Gr.	64.59	68.92	77.31	81.15	45.64	72.22	
Humedad	%	13.33	16.44	13.48	17.22	13.94	18.71	
Densidad seca	Gr/c.c.	1.663	1.694	1.731	1.712	1.775	1.718	
EXPANSION								
Fecha	Hora	Tiempo días	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %	Dial (pulg.)	Expansión %
PENETRACION								
Penetración Pulgadas	Penetracion m.m	Carga		Carga		Carga		
		Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	Kg	kg/cm ²	
0.025	0.63	153.8	7.83	416.6	21.21	545.9	27.80	
0.050	1.27	334.7	17.04	740.7	37.71	1026.3	52.26	
0.075	1.90	498.6	25.39	1110.7	56.55	1382.5	70.39	
0.100	2.54	727.5	37.04	1466.5	74.67	1655.5	84.29	
0.150	3.81	1175.9	59.87	1930.7	98.31	2101.6	107.01	
0.200	5.08	1410.7	71.83	2172.0	110.59	2291.9	116.70	
0.250	6.35	1544.0	78.62	2251.2	114.62	2333.4	118.81	
0.300	7.62	1396.0	71.08	2023.0	103.00	2249.2	114.52	
ANILLO	CAPACIDAD	SOBRECARGA		K = 19.64 cm²				

Fuente: Los Autores



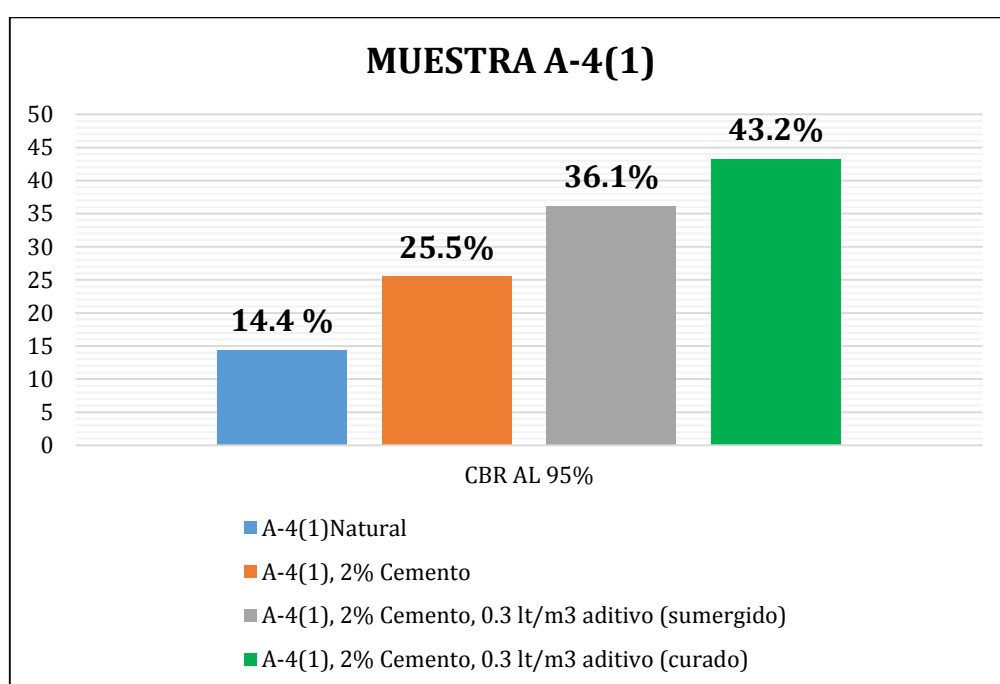
Gráfica 16- CBR Muestra A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m³

Fuente: Los Autores.

Tabla 21- Muestra: A-4(1). CBR al 95%, M.D.S Y O.C.H

COMBINACION	CBR AL 95%	M.D.S	O.C.H
A-4(1) Natural	14.4%	1.922 gr/cc	11.74%
A-4(1) 2% de Cemento	25.5%	1.922 gr/cc	11.74%
A-4(1), 2% cemento, 0.3 lt/m3 aditivo líquido (sumergido)	36.1%	1.922 gr/cc	11.74%
A-4(1), 2% cemento, 0.3 lt/m3 aditivo líquido (curado)	43.2%	11.74%	

Fuente: Los Autores.



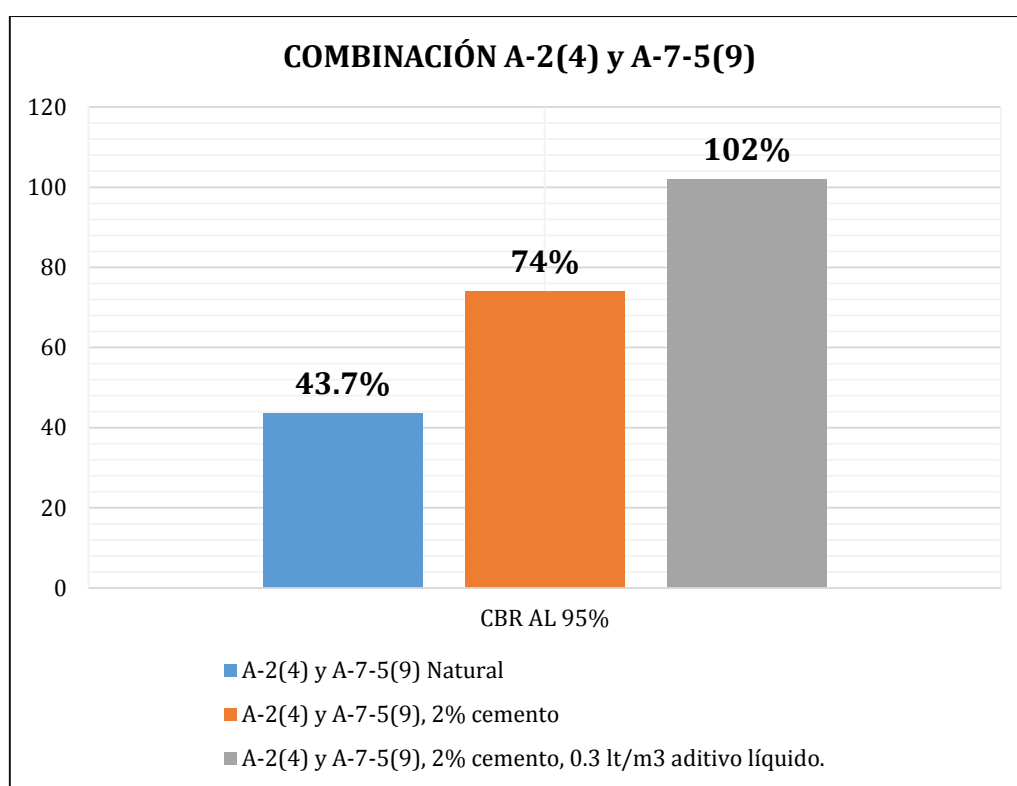
Gráfica 17. Muestra: A-4(1). CBR al 95%, M.D.S Y O.C.H

Fuente: Los Autores.

Tabla 22. Muestra: Combinación A-2(4) 85% y A-7-5(9) 15%

COMBINACIÓN	CBR AL 95%	M.D.S	O.C.H
A-2(4) y A-7-5(9) Natural	43.7%	1.964 gr/cc	11.09%
A-2(4) y A-7-5(9), 2% cemento	74%	1.964 gr/cc	11.09%
A-2(4) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m3 aditivo líquido.	102%	1.964 gr/cc	11.09%

Fuente: Los Autores.



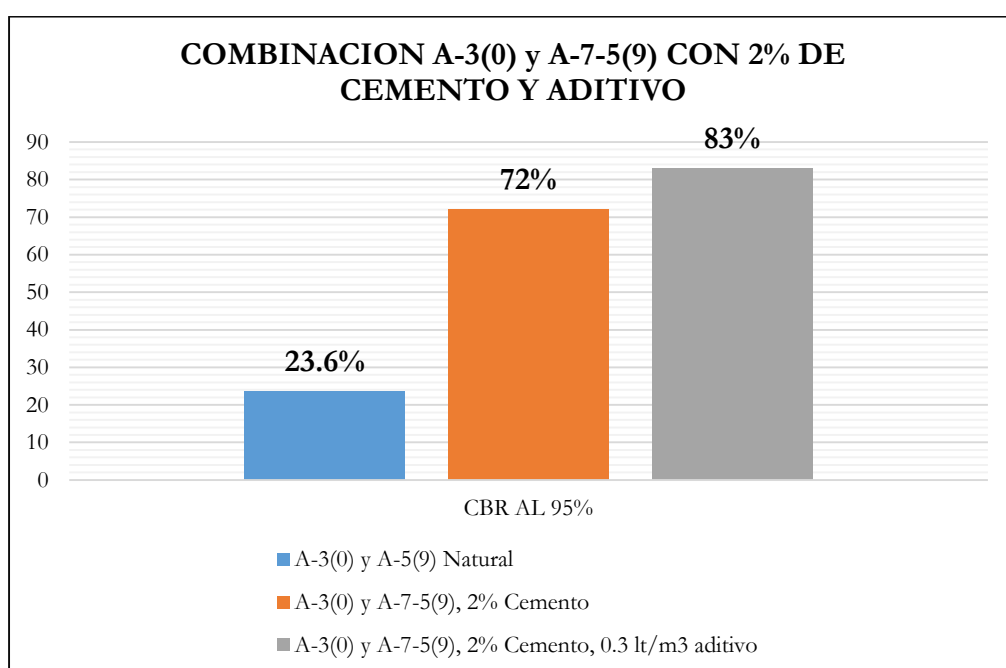
Gráfica 18. Combinación A-2(4) y A-7-5(9)

Fuente: Los Autores.

Tabla 23. Muestra: Combinación A-3(0) 85% y A-7-5(9) 15%

COMBINACION	CBR AL 95%	M.D.S	O.C.H
A-3(0) y A-7-5(9) Natural	23.6%	1.768 gr/cc	13.54%
A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento	72%	1.768 gr/cc	13.54%
A-3(0) y A-7-5(9), 2% cemento, 0.3 lt/m3 aditivo líquido.	83%	1.768 gr/cc	13.54%

Fuente: Los Autores.



Gráfica 19. Combinación A-3(0) Y A-7-5(9) Con 2% de Cemento y Aditivo

III. Discusión

En concordancia a los antecedentes de la investigación realizadas en la ciudad de Piura por el tesista investigador Edson Atarama Mondragón (2015), donde los suelos estudiados en estado natural fueron arena arcillosa y arcillas inorgánicas (A-2-6), con CBR medidos en el rango de 5% al 30% y gravas arenosas mal gravadas A-1-a con CBR medidos en el rango de 33% al 95%. Aplicando aditivo PROES con dosificación entre (0.20 lt/m³ y 0.30 lt/m³), y cemento entre (50 y 60 kg/m³) obtuvo CBR al 95% en el rango de 116.4% al 129.9%.

Mientras tanto los suelos estudiados en estado natural en la investigación aplicada en la carretera del AA.HH El Milagro, Distrito de San Juan Bautista – Loreto, fueron A-4(1) y combinaciones de 85% de A-2-4(0) con 15% de A-7-5(9) y de 85% de A-3(0) con 15% de A-7-5(9), donde se obtuvo CBR medidos en el rango de 14.4% al 43.7%. Aplicando aditivo PROES con una dosificación de 0.30 lt/m³ y cemento de 2% (40 kg/m³) se obtuvo CBR medidos en el rango de 43.2% al 102%.

Comparando los resultados podemos determinar que si bien es cierto el aditivo PROES si aumenta la resistencia de los suelos, sin embargo, analizando ambos resultados debemos tener en cuenta que las dosificaciones aplicadas tanto en aditivo como en cemento en ambos sectores es diferente.

IV. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Teniendo en cuenta la hipótesis planteada en la presente investigación, podemos determinar que efectivamente los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES, si influye considerablemente en la estabilización del suelo en la carretera de penetración al AA. HH “El Milagro” – Distrito de San Juan Bautista – Loreto.
- El aditivo PROES generó las siguientes variaciones de CBR con las muestras de suelos encontradas en la zona:

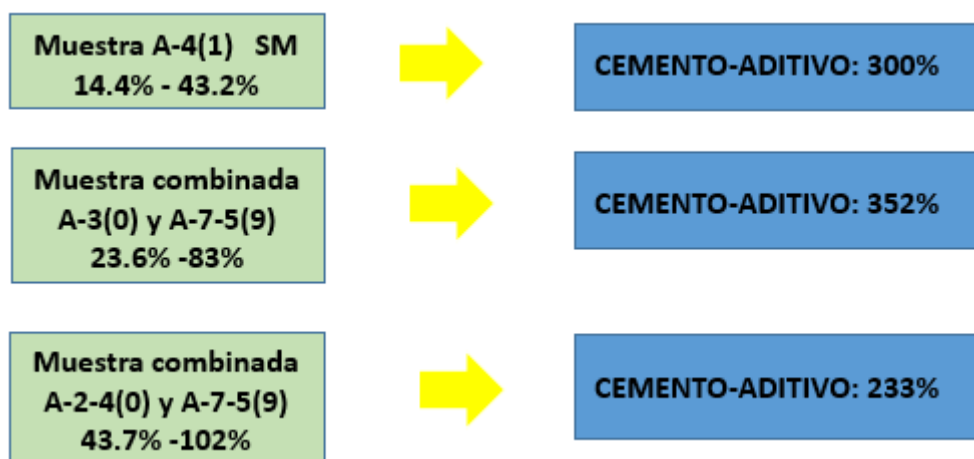


Figura 2. Variaciones de CBR con las muestras de suelos encontradas en la zona

Mediante estos resultados, hemos podido determinar de qué podemos trabajar mejor en la zona realizando combinaciones. Donde utilizamos los materiales que existe en gran volumen como: A-3(0) en 85% y A-7-5(9) en 15% de un (23.6 a 83) % triplicando el CBR de natural a uso con aditivos donde alcanzo un 352%.

4.2. Recomendaciones

- Acorde a la investigación y comparando los resultados, recomendamos trabajar más con el tipo de muestras de suelo combinando A-3(0) y A-7-5(9) por haber alcanzado un 83%, así mismo A-2-4(0) y A-7-5(9) por alcanzar un 102%, ya que descubrimos que con estas dosificaciones de mezcla obtenemos un suelo más resistente que los demás.
- También podemos trabajar con el suelo no combinado como el A-2-4(0), porque esta con la mezcla de los aditivos (sólido y líquido-PROES) al obtención del CBR es mayor 135%; no pudimos encontrar exactamente porque la capacidad de la prensa de CBR de la universidad es solo de 1000 libras.
- Utilizar en material pasante de la malla N° 200 >12%
- Realizar los estudios de estabilización de suelos de la zona, para reducir los costos considerablemente.
- Una vez estabilizado el suelo, se debe colocar una capa asfáltica que no supere los 6cm de espesor, siendo la mayoría de ellos tratamientos asfálticos delgados de 1 pulgada.
- El curso de química que se encuentra en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil, es química básica esta debería ampliarse en química analítica en caminado a la carrera de Ingeniería Civil, para de esta manera poder profundizar los temas que tienen que ver en la aplicación de diferentes tipos de químicos en la mejora de las construcciones.

V. Bibliografía

- (1) Atarama M. 2015. Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería Civil. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. 2015.
- (2) León F. 2016. Funcionalidad del aditivo sólido rocatech 70/30 como aglomerante para una base estabilizada con la tecnología PROES en el proyecto red vial n°3 – cusco. Universidad Continental – Huancayo. Facultad de Ingeniería Civil. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. 2015.
- (3) Serigos P. 2009. Rigidez a baja deformación de suelo de la formación pampeado y cemento portland. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
- (4) López. R. 2012. Estabilización de suelos cohesivos por medio de arena volcánica y cal viva. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
- (5) Ariza. D. 2004. Estabilización de suelos mediante el uso de un aditivo químico a base de compuestos inorgánicos. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisiomecánicas. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.
- (6) Barrera y Garnica 2002. Compresibilidad.
- (7) ADDREBIND. 2016. Estabilización de suelos con polímero. [En línea] USA. Disponible en web: <http://aggrebind.com/es/acerca-de-aggrebind/que-es-unpolimero-que-es-la-estabilizacion-del-suelo>
- (8) Montejo F. 2002. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2ª ed. Bogotá: Agora Editores, 733p.
- (9) Gutiérrez y Montes .2010. Estabilización de suelos
- (10) Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2008. Manual de Diseño de carreteras.
- (11) Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2013. Manual de Diseño de carreteras.
- (12) En línea (http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Ensayo_CBR)

- (13) IECA.2011.Estabilización de suelos con cemento.
- (14) RAVINES M.2010. Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de los suelos para carreteras. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Piura, Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería.
- (15) En línea: http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/leganes/ing_industrial/estadística_industrial/doc_grupo2/archivos/fiabilidad.pdf
- (16) En línea:
(<http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/RCI/article/view/817/638>)
- (17) Petrioriente, 2011
- (18) Laboratorio de Mecánica de Suelo – Universidad Científica del Perú, Iquitos.
- (19) PROESTECH – Estabilizando Caminos desde 1999.
- (20) National Lime Association. Manual de suelo estabilizado con cal. The versatile chemical. Boletín 326.2004.429.)
- (21) En línea: (<https://es.scribd.com/doc/96603291/Estabilizacion-de-suelos>)
- (22) En línea
(https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayos_geot%C3%A9cnicos_de_laboratorio)
- (23) En línea:(<http://apuntesingenierocivil.blogspot.pe/2010/10/mecanica-de-sueles-definiciones.html>).
- (24) En línea (<http://civilfree.blogspot.pe/2013/11/ensayo-de-proctor-modificado-astm-d.html>).
- (25) PROESTECH – Estabilizando Caminos actualizado marzo/2016. Aditivo Líquido PROES100©

VI. ANEXOS

6.1. Matriz de consistencia

Matriz de consistencia de “ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA. HH EL MILAGRO, 2016”								
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Índices	Metodología	Técnicas	Instrumentos
<p>General: ¿Cómo influyen los ensayos de fiabilidad con aditivos PROES en la estabilización del suelo en el AA. HH el Milagro?</p>	<p>General: Determinar la influencia de los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES en la estabilización del suelo en el AA.HH el Milagro, 2016</p>	<p>General: Los ensayos de fiabilidad con aditivo PROES influye altamente, en la estabilización del suelo en el AA.HH el Milagro, 2016</p>	<p>X₁: Ensayos de fiabilidad con aditivos PROES.</p>	Suelo franco arcilloso	Pasante malla #200 >35%	<p>Tipo de Investigación: • Diseño Pre - experimento: Los pre experimentos se llaman así porque su grado de control es mínimo:</p>	<p>Trabajo de gabinete. Análisis documental. Trabajo de campo: Mediciones y extracción de muestras de suelo en el AA. HH. El Milagro.</p>	<p>Observación, lista de cotejo Preparación de hoja de cálculo, programas estadísticos y propios de mecánica de suelos, ábacos y otros.</p>
				Suelo arcilla arenoso	Pasante la mal #200 >12%			
				Proctor (suelo natural)	>95%			
				CBR (suelo natural)	14%<CBR<44%			
			<p>Y₁: La estabilización del suelo.</p>	CBR (suelo con aditivos)	45%<CBR<105%	<p>Diseño de Investigación:</p>	<p>Trabajo de gabinete: Análisis de resultados.</p>	<p>Equipos de mediciones, para ensayos del suelo, Proctor Modificado, moldes y otros.</p>

				Pruebas de laboratorio (prueba de carga)	Subrasante CBR		G _E O ₁ X O ₂		
					Muy pobre	<3%			
					pobre	3% - 5%			
					Regular	6% - 10%			
					Buena	11% - 19%			
					Muy Buena	>20%			

8.2 PANEL FOTOGRAFICO

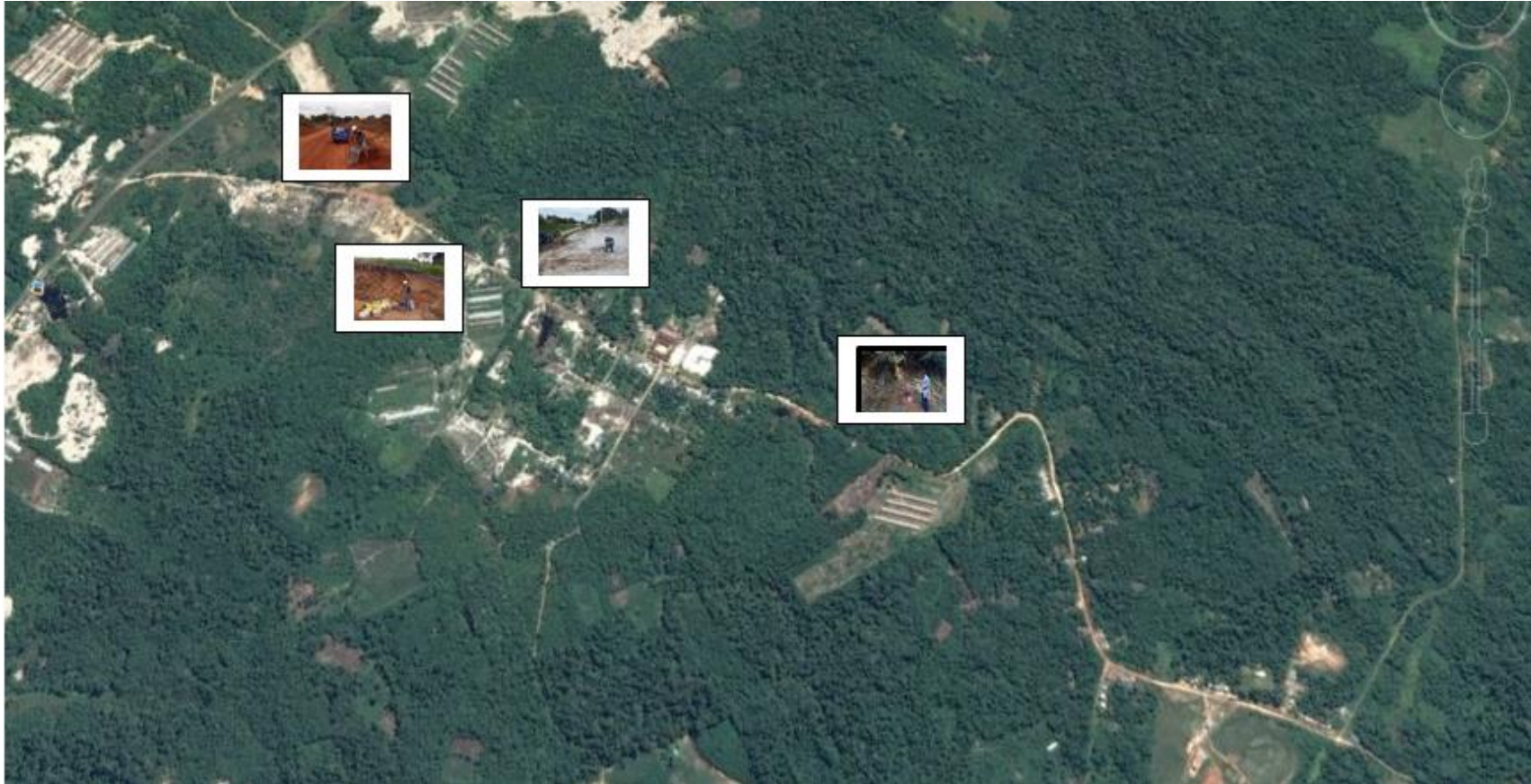


Foto N° 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA



Foto N° 2. Visita y recolección de datos al inicio de la Tesis



Foto N° 3. Recorrido de la carretera del AA. HH El Milagro.



Foto N° 4. Recorrido de la carretera del AA. HH El Milagro



Foto N° 5. Recolectando muestras para realizar los ensayos.

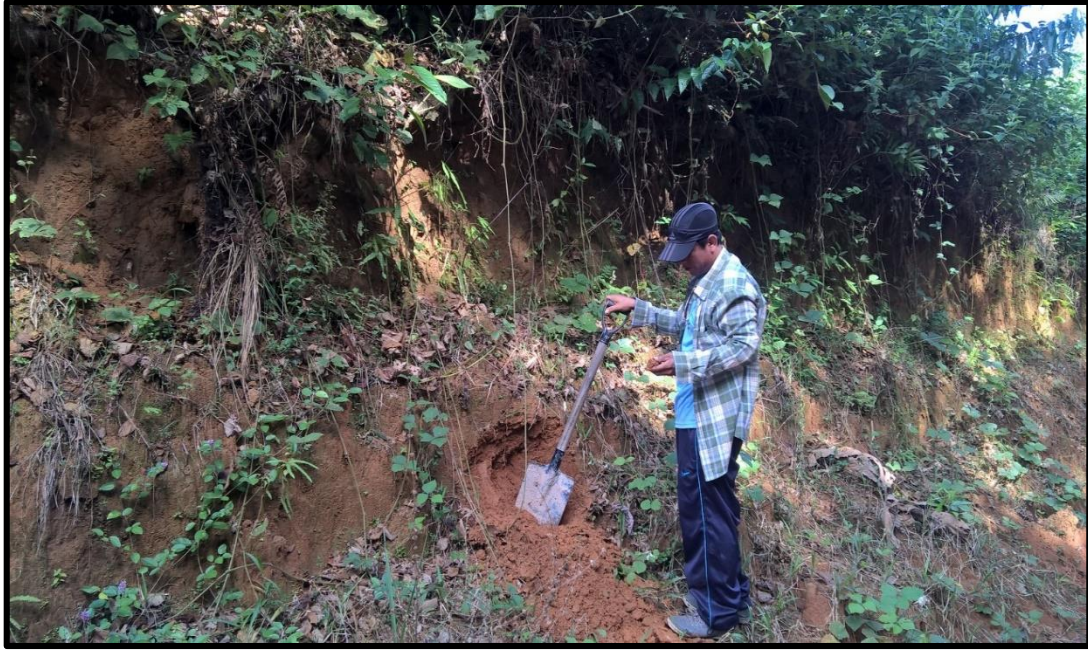


Foto N° 6. Recolectando muestras para realizar los ensayos.



Foto N° 7. Proceso de secado de las muestras.



Foto N° 8. Ensayos de Próctor modificado.



Foto N° 9. Mezcla de Aditivo PROES con agua.



Foto N° 10. Muestras de ensayos sumergidos por 04 días en agua.



Foto N° 11. Prueba de carga CBR

FOTOS DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PROESTECH



Foto N° 12. Preparación de la Subrasante



Foto N° 13. Esparcido del Material



Foto N° 14. Aplicación Aditivo Sólido.



Foto N° 15. Con Camión Esparcidor



Foto N° 16. Mezclado Aditivo Sólido.



Foto N° 17. Adición Aditivo Líquido Proes100



Foto N° 18. Mezclando Aditivo Líquido



Foto N° 19. Recicladora y Camión Aljibe



Foto N° 20. Compactación con Niveladora



Foto N° 21. Tránsito Durante la Faena.



Foto N° 22. Barrido y Soplado Base



Foto N° 23. Riego de Liga



Foto N° 24. Lechada Asfáltica.



Foto N° 25. Base Proes con Tratamiento Asfáltico (Slurry)



Foto N° 26. Colocación Mezcla Asfáltica



Foto N° 27. Base Proes con Mezcla Asfalto en Caliente, Espesor 4,0 cm.

PLANOS

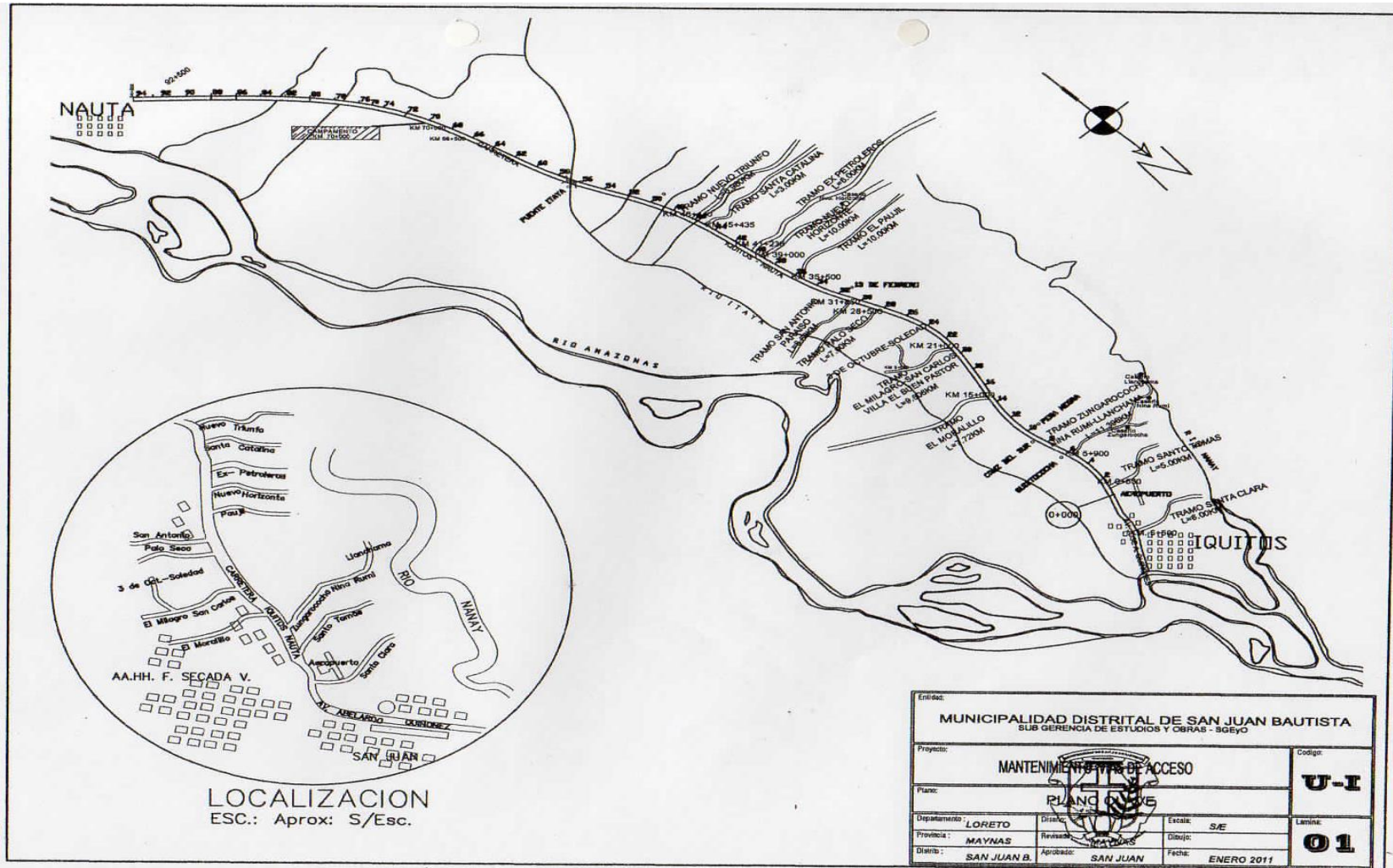


Foto N° 28. Plano de Ubicación

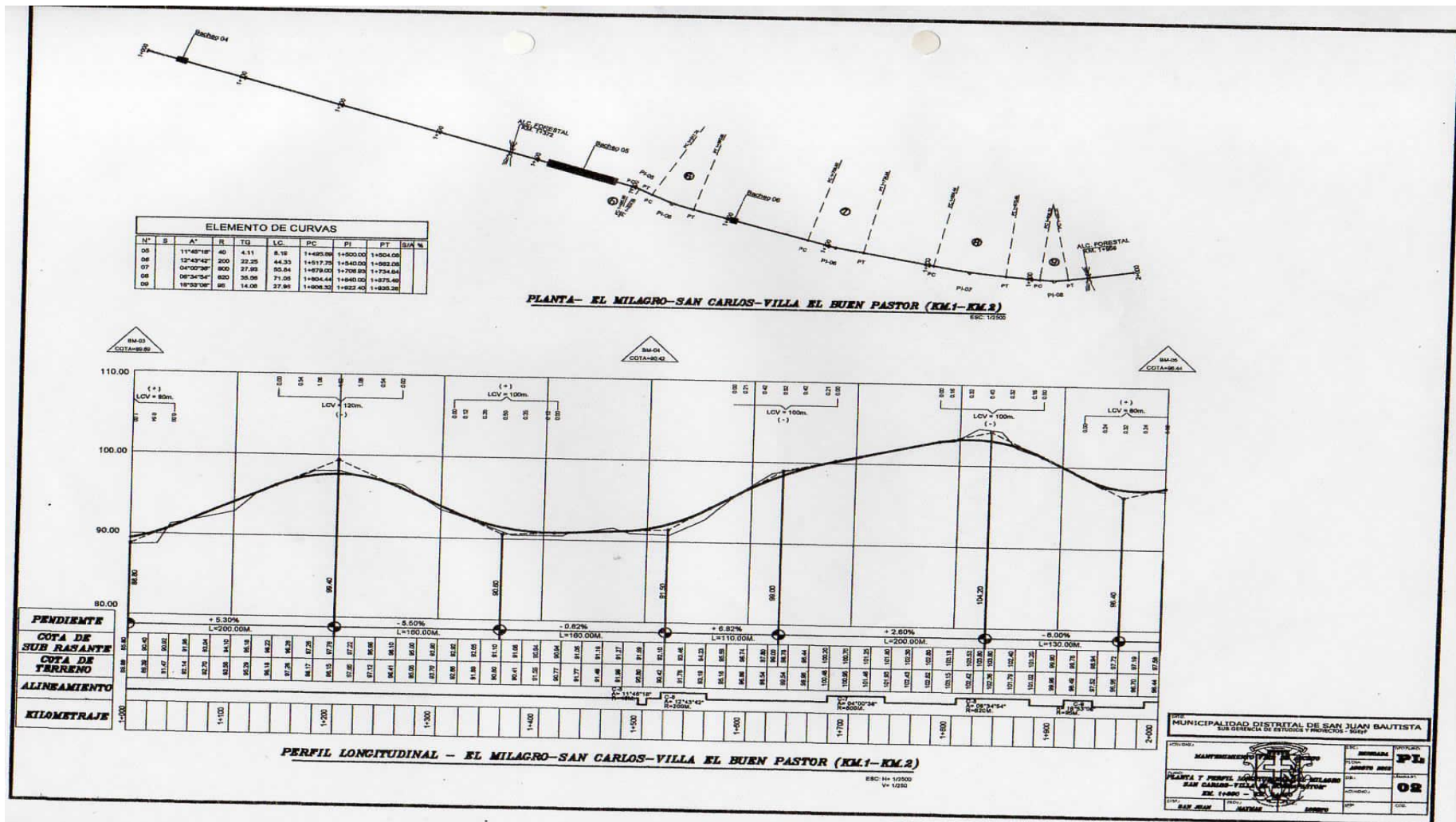


Foto N° 30. Tramo 1.000 - 2.000 km

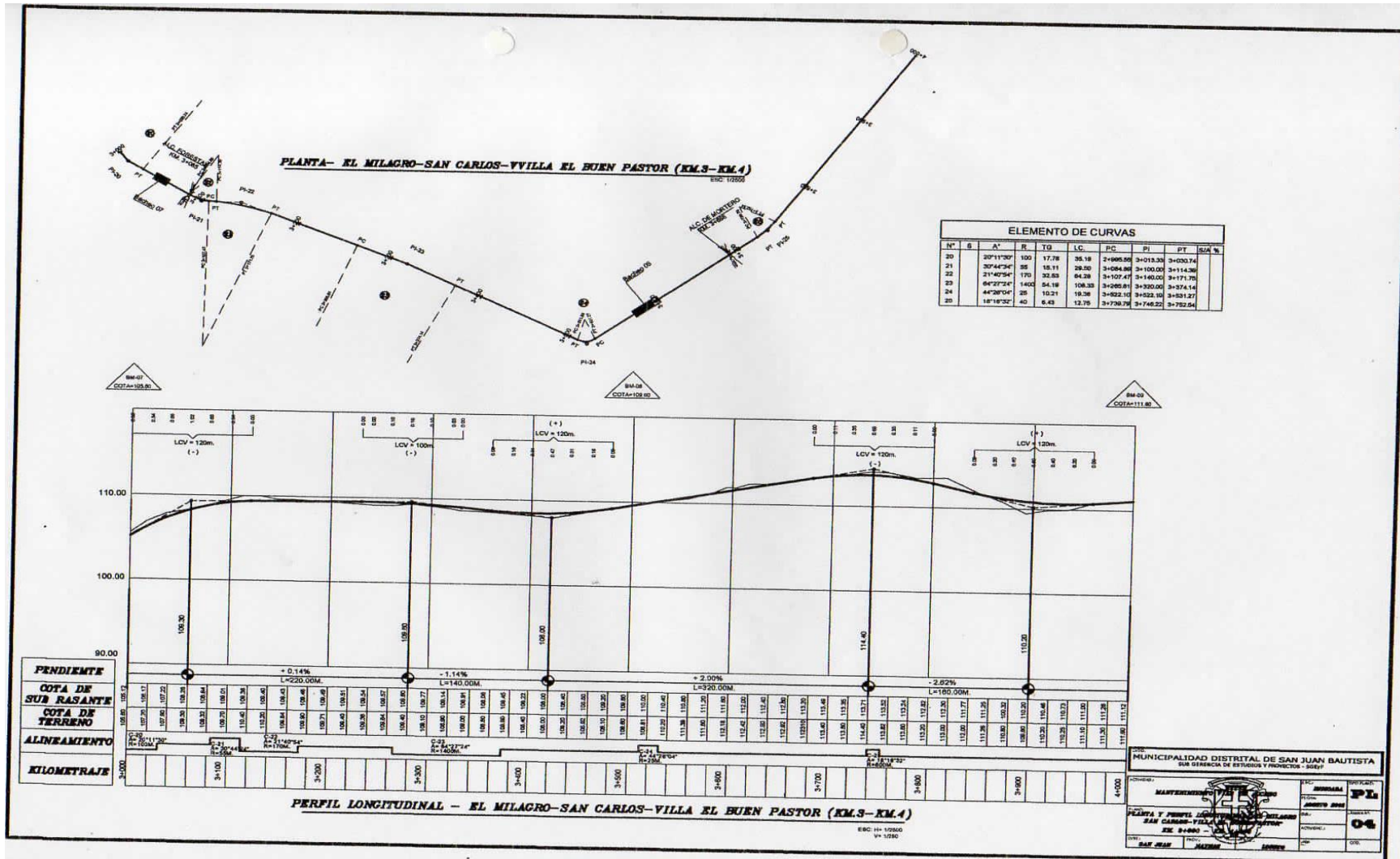


Foto N° 32. Tramo 3.000 - 4.000 km

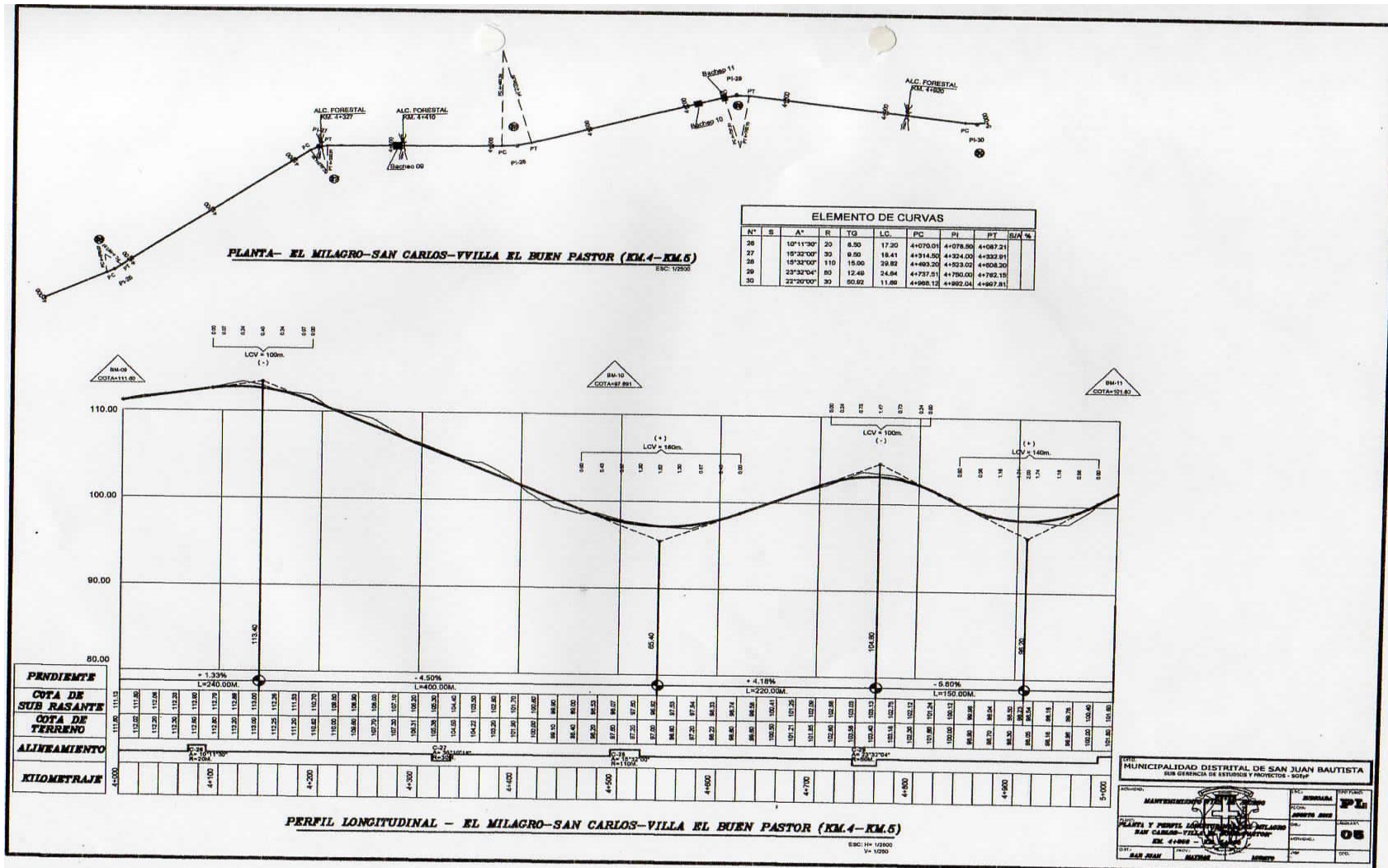


Foto N° 33. Tramo 4.000 - 5.000 km

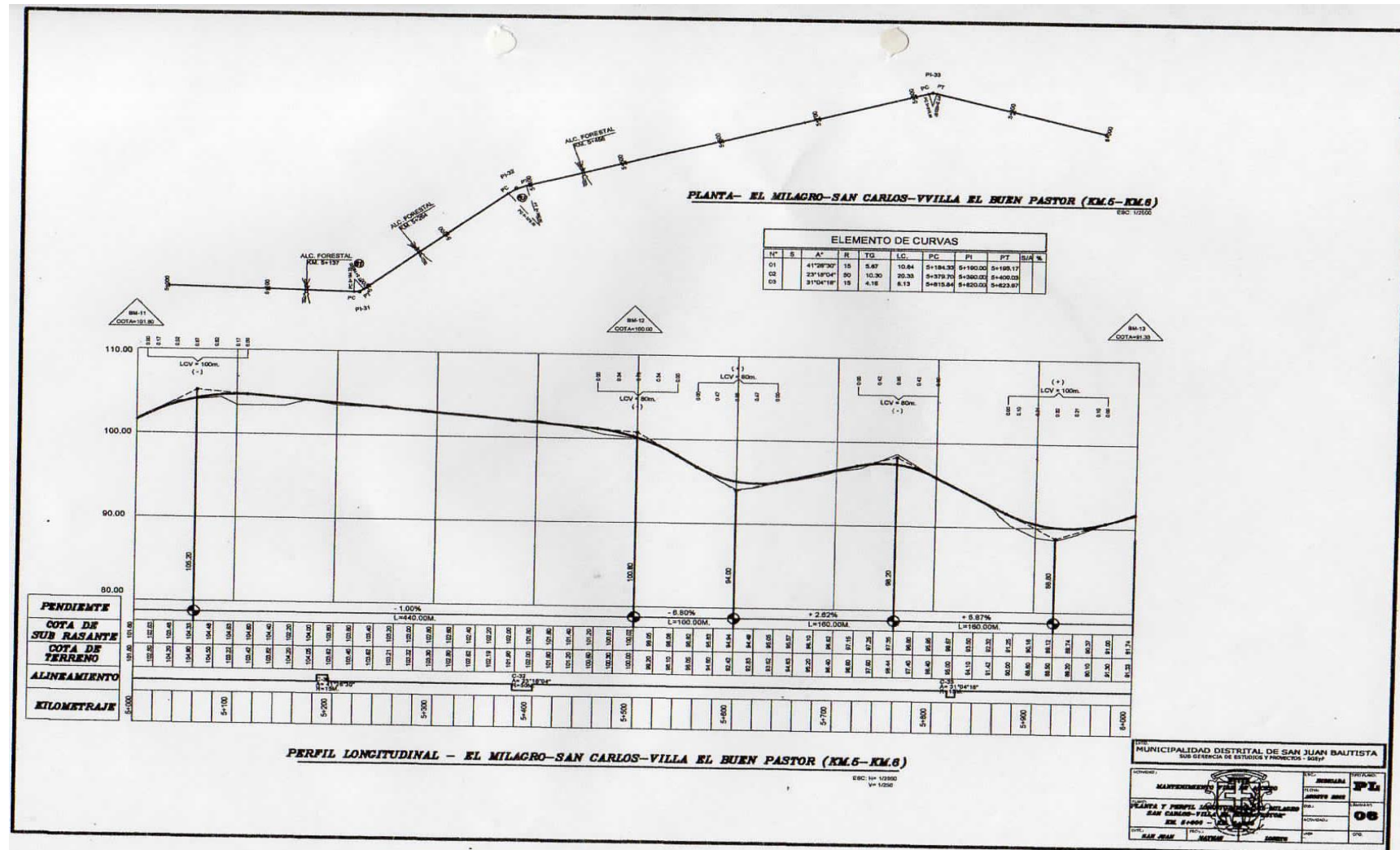


Foto N° 34. Tramo 5.000 - 6.000 km

