

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS OBRAS
CIVILES EN LAS LOCACIONES PETROLERAS DEL CAMPO LA CIRA
INFANTAS**

JHONATAN MARTINEZ MONSALVE



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2013**

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS OBRAS
CIVILES EN LAS LOCACIONES PETROLERAS DEL CAMPO LA CIRA
INFANTAS**

JHONATAN MARTINEZ MONSALVE

**Monografía de grado para obtener el título de Especialista en producción de
hidrocarburos**

**Director:
Ing. ALEX FABIAN REYES FIGUEROA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
2013**

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a la Empresa JMAR Y CIA LTDA por brindarme la oportunidad de formar parte de este gran equipo de trabajo, a OXY-Occidental Andina por disponer de todas las facilidades del campo, así como la predisposición y entrega de su personal, que contribuyeron a la evaluación y desarrollo de la presente monografía.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos por haberme brindado una educación de alto nivel académico, por permitir enriquecer mis conocimientos y elevar mi formación como profesional.

A mi director de monografía el ingeniero Alex Reyes Figueroa por todo su apoyo, orientación, conocimientos y capacidad de aportar siempre nuevos enfoques que han encaminado a la culminación exitosa de este trabajo.

A todos, mi eterna gratitud.

CONTENIDO

INTRODUCCION	Pág. 19
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVO ESPECIFICOS	21
JUSTIFICACION	22
1. GENERALIDADES	23
1.1 INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIONES DE OBRAS CIVILES EN LAS LOCACIONES PETROLERAS	23
1.1.1. Suministro, Conformación y Nivelación con material de Afirmado	24
1.1.2. Suministro e Instalación de Base Granular	24
1.1.3. Adecuación con Emulsión Asfáltica - con Suministro de Emulsión	25
1.2. INFORMACIÓN DE LOS DIFERENTES DISEÑOS CONSTRUCTIVOS EN SUELO CEMENTO EN COLOMBIA	25
1.3. RECURSOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	26
1.3.1. Recurso Humano	26
1.3.2. Recurso Económico	27
1.3.3. Recurso Técnico	27
1.3.3.1. El suelo	28
1.3.3.2. El Cemento	29
1.3.3.3. El Agua	29
1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	29

	Pág.
1.5. SUELOS APTOS PARA MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	30
1.5.1. Suelos eficientes	31
1.5.2. Suelos arenosos y suelos con grava	31
1.5.3. Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas	31
1.5.4. Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad	32
1.5.5. Suelos deficientes	32
1.5.6. Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad	32
1.5.7. Suelos orgánicos	32
1.5.8. Suelo ideal	32
1.6. MEZCLAS DE SUELO CEMENTO	33
1.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	34
1.7.1. Suelo A-1	34
1.7.2. Suelos A-2	34
1.7.3. Suelo A-3	35
1.7.4. Suelos A-4 y A-5	35
1.7.5. Suelos A-6 y A-7	35
1.8. PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE ENSAYOS SIMPLES DE CAMPO	37
1.8.1. Procedimiento de ensayo de la botella de sedimentación	37
1.8.2. Procedimiento de ensayo de bastoncito	38
1.8.3. Procedimiento de ensayo de Caja	39

	Pág.
2. ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LOS ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIÓN DE LAS LOCACIONES PETROLERAS DE LA CIRA INFANTAS	41
3. DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO EL MÉTODO DE CAPAS ESTABILIZADAS (SUELO CEMENTO), DEMOSTRANDO SU RESISTENCIA, PROPIEDADES FÍSICAS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD POR MEDIO DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE	50
3.1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS	52
3.1.1. Ensayo de Granulometría	53
3.1.1.1. Materiales y Equipos utilizados en el Ensayo	56
3.1.1.2. Procedimiento Ensayo granulometría	56
3.1.2. Ensayo de Límites de Atterberg	59
3.1.2.1. Límite líquido	59
3.1.2.2. Límite plástico	59
3.1.2.3. Límite de retracción o contracción	59
3.2. DISEÑO DE ESPESORES	70
3.2.1. Bases para el Procedimiento de Diseño de Espesores	71
3.2.2. Método de diseño de la Pórtland / Cement / Association(PCA)	72
3.2.2.1. Capacidad de soporte de la sub rasante	72
3.2.2.2. Periodo de Diseño	74
3.2.2.3. Transito	74
3.2.2.4. Calidad del Suelo Cemento	74
3.2.2.5. Espesor de la Capa de Suelo	75

	Pág.
3.2.2.6. Protección de la Capa	75
3.2.2.7. Propiedades de Fatiga	78
3.2.3. Procedimiento de Diseño	79
3.2.3.1. Resistencia del suelo Estabilizado	79
3.2.3.2. Periodo de Diseño de Suelo Estabilizado	80
3.2.3.3. Trafico, incluyendo volumen y distribución de pesos por eje (configuración de cargas de ejes simple y tándem, de camiones convencionales)	80
3.2.3.4. Espesor de Suelo-Cemento Estabilizado	83
3.2.3.5. Espesor de la capa de superficie bituminosa	86
3.2.3.6. Proyecto y Datos de Tráfico	88
3.2.3.7. Espesor de Diseño	88
3.2.4. Proceso constructivo	88
3.2.4.1. Suelo cemento mezclado in situ	88
3.2.4.2. Preparación del Terreno	89
3.2.4.3. Dosificación del cemento	89
3.2.4.4. Mezclado del suelo con el cemento	92
3.2.4.5. Conformación y Compactación	93
3.2.4.6. Curado	93
3.2.5. Manejo ambiental	94
4. EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA AL IMPLEMENTAR EL MÉTODO DE CAPAS ESTABILIZADAS QUE PROPORCIONA RESISTENCIA DE DISEÑO A LA BASE DE LA LOCACIÓN	96

	Pág.
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	96
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXOS	102

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Obras civiles complementarias en las locaciones petroleras	23
Figura 2. Rendimientos Constructivos para bases estabilizadas con emulsion	27
Figura 3. Rendimientos Constructivos para bases estabilizadas con suelo cemento	28
Figura 4. Partículas de Arcilla y Arena antes y después de ser Mezclados	33
Figura 5. Ensayo de Botella	38
Figura 6. Ensayo de Bastoncito	38
Figura 7. Ensayo de la Caja	39
Figura 8. Tamaños Estándar de Tamices	54
Figura 9. Tamizador de Laboratorio	55
Figura 10. Fórmula Cálculo Porcentaje que pasa	57
Figura 11. Ensayo granulometría-secado muestra	58
Figura 12. Límites de Atterberg	60
Figura 13. Cuchara de Casagrande	61
Figura 14. Contenido de humedad % del límite liquido	62
Figura 15. Limite Plástico	63
Figura 16. Índice de Plasticidad	65
Figura 17. Ensayo de Proctor	68
Figura 18. Curva de compactación de la cual se obtiene la humedad óptima y la masa especifica	69

	Pág.
Figura 19. Dispositivo Preparado para el Ensayo	73
Figura 20. Equipo de ensayo de placa de carga	74
Figura 21. Incremento de Resistencia con la edad en especímenes de laboratorio	77
Figura 22. Incremento de Resistencia con la edad, proyectos en Servicio	77
Figura 23. Carta para diseño de espesores para suelo-cemento granular	84
Figura 24. Carta para diseño de espesores para suelo-cemento gradación fina	85
Figura 25. Carta de Diseño para reducción del espesor de suelo-cemento Considerando el espesor de la superficie bituminosa	87
Figura 26. Esquema carriles a utilizar	91
Figura 27. Equipo de Motoniveladora	92
Figura 28. Fenómeno de Evaporación Capa bituminosa y Suelo Cemento	94

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla Franjas granulométricas del material de base granular	24
Tabla 2. Distribución Granulométrica de suelos aptos para Suelo-Cemento	31
Tabla 3. Sistema de Clasificación de Suelos	36
Tabla 4. Cálculo del Factor de las Prestaciones Sociales	42
Tabla 5. Cálculo del personal Administración	43
Tabla 6. Cálculo del Vehículos Mensuales	43
Tabla 7. Cálculo de Arrendamientos y Servicios mensuales	43
Tabla 8. Cálculo de Insumo Oficina Mes	44
Tabla 9. Cálculo de Impuestos Mensuales	44
Tabla 10. Pólizas y Seguros	45
Tabla 11. Resumen de Administración	45
Tabla 12. Valor Total Costo Directo Mes	45
Tabla 13. Porcentaje de Administración	46
Tabla 14. Porcentaje de Pérdidas	46
Tabla 15. Porcentaje de Imprevistos	47
Tabla 16. Porcentaje de Utilidad	47
Tabla 17. Resumen AIU del Proyecto	47
Tabla 18. Cálculo de Salario Mano de Obra	48
Tabla 19. Tarifa Equipos	49

	Pág.
Tabla 20. Resumen del Presupuesto Locación Cira C2846 2866 2836 con Adecuación Emulsión Asfáltica	49
Tabla 21. Costo ítem Adecuación con Emulsión Asfáltica	50
Tabla 22. Requisitos Mínimos de Consistencia	51
Tabla 23. Requisitos Mínimos Granulometría	52
Tabla 24. Tamaño de aberturas del tamiz	55
Tabla 25. Resultado de Ensayo realizado en laboratorio	58
Tabla 26. Registro, Obtención de Cálculo y Datos	62
Tabla 27. Plasticidad de diversos suelos arcillosos/limosos	65
Tabla 28. Frecuencia para Ensayos de laboratorio	66
Tabla 29. Cantidad de Cemento para el Ensayo de Compactación	67
Tabla 30. Cantidad porcentual de cemento que debe tener la mezcla Según el tipo de suelo que poseemos	67
Tabla 31. Porcentaje de pérdida máxima en función del tipo de suelo	71
Tabla 32. Espesores Mínimos para cubrimiento de capa estabilizada	75
Tabla 33. Rangos típicos de Durabilidad	76
Tabla 34. Sistema de Clasificación AASHTO dividido para el Procedimiento de Diseño para Suelo-Cemento	78
Tabla 35. Relaciones entre Tipos de suelos y Valores de Soporte	80
Tabla 36. Tasas anuales de crecimiento de tráfico y factores de proyección Correspondientes	82
Tabla 37. Coeficientes de consumo de fatiga	83
Tabla 38. Espesores de superficie bituminosa	86

	Pág.
Tabla 39. Factores de Fatiga representativos para pavimentos de tráfico ligero	87
Tabla 40. Costo ítem Bases Estabilizada en Suelo Cemento	96
Tabla 41. Costo ítem Bases Estabilizada en Suelo Cemento y adecuación emulsión Asfáltica	97

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Presupuesto Obras Civiles Locación Cira C2846 2866 2836 con Adecuación Emulsión Asfáltica	103
Anexo B. Análisis de Precio Unitario Adecuación con Emulsión Asfáltica con suministro de Emulsión, mezcla en patio	106
Anexo C. Análisis de Precio Unitario Base Estabilizada en suelo cemento	108
Anexo D. Presupuesto Obras Civiles Locación Cira C2846 2866 2836 con Base Estabilizada en Suelo Cemento	110

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS OBRAS CIVILES EN LAS LOCACIONES PETROLERAS DEL CAMPO LA CIRA INFANTAS

PALABRAS CLAVE: Capas Estabilizadas, Suelo Cemento y Agua, Diseño de Mezclas, Diseño de Espesores.

DESCRIPCION

En el presente estudio se evalúa una técnica empleada utilizando bases estabilizadas en suelo cemento para el mejoramiento de la subrasante del pavimento de las locaciones petroleras del campo la Cira Infantas, las posibilidades del material de suelo cemento y agua como alternativa viable de diseño contribuye a disminuir los costos de inversión y mantenimiento en la construcción de la subrasante.

En este estudio implica examinar por medio de ensayos de laboratorio la selección del tipo de suelo por medio de diseño de mezclas, que cumpla con las características mínimas para ser estabilizado y el diseño de espesores según las propiedades de tráfico y resistencia.

La implementación de las capas estabilizadas en suelo cemento permite disminuir los costos de inversión de materiales, mano de obra, mantenimiento y un menor impacto ambiental mitigando la presencia de hidrocarburos, los materiales para la construcción de las bases estabilizadas en suelo cemento son encontradas dentro del campo la Cira infantas lo que ahorra el mezclado y transporte desde alguna planta.

Los espesores de capas de suelo cemento varían entre 15 y 20 cm, según el tipo de diseño y la necesidad, además el costo de inversión de las obras civiles de las locaciones petroleras pueden disminuir obteniendo ahorros de 8 al 10 % del costo total del proyecto.

Por medio de este documento se analiza las diferentes posibilidades de uso que se tiene con la implementación del suelo cemento y agua en las diferentes obras de construcción en las locaciones petroleras del campo la Cira Infantas.

Trabajo de grado

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Ing. Alex Fabián Reyes Figueroa

SUMMARY

TÍTULO: TECHNICAL-ECONOMIC STUDY FOR THE IMPROVEMENT OF CIVIL WORKS IN OIL FIELD LOCATIONS THE CIRA INFANTAS

KEYWORDS: Stabilized Layers, Soil Cement and Water, Mix Design, Design Thickness.

DESCRIPTION

In the present study evaluated using a technique employed in soil cement stabilized bases for improving the pavement subgrade locations Cira field oil infantas, the possibilities of soil material cement and water as a viable alternative design helps reduce the investment and maintenance costs in the construction of the subgrade.

In this study involves looking through laboratory tests to select the type of soil through mix design that meets the minimum requirements to be stabilized and design thicknesses according to traffic and resistance properties.

The implementation of soil-cement stabilized layers can reduce the investment costs of materials, labor, maintenance and reduced environmental impact mitigating the presence of hydrocarbons, the building materials in the soil-cement stabilized bases are found within the la Cira field infantas saving mixing and transport from a plant.

The thicknesses of layers of soil cement vary between 15 and 20 cm, depending on the need to design and also the investment cost of the civil works of the locations oil can decrease cost savings of 8 to 10% of total project cost.

Through this document the different possibilities of use we have with the implementation of soil cement and water in the various construction works in the oil field locations analyzed the Cira Princesses.

Grade Investigation Job

Department of physical-chemical Engineering, School of Petroleum Engineering. Director: Ing. Alex Fabián Reyes Figueroa

INTRODUCCION

Para llevar a cabo este trabajo de grado se debe estudiar y analizar los antecedentes constructivos y financieros de las locaciones de los pozos petroleros que permitan determinar un diagnóstico de anomalías en el proceso de construcción. La recolección de datos sobre tipo, calidad, dosificación, costos de inversión de los materiales y mantenimiento es clave en el momento de establecer una técnica de mejoramiento continuo mediante la implementación de nuevos materiales de construcción que faciliten una mayor resistencia de diseño y aumento de vida útil en la construcción y conformación de la subrasante en suelo cemento de la locaciones petroleras. Con esta propuesta se pretende dar a conocer que los costos de mantenimiento y materiales constructivos son menores, además de brindar una mayor estabilidad y resistencia de diseño lo que genera una viabilidad para su implementación.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el campo petrolero de la Cira infantas la construcción de las locaciones petroleras ha sido un trabajo fundamental en la facilidad y adecuación para los pozos petroleros a la hora de manipularlos en una base sólida y confiable de diseño.

La presencia de residuos sólidos e hidrocarburos generan un impacto negativo en el ambiente al existir deterioro de la base asfáltica de la locación creando inconformidades con la comunidad y sanciones ambientales, se genera un alto costo de mantenimiento en el pavimento cada vez que se requiere manipular los equipos en los pozos petroleros, los esfuerzos producidos sobre la capa de rodadura y rasante por las cargas de los equipos y junto a las condiciones de temperatura lleva al deterioro del pavimento, causando pérdida de tiempo y retrasos de las actividades programadas por parte de los equipos de intervención y monitoreo.

Dentro del procedimiento y manipulación de los equipos de mantenimiento en la locación y el desconocimiento de datos que nos proporcione registros de las anomalías del comportamiento de la capa asfáltica nos proporciona incertidumbre de cómo va en deterioro la resistencia de diseño, lo cual lleva a obtener mayor gasto de inversión en mantenimiento de la subrasante del pavimento que genera altos costos de económicos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar una propuesta técnico-económica de las obras de construcción de las locaciones petroleras que permita un mejor proceso constructivo y financiero.

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Recopilar información de los diferentes diseños constructivos de las locaciones petroleras.
- Realizar un estudio técnico y económico de los antecedentes de construcción de las locaciones petroleras de la Cira infantas.
- Proponer un nuevo diseño de construcción utilizando el método de capas estabilizadas (suelo cemento), demostrando su resistencia, propiedades físicas y estándares de calidad por medio de ensayos de laboratorio y su impacto en el medio ambiente.
- Evaluar e identificar la viabilidad de la propuesta al implementar el método de capas estabilizadas que proporciona resistencia de diseño a la base de la locación.

JUSTIFICACION

Como en todo proyecto de ingeniería en la producción de hidrocarburos siempre se busca determinar el más óptimo técnico-económico de los diseños de construcción de las obras civiles para la construcción de la subrasante de las locaciones petroleras, la protección de la biodiversidad de la naturaleza y la confiabilidad de diseño hacen parte de un buen proceso constructivo. Los esfuerzos que causan los equipos de producción y mantenimiento de hidrocarburos en la capa de rodadura y la rasante lleva a que presente deterioro, pérdida de vida útil de los materiales y retrasos en las actividades programadas por parte de los equipos de intervención, que en algunos casos pueden llegar a ocasionar accidentes o sanciones económicas por no cumplir con las metas establecidas. Los residuos contaminantes de hidrocarburos generan problemas ambientales y con la comunidad lo que lleva a implementar programas de socialización ambiental para una mejora continua.

La implementación del método de capas estabilizadas de suelo cemento para el mejoramiento de la subrasante pueden garantizar que las empresas encargadas del mantenimiento de las locaciones, ahorren en gran parte en materiales, transporte y tiempo, garantizando así ahorros y beneficios económicos.

Con la ayuda del método de capas estabilizadas podemos mitigar el efecto de contaminación que se presentan en gran parte cerca de las zonas verdes, ya que depende de agua-suelo-cemento y no de hidrocarburo.

Dentro del estudio técnico-económico se pretende dar a conocer las diferencias existentes de un método a otro y así determinar la viabilidad técnica y económica lo que genera factibilidad del proyecto.

1. GENERALIDADES

1.1 INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIONES DE OBRAS CIVILES EN LAS LOCACIONES PETROLERAS

Dentro de los diseños de construcción de las locaciones petrolera encontramos obras civiles complementarias que son de gran importancia para la estabilización de la plataforma, obras civiles menores como cunetas perimetrales de aguas lluvias, disipadores de energía en concreto, cajas de drenajes en concreto, contrapozos, alcantarillas, anclajes de concreto, cerramientos en alambre de púas y malla eslabonada, estabilización de terreno o taludes en geotecnia como hidrosiembra, siembra de árboles, trinchos en madera y saco suelo cemento, entre otras.

Figura 1. Obras civiles complementarias en las locaciones petroleras



1. Cerramiento en malla eslabonada



2. Disipador de energía en concreto



3. Cunetas Trapezoidales en concreto



4. Estabilizacion de taludes

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

1.1.1 Suministro, Conformación y Nivelación con material de Afirmado. Se llama afirmado a la capa de acabado de material granular que se deberá colocar sobre la subrasante de la explanación, dentro de este procedimiento tenemos el corte, la graduación, cargue y descargue, extendida, humedecida o secado y compactado el material de afirmado en los sitios indicados por los planos de construcción.

Se tomaran los niveles respectivos del terreno con equipo de topografía, el material de afirmado colocado debe ser compactado con vibro compactador autopropulsado, dispondrá de capas de 20 a 40 cm y compactarlo hasta obtener una densidad seca del 95% de la obtenida en el ensayo Proctor estándar, el material se trabaja con una humedad de 2 a 4% por encima de la óptima de compactación del ensayo Proctor estándar.

1.1.2 Suministro e Instalación de Base Granular. El procedimiento consiste en el suministro, transporte, colocación, humedecimiento o aireación, extensión y conformación, compactación y terminado de material de base granular aprobado sobre una superficie preparada en una o varias capas, de conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicadas en los planos y demás documentos del proyecto. Dentro de las especificaciones se denomina base granular a la capa granular localizada entre la subbase granular y la capa asfáltica en los pavimentos asfálticos. Los agregados para la construcción de la base granular se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tabla Franjas granulométricas del material de base granular¹

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA			
	NORMAL	ALTERNO	BG-1	BG-2
37.5 mm	1 1/2"	100	-	-
25.0 mm	1	70-100	100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45	20-45
425 µm	No.40	10-30	10-30	10-30
75 µm	No.200	5-15	5-15	5-15

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

¹ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

1.1.3 Adecuación con Emulsión Asfáltica - con Suministro de Emulsión. El procedimiento de mezclado con emulsión asfáltica se describe de acuerdo con las siguientes especificaciones:

Primero se procederá a aplicar agua al cordón del material, con un carro tanque equipado con flauta para riego, para luego mezclar el material hasta obtener una humedad uniforme entre el 8% y 10%, después se extiende con la motoniveladora una capa de material de espesor delgado y se procede con el carrotanque a efectuar el riego de emulsión asfáltica de tipo CRL-1. Posteriormente, sobre la capa anterior, se extiende otra capa y se repite el proceso hasta completar la aplicación del producto asfáltico sobre el cordón de acuerdo con una dosificación de 50 galones por m³ de material suelto.

Una vez aplicada la emulsión asfáltica se mezcla el cordón de material con la cuchilla de la motoniveladora, hasta lograr una mezcla homogénea y de color uniforme. Se acordona el material en un costado de la vía o locación, se verifica el mezclado, dosificación, textura etc. Se procede a extenderlo, conformando la banca, dejando una superficie uniforme con bombeo transversal del 2% hacia las cunetas y el respectivo peralte en las curvas horizontales, una vez realizado este procedimiento se compactará con el vibro compactador autopropulsado cubriendo toda la superficie y por lo menos aplicando tres pasadas, partiendo de la orilla al centro de la calzada y del borde inferior hacia el borde superior en los tramos del peralte.

Finalmente se procederá a aplicar, sobre toda la superficie adecuada, un riego superficial a manera de sello, utilizando emulsión asfáltica disuelta con agua en proporción 1:4. La adición de agua a la emulsión asfáltica será autorizada únicamente por la interventoría.

1.2 INFORMACIÓN DE LOS DIFERENTES DISEÑOS CONSTRUCTIVOS EN SUELO CEMENTO EN COLOMBIA

La experiencia en estabilización de suelos con cemento en nuestro país, data de 1.965, cuando se hicieron ensayos para su utilización en algunos barrios de la ciudad de Medellín.

En 1.965 se estabilizaron 25 km, en la vía Santander de Quilichao-Popayán, probando la técnica con buenos resultados. En la vía que comunica a Medellín con Cartagena se estabilizaron en 1.969 los sectores San Jorge- Planeta Rica y la Ye-Sincelejo, el primero en una longitud de 47,3 km. Y el segundo en unos 62,2 km, lo cual los convertía en proyectos de gran importancia en su momento.

“En Colombia se han realizado con suelo-cemento importantes proyectos viales desde la década de los años sesenta”

De épocas similares datan un sin número de proyectos importantes en el país como son algunos sectores de las vías de Cali-Popayán, Ibagué- Villanueva y Arauca, así como los aeropuertos de Cartagena, Cúcuta, Montería y San Andrés.

1.3 RECURSOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Básicamente son tres los recursos para llevar a cabo un proyecto de suelo-cemento: el recurso humano, económico y técnico.

1.3.1 Recurso Humano. El proyecto debe contar necesariamente con un ingeniero entrenado en el uso de mezclas de suelo cemento y que tenga la experiencia suficiente de acuerdo al tamaño del proyecto para asumir la responsabilidad; un encargado de obra al frente de los detalles, mediciones y demás elementos operativos de importancia en el proyecto; el personal operativo que consta de no menos de 6 personas encargadas de la manipulación del cemento antes de la estabilización y un apoyo administrativo no necesariamente dedicado por completo al proyecto.

Dentro de los salarios del equipo de recursos humanos estarán regidas en la tabla de salarios propios en la industria del petróleo, ya que sus actividades a ejecutar están dentro de la zona industrial del centro de Ecopetrol.

Dentro de los recursos humanos encontramos los siguientes:

- Director de Obra
- Ingeniero civil-residente
- Ingeniero QA/QC
- Inspector de obra
- Profesional HSE
- Albañil
- Ayudantes de obra
- Obreros
- Administrador de obra
- Operador de maquinaria pesada-carrotanque-motoniveladora-vibro compactador etc.

1.3.2 Recurso Económico. Es el combustible del proyecto, la velocidad de avance del programa de trabajo es directamente proporcional a la inversión del capital. Es fundamental programar cuidadosamente el flujo de fondos y garantizar su cumplimiento, pues de éste depende el tiempo de ejecución del proyecto y la consiguiente rentabilidad para el constructor.

1.3.3 Recurso Técnico. Tiene relación directa con los equipos, procesos constructivos, procesos de control y sistemas de seguridad en la obra. Este recurso es el responsable de la rapidez en la ejecución y de la calidad de los trabajos. Es el equilibrio perfecto y de allí partirá la estrategia del planificador. Para la construcción de las bases estabilizadas en suelo cemento, el equipo necesario para su elaboración es el siguiente:

- Maquina estabilizadora
- Elementos para la compactación
- Motoniveladora
- Carro tanques para aplicar agua con flauta de riego.
- Material de construcción y curado de la capa compactada
- Elementos de transporte
- Herramientas menores

Una forma sencilla de identificar la importancia de cada uno de los recursos antes mencionados es graficar dicha importancia a la luz de dos objetivos básicos: rendimientos constructivos y calidad de obras.

Figura 2. Rendimientos Constructivos para bases estabilizadas con emulsion



Fuente. Él autor

Frentes a los rendimientos constructivos sabemos que el factor predominante o el que mayor impacto puede causar es el recurso económico. De él dependerá, en gran medida, la continuidad e intensidad del proyecto. Por otra parte para lograr una excelente calidad en los trabajos, el proyecto dependerá en gran medida del recurso humano como la muestra la siguiente grafica

Figura 3. Rendimientos Constructivos para bases estabilizadas en suelo cemento



Fuente. Él autor

Un análisis más profundo evidencia que, si bien para lograr rendimientos dependemos del dinero y para lograr calidad dependemos del recurso humano, el recurso técnico se mantiene constante en su nivel de importancia frente a los dos objetivos. Esto nos lleva a concluir que, aunque los tres recursos sean de gran importancia, se debe tener de especial cuidado en la etapa de planeación con el recurso técnico necesario debido a que de él depende gran parte del éxito integral del proyecto.

1.3.3.1 El suelo: En general podrá ser material del sitio, proveniente de préstamo o la mezcla de los dos, deberá estar libre de materia orgánica y debe cumplir las siguientes condiciones.

Porcentaje en peso de partículas retenidas en el tamiz # 4 menor del 50%.

Porcentaje en peso de partículas que pasan el tamiz # 200 menor del 50%

El tamaño máximo no podrá ser superior a 75 mm ni superar la mitad de la capa compactada.

Plasticidad: La fracción al tamiz # 40 deberá presentar un límite líquido inferior a 35 y un índice plástico menor que 15.

Límite líquido ≤ 35

Índice plástico ≤ 15

Estos límites se pueden exceder si el equipo de mezclado garantiza una perfecta pulverización de la mezcla.

Composición química: la presencia de sulfatos en el suelo S04 no podrá exceder el $\frac{1}{2}$ en peso.

1.3.3.2 El Cemento: Debe ser tipo portland y cumplir con las normas de calidad establecidas para el producto. Además no se permitirá el uso de cemento endurecido o cuya fecha de vencimiento se haya superado.

1.3.3.3 El Agua: El agua de adición a la mezcla deberá cumplir estos requisitos:

Agua limpia, libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas.

PH comprendido entre 5.5-8.0

Contenido de sulfatos S04, no podrá ser superior a un gramo por cada litro.

1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS²

Existen dos vías para proceder a la clasificación de los suelos, la primera y más precisa, es por medio de ensayos físicos de laboratorio .La segunda, mucho

² **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

menos precisa, es por medios de ensayos elementales de campo que no requieren una tecnología especializada.

La primera variante debe ser la de mayor utilización debido a que con una debida clasificación prácticamente se garantiza la calidad requerida de la mezcla con un mínimo consumo de cemento. Sin embargo, pueden existir constructores aislados que por razones del poco volumen de construcción a realizar consideren más práctico (aunque más costoso) utilizar la clasificación de campo y por ende emplear la segunda variante.

1.5 SUELOS APTOS PARA MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO³

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce.

Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso del suelo. Además, que la laborabilidad sea tal que permita la producción de los elementos a fabricar.

Con los suelos aptos el suelo-cemento debe ser estable en la contracción, tener una absorción de agua adecuada y alcanzar las resistencias necesarias en el menor tiempo.

El rango granulométrico del suelo en % pasado expresado en la Tabla 2 garantiza las buenas propiedades del suelo-cemento y es el siguiente:

³ Ibidem

Tabla 2. Distribución Granulométrica de suelos aptos para Suelo-Cemento⁴

Tamiz	% que pasado
3 pulg.	100
No. 4	100 – 50
No. 40	100 – 15
No. 200	50 – 10

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corra

En sentido muy general, para la mezcla de suelo-cemento, definiremos los suelos en dos tipos: suelos eficientes y suelos deficientes.

1.5.1 Suelos eficientes: Estos son los que naturalmente reaccionan perfectamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento y entre estos podemos citar:

- Suelos arenosos y suelos con grava
- Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas
- Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad

1.5.2 Suelos arenosos y suelos con grava: Estos suelos con aproximadamente entre un 10% y un 35% de limo y arcilla combinados, tienen las características más favorables y generalmente requieren la mínima cantidad de cemento para un endurecimiento adecuado.

1.5.3 Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas: los suelos arenosos con deficiencia de partículas finas, tales como arenas de playas permiten obtener un buen suelo cemento a pesar de que la cantidad de cemento necesario será mayor que para los arenosos normales.

⁴ **JOSE TOIRAC CORRAL:** El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

1.5.4 Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad: permiten preparar un suelo-cemento satisfactorio, pero mientras más arcilloso, mayor será el porcentaje de cemento que necesitará nuestra mezcla.

1.5.5 Suelos deficientes: Estos son los que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, necesitan mucho cemento para poder endurecer y entre estos podemos citar:

- Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad
- Suelos orgánicos

1.5.6 Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad: estos necesitan buena cantidad de cemento debido a su alta plasticidad y poca resistencia.

1.5.7 Suelos orgánicos: son suelos con mucha materia orgánica lo que dificulta mucho el proceso además de que necesitan mucho cemento para poder endurecer no son muy recomendables, es decir, sería mejor no hacerlo con este tipo de suelo.

1.5.8 Suelo ideal: un suelo que sería ideal para la mezcla de nuestro suelo-cemento debe cumplir con varios requisitos con los cuales diríamos que nuestra mezcla fuera casi perfecta y el volumen de cemento fuera mínimo debido a que las deficiencias del suelo fueran mínimas también.

El suelo ideal para una mezcla suelo-cemento debe cumplir con las siguientes características para que dicha mezcla sea de buen funcionamiento y posea cantidades mínimas de cemento:

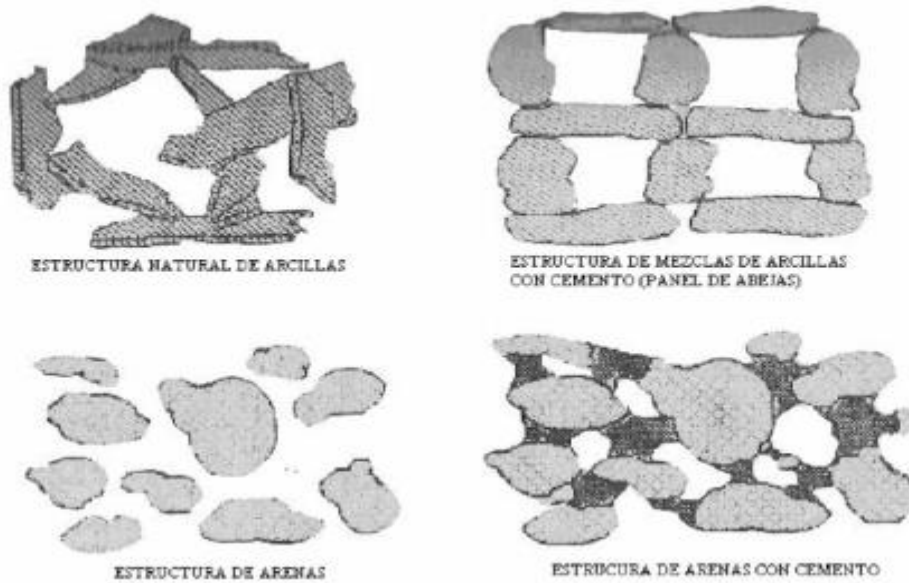
Granulometría:

- Máximo agregado de arena 80% (óptimo del 55% al 75%)
- Máximo agregado de limo 30% (óptimo 0% al 28%)
- Máximo agregado de arcilla 50% (óptimo 15% al 18%)
- Máximo agregado de materia orgánica 3%
- Debe pasar por un tamiz de 4,8 mm (#4)
- Humedad 18%

1.6 MEZCLAS DE SUELO CEMENTO

Cuando los suelos que abundan en una determinada zona no cumplen con la granulometría especificada en la Tabla 2, por exceso o defecto de alguna fracción (fina o gruesa) siempre es posible añadir otro suelo para lograr la mezcla deseada. Por ejemplo, si se diera el caso de un suelo con demasiado contenido de fracciones gruesas y poca o ninguna fracción fina, sería necesario encontrar otro suelo que al contrario tuviera bastante arcilla para determinar la proporción necesaria a añadir al suelo granular. De esta forma se obtiene un nuevo suelo que sí nos cumple con el rango granulométrico (sin exceder los requisitos de plasticidad) y es apto para obtener una buena mezcla que ahora sería, suelo-suelo-cemento.

Figura 4. Partículas de Arcilla y Arena antes y después de ser mezclados⁵



Fuente. VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

⁵ VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO⁶

Como se ha señalado en el punto: “Clasificación de los suelos “, existen dos posibilidades para mezclas de suelo-cemento, el método de laboratorio (preciso), y el método de campo (poca precisión).

Según sea la necesidad de clasificar suelos para un plan de construcción de varias obras o que se requiera para una obra aislada, se tomaría el método de laboratorio o de campo respectivamente.

A continuación se procederá a presentar ambos métodos de clasificación.

Método de Clasificación Basado en Ensayos de Laboratorio.

Todos los ensayos básicos para clasificar los suelos se realizarán basados en normas y estos son:

- Ensayos de granulometría.
- Ensayos de límites de consistencia.

1.7.1 Suelo A-1. Estos suelos están constituidos por fragmentos de rocas, gravas y arenas.

Se puede deducir que con estos suelos, por sí solos, no se lograrían mezclas económicas y de fácil laborabilidad, ya que prácticamente no existe la fracción fina compuesta por arcillas y limos. Por lo tanto los suelos A-1 se encuentran en aquellos casos en que hay que añadir otro suelo que contengan un elevado contenido de fracción fina (suelo-suelo-cemento).

1.7.2 Suelos A-2. Estos son los suelos ideales para producir suelo-cemento debido a su amplia granulometría, ya que contienen casi todas las fracciones; gravas, arenas, limos y arcillas. Dentro de este grupo hay que destacar los suelos A-2-4 como el óptimo que puede entregar la naturaleza.

Con estos suelos raras veces se supera el 6% de cemento (en peso) en las mezclas de suelo-cemento para obtener las características deseadas.

⁶ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

1.7.3 Suelo A-3. Estos suelos están compuestos por arenas más bien finas (arenas de playa) y tienen las mismas deficiencias que los suelos A-1, la ausencia de una fracción fina (arcillas y limos)

Además, por ser arenas finas carecen de una fracción gruesa (gravilla y arena gruesa) y esto puede ser perjudicial en el sentido que habrá una mayor necesidad de pasta de cemento para lograr la mezcla adecuada y por lo tanto se incrementarán los costos por mayor consumo de cemento.

1.7.4 Suelos A-4 y A-5. Estos suelos son generalmente limosos ligados con arcillas y arena de fina a media. Para grandes áreas de construcción se requiere mezclar los mismos con suelos más gruesos o incrementar los por cientos de cemento para lograr mezclas adecuadas.

1.7.5 Suelos A-6 y A-7. Estos suelos por sus altos contenidos de arcillas resultan muy costosos en las mezclas de suelo-cemento por las siguientes razones:

- Requieren mayor consumo de cemento.
- Muy difícil secarlos al aire y destruir sus grumos.
- Sufren grandes contracciones al secado (producen grietas y fisuras).
- Requieren mucho tiempo para lograr una buena mezcla con el cemento.

Tabla 3. Sistema de Clasificación de Suelos⁷

Clasificación General	Suelos Granulatos (35% o menos pasando el tamiz No. 200)						Suelos Finos (Más del 35% para tamiz No. 200)			
	A-1	A-1-b	A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			
SUB-GRUPOS										
	50 máx									
	30 máx	50 máx	51 min							
Porcentaje que pasa el tamiz No.	10 (2.0 mm)									
	40 (0.42 mm)									
Características del material que pasa el tamiz No.40	200 (0.074 mm)	25 máx	10 máx.	35 máx.	35 máx	35 máx.	35 máx	36 min	36 min	
Límite Líquido										
Límite Plástico										
INDICE DE GRUPO	6 máx		NP	10 máx.	10 máx	11 min	11 min	10 máx	11 min	
TIPO DE MATERIAL	0	0	0	0	0	4 máx		8 máx.	12 máx	
VALORACION	Frag de piedra, grava y arena	Bueno requiere adición de suelo fino para hacerlo laborable	arena fina	Grava y arenas limosas o arcillosas		suelos limosos		suelos arcillosos		
		requiere añadir suelos finos	Excelente	Buenos		Regular		No es recomendable su uso por requerir elevados consumos de cementos		

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

⁷ JOSE TOIRAC CORRAL: El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

1.8 PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE ENSAYOS SIMPLES DE CAMPO⁽²⁾

Los procedimientos o ensayos que pueden realizarse sin tecnología especializada y a pie de obra, más que clasificar los suelos, permiten identificarlos. Como la identificación de la humedad (sea para conocer la humedad natural del suelo a los límites líquidos, plásticos y por ende a los límites de plasticidad) requieren de balanzas con una precisión de 0.1 g (mínimo), no es práctico incluir esta determinación a pie de obra, por lo cual el uso del sistema de clasificación HRB solo será orientativa.

Los ensayos que se requieren realizar para la identificación de los suelos de manera empírica son:

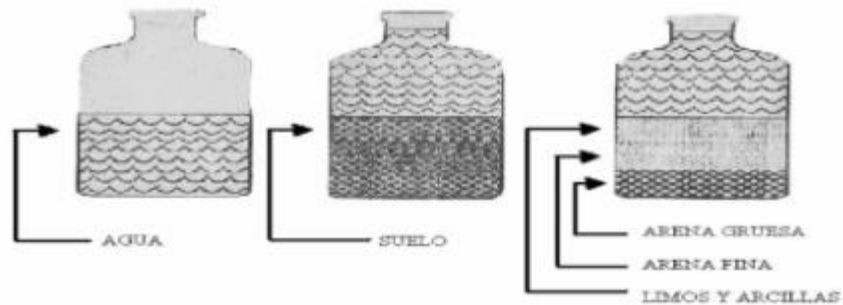
- Para la granulometría ----- Ensayo de la botella de sedimentación
- Para la plasticidad -----Ensayo del bastoncillo.

1.8.1 Procedimiento de ensayo de la botella de sedimentación. Permite obtener información sobre el contenido granulométrico del suelo, de forma aproximada.

Se requiere para realizar este ensayo un frasco transparente de boca ancha, fondo plano y lados rectos. Se llena primeramente el pomo hasta un tercio de su altura con agua limpia, después se añade un volumen equivalente de una muestra representativa del suelo (secado al aire y eliminadas las fracciones superiores a 5 mm) en el pomo con agua. Finalmente se añade una cucharadita de sal común y se tapa herméticamente el pomo para proceder a batir la mezcla por uno tres minutos aproximadamente para que la sal (que trabaja como de floculante) pueda separar todas las partículas finas del suelo. Concluido el batido, se deja reposar la mezcla 30 minutos sobre una mesa.

Se repite la operación de batido por segunda vez, durante unos dos minutos y se somete a reposo sobre la mesa. Unos minutos después, el agua comenzará a aclararse, las partículas descenderán más despacio y por lo tanto se depositaran en la parte superior sobre las partículas más gruesas. Se observaran claramente de dos a tres capas, arenas gruesas, finas y posiblemente limos y arcillas. De esta forma se puede medir la altura total de la muestra y la de las capas individuales que llevando a por ciento nos dará una idea aproximada de la granulometría del suelo. En la figura 5 se podrá observar este ensayo.

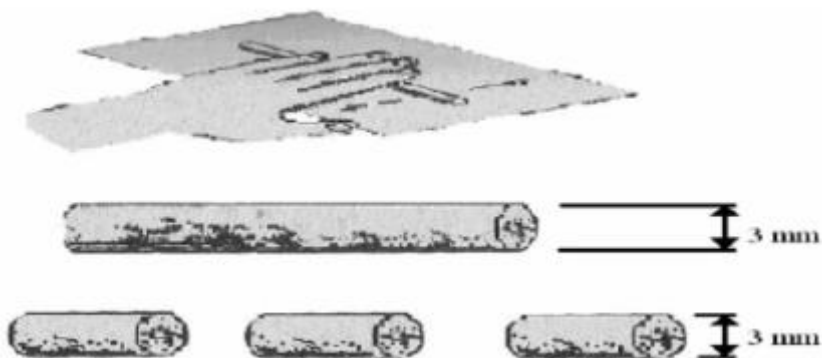
Figura 5. Ensayo de Botella⁸



Fuente. VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

1.8.2 Procedimiento de ensayo de bastoncito. Para determinar aproximadamente la plasticidad de un suelo fino y por ende su contenido mayor o menor de arcilla se emplea el denominado “ensayo del bastoncillo”. Este ensayo consiste en tomar la fracción fina de un suelo secado al aire y proceder a añadirle agua hasta que el suelo pueda moldearse como plastilina. Inmediatamente después se pasa a fabricar un “bastoncillo” sobre una superficie lisa y plana con la palma o dedos de la mano. Si al alcanzar un diámetro de 3mm, el “bastoncillo” no se ha agrietado o fracturado, se estará en presencia de un suelo altamente plástico, lo que implica un contenido elevado de arcilla contrario si el “bastoncillo” se fractura antes o en el momento de alcanzar los 3mm, se estará en presencia de un suelo poco plástico o limoso.

Figura 6. Ensayo de Bastoncito⁹



Fuente. VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

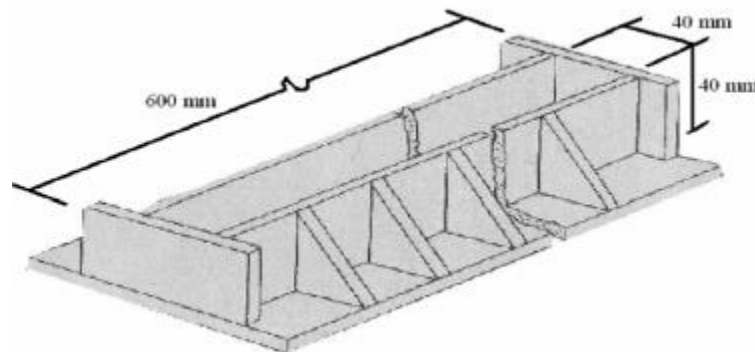
⁸VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

⁹Ibidem

1.8.3 Procedimiento de ensayo de Caja. Otro ensayo de campo muy útil para conocer la posible contracción que sufrirá el suelo al secado, es el llamado “**ensayo de la caja**”. La contracción es importante en cualquier tipo de elemento que se desee fabricar con suelo-cemento, fundamentalmente paneles y paredes monolíticas de grandes dimensiones, ya que una excesiva contracción podrá producir fisuras y grietas indeseables.

Para la ejecución de este ensayo se requiere de una caja de madera con dimensiones 40mm x 40mm x 600mm como se muestra en la figura 7. El primer paso es engrasar las caras interiores de la caja para reducir al máximo la fricción durante la contracción.

Figura 7. Ensayo de la Caja¹⁰



Fuente. VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

Se prepara una muestra de suelo por el tamiz de 5mm, añadiéndole agua hasta que la mezcla alcance la consistencia similar. Esta mezcla se introduce en la caja comprimiéndola manualmente de forma tal que no queden vacíos y se nivela la parte superior con una regla o listón recto. La caja se sitúa en un lugar donde este expuesta a los rayos solares durante 3 días o en la sombra por 10 días. En cualquiera de los dos casos debe estar protegida de las posibles lluvias.

Si el suelo tiene un alto contenido de arcilla la muestra se contraerá en el molde sin fracturarse (solo se reduce en volumen). Si al contrario, la muestra se fragmenta en pedazos más o menos iguales en la dirección longitudinal, significa que estamos en presencia de suelos muy arenosos sin prácticamente limos ni arcillas.

¹⁰ Ibidem

La contracción se mide en función del por ciento de reducción longitudinal con respecto a la longitud de la caja (600mm). Esto se realiza sumando la reducción de longitud en cada extremo, C1 y C2 respectivamente expresados en mm.

Dicho valor se divide por 600 y se multiplica el resultado por 100.

$$\% \text{ contracción} = (C1 + C2 \times 100) / 600$$

Para el caso de paredes monolíticas este valor se limita a un máximo de 3%.

2. ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LOS ANTECEDENTES DE CONSTRUCCIÓN DE LAS LOCACIONES PETROLERAS DE LA CIRA INFANTAS

Como en todo proyecto de ingeniería, los costos está basados en un análisis de precios unitarios A.P.U, dirigido a encontrar el precio por unidad de trabajo, sumando cinco grandes centros de costos que en su filosofía son el reflejo de cómo transformamos los materiales en un bien por medio de un servicio.

Estos son: Herramientas Menor, Equipo, Materiales, Transporte, mano de Obra y el A.I.U

A continuación se realiza el presupuesto y análisis de precios unitarios de las actividades de obras civiles para la construcción de la locación petrolera C2846 2866 2836, se calcula el A.I.U al igual que el valor de los costos de equipos, los salarios del personal operativo encargado de las labores de campo son los que están estipulados en la tabla de salarios de la industria del petróleo.

En primera instancia se realiza el cálculo del A.I.U en donde apreciamos los gastos por mes del proyecto calculando una administración, imprevisto y seguido a la utilidad del proyecto.

Para el análisis de este trabajo tomaremos como guía la construcción de la locación CIRA C2846 2866 2836 ubicada en el campo petrolero la Cira infantas. Se realiza el cálculo del factor de las prestaciones sociales.

Tabla 4. Calculo del Factor de las Prestaciones Sociales

OBRAS CIVILES PARA CONSTRUCCION DE LOCACIONES PETROLERAS Y OBRAS CIVILES COMPLEMENTARIAS EN EL CAMPO LA CIRA INFANTAS Y SU AREA DE INFLUENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER		
CÁLCULO DEL FACTOR DE PRESTACIONES SOCIALES		
ITEM	DESCRIPCION	VALOR PARCIAL
1	CESANTIAS	8,330%
2	INTERESES A LA CESANTIA	1,000%
3	PRIMA DE SERVICIOS	8,330%
4	VACACIONES	4,170%
5	PARAFISCALES	
	SENA	
	ICBF	
	CAJA DE COMPENSACIÓN	4,000%
6	SEGURIDAD SOCIAL	
	SALUD	8,500%
7	PARAFISCALES SOBRE VACACIONES	0,375%
8	SEGURIDAD SOCIAL SOBRE VACACIONES	0,839%
	PENSIONES	12,000%
7	RIESGOS PROFESIONALES	6,960%
8	OTROS	0,000%
PORCENTAJE TOTAL PRESTACIONES SOCIALES		54,50%

Fuente. Él autor -Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Se realiza el cálculo del A.I.U teniendo en cuenta los costos del personal administrativo, servicios de vehículos, arrendamientos, costos de insumos etc.

a. **CÁLCULO DEL AIU**

i. **Administración**

Tabla 5. Calculo del personal Administración

A. PERSONAL MENSUAL			
DESCRIPCION	CANTIDAD	Vr. UNIT.	TOTAL MES
Director de Obra	1,0	\$5.000.000	\$5.000.000
Ingeniero Civil-Residente	1,0	\$4.000.000	\$4.000.000
Profesional Seguridad HSE	1,0	\$2.000.000	\$2.000.000
Ingeniero QA/QC	1,0	\$3.000.000	\$3.000.000
Inspector de Obra	1,0	\$2.000.000	\$2.000.000
Administrador de obra	1,0	\$2.000.000	\$2.000.000
			\$18.000.000

Fuente. Él autor -Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Tabla 6. Calculo del Vehículos Mensuales

B. VEHICULOS MENSUALES SUPV.	2,0	\$3.600.000	\$7.200.000
------------------------------	-----	-------------	--------------------

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Tabla 7. Calculo de Arrendamientos y Servicios mensuales

C. ARRENDAMIENTOS Y SERVICIOS MENSUALES			
DESCRIPCION	CANTIDAD	Vr. UNIT.	TOTAL MES
Servicio de Internet	1,00	\$60.000	\$60.000
Servicio de Agua	1,00	\$30.000	\$30.000
Arriendo	1,00	\$450.000	\$450.000
Servicio de Luz	1,00	\$130.000	\$130.000
Servicio de Teléfono	1,00	\$70.000	\$70.000
Servicio de Avantel	3,00	\$40.000	\$120.000
			\$860.000

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Tabla 8. Calculo de Insumo Oficina Mes

D. COSTO INSUMOS OFICINAS MES			
DESCRIPCION	CANTIDAD	Vr. UNIT.	TOTAL
Impresiones	200	\$1.200	\$240.000
Insumos	1,0	\$200.000	\$200.000
Papelería en general	6,0	\$70.000	\$420.000
Fotocopias	260	\$100	\$26.000
			\$886.000

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Para el cálculo del valor aproximado facturación mes, tomamos como referencia el valor total del contrato según las cantidades contractuales tomados con comisión topográfica.

Valor total del contrato= \$ 1.055.430.791

El valor total del contrato se divide por el periodo de ejecución del mismo destinado que son 120 días.

Valor aproximado facturación mes= Valor del contrato / Tiempo de ejecución contrato.

Valor aproximado facturación mes= \$ 1.055.430.791/ 4 meses.= \$ 263.857.698

Tabla 9. Calculo de Impuestos Mensuales

E. IMPUESTOS MENSUALES	
DESCRIPCION DEL IMPUESTO	Porcentaje
INDUSTRIA Y COMERCIO	1,00%
RETEIVA	0,40%
IVA SOBRE UTILIDAD	0,80%
TOTAL IMPUESTOS	2,20%
VALOR APROXIMADO FACTURACION MES TOTAL	\$263.857.698
VALOR IMPUESTOS	\$5.804.869

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Tabla 10. Pólizas y Seguros

F. POLIZAS Y SEGUROS	
DESCRIPCION DEL SEGURO	TOTAL
POLIZA DE SEGUROS	\$5.000.000
	\$5.000.000

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Tabla 11. Resumen de Administración

RESUMEN DE ADMINISTRACION	TOTAL
A. PERSONAL	\$18.000.000
B. VEHICULO ADMINISTRACION	\$7.200.000
C. ARRENDAMIENTOS Y SERVICIOS	\$860.000
D. COSTOS INSUMOS OFICINAS	\$886.000
E. IMPUESTOS	\$5.804.869
F. SEGUROS	\$5.000.000
	\$ 37.750.869

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Para el cálculo del costo directo mes se toma el valor aproximado facturación mes y se divide sobre el factor del A.I.U

Valor total Costo directo mes= Valor aproximado facturación mes / factor del A.I.U

Valor total Costo directo mes= \$ 263.857.698 / 1,28= \$206.138.826

Tabla 12. Valor Total Costo Directo Mes

Valor total Costo directo mes	\$206.138.826
-------------------------------	----------------------

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Luego se calcula el porcentaje de administración de la siguiente manera.

Porcentaje de administración= Resumen de Administración / Valor total Costo directo mes.

Porcentaje de administración= \$ 37.750.869 / \$206.138.826 = 0,1831

Porcentaje de administración= 0,1831 x 100= 18,31% aproximación a 18%

Tabla 13. Porcentaje de Administración

Porcentaje de Administración	0,1831
18%	

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

ii. **Imprevistos.** El cálculo de los IMPREVISTOS generalmente se manejan como un fondo rotatorio, es decir, el gerente del proyecto (el contratante) paga al constructor (el contratista) un fondo establecido por ambos para cubrir situaciones inesperadas como:

- Atrasos por efectos del clima
- Accidentes laborales
- Obras adicionales
- Deslizamientos por efectos del clima, derrumbes, entre otros.

Este monto siempre es utilizado en el desarrollo del proyecto ya que siempre se presenta un porcentaje de incertidumbre durante la ejecución del proyecto

Tabla 14. Porcentaje de Perdidas

Factores que influyen en las perdidas	Porcentajes de perdidas
Lluvia	Entre 5-18%
Cemento	Entre 2-6%
Agua	Entre 2-3%
Vibrocompactador	Entre 1-3%
Motoniveladora	Entre 1-3%

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Para este proyecto se estima un porcentaje de Imprevistos del 5% del valor del contrato.

Tabla 15. Porcentaje de Imprevistos

Porcentaje de Imprevistos	5%
----------------------------------	-----------

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

- iii. **Utilidades.** Para el cálculo de la UTILIDAD se maneja como el resultado estimado de un logro de metas conjuntas iniciadas en la inversión del proyecto para la obtención de algún beneficio para la satisfacción de las necesidades conjuntas.

Para este proyecto se estima un porcentaje de Utilidad del 5% del valor del contrato.

Tabla 16. Porcentaje de Utilidad

Porcentaje de Utilidad	5%
-------------------------------	-----------

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

El cálculo del A.I.U se resume de la siguiente manera

Tabla 17. Resumen AIU del Proyecto

EL A.I.U. PARA LA EJECUCION DEL CONTRATO SERIA DEL	
DISCRIMINADOS ASI:	
ADMINISTRACION	18,0%
IMPREVISTOS	5,0%
UTILIDAD	5,0%
A. I. U.	
	28,0%

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Luego de calcular el A.I.U, seguimos a realizar el cálculo de la mano de obra requerida para la ejecución de los trabajos en campo, los salarios están basados en las tarifas propias de la industria del petróleo.

Tabla 18. Calculo de Salario Mano de Obra

DIA ORDINARIO			POSICION (Grupo Salarios Propios de la Industria del Petrolero)				
CARGO DEL PERSONAL			Obrero	Albañil	Ayudante	Operador maquinaria pesada	Conductor volqueta
DESCRIPCION			GRUPO /NIVEL=2	GRUPO / NIVEL=4	GRUPO / NIVEL=3	GRUPO / NIVEL=8	GRUPO / NIVEL=8
1. Salario Básico Diario			\$67.330	\$71.089	\$69.672	\$82.358	\$82.358
2. Prima Compensatoria							
4. Provisión Domingos y Festivos		C= 0,237	\$15.957	\$16.848	\$16.512	\$19.519	\$19.519
5. Provisión Horas Extras	F= 1,25	E= ,0 hrs	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6. SUB - TOTAL			\$83.287	\$87.937	\$86.184	\$101.877	\$101.877
7. Prestaciones Sociales	0,545		\$45.392	\$47.926	\$46.970	\$55.523	\$55.523
8. Dotación			\$3.500	\$3.500	\$3.500	\$3.500	\$3.500
9. Transporte			\$2.355	\$2.355	\$2.355	\$2.355	\$2.355
10. ALIMENTACION			\$10.293	\$10.293	\$10.293	\$10.293	\$10.293
11. TARIFA DIARIA (Antes de AIU)			\$144.827	\$152.011	\$149.303	\$173.548	\$173.548
12. TARIFA HORARIA (Antes de AIU)		8,0 hrs	\$18.103	\$19.001	\$18.663	\$21.693	\$21.693

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

E= No de horas extras que piensa trabajar el contratista.

F= Factor de sobretiempo conforme a la ley.

C= Factor de provisión de domingos y festivos, utilizado en el cálculo de la mano de obra así:

C= 0.237 Si no se espera trabajar en domingos y festivos

C= 0.384 Si se espera trabajar en domingos y festivos.

Atendiendo a la necesidad de la construcción de las locaciones petroleras, se estiman los costos de la maquinaria a utilizar en el proyecto de la siguiente manera:

Tabla 19. Tarifa Equipos

EQUIPOS	TARIFA DIA	TARIFA-HORA
Carrotanque-Agua	\$ 336.000	\$ 42.000
Equipo de Emulsión	\$ 640.000	\$ 80.000
Motoniveladora	\$ 800.000	\$ 100.000
Vibrocompactador-autopropulsado	\$ 800.000	\$ 100.000

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

A continuación se estima el presupuesto de obras civiles para la construcción de la locación petrolera construida en la CIRA C2846 2866 2836, las cantidades contractuales fueron tomadas por comisión topográfica según las necesidades geotécnicas, los resultados esperados se encuentran en el Anexo 1
El presupuesto para la locación petrolera es de \$ 819.665.751

Tabla 20. Resumen del Presupuesto Locación Cira C2846 2866 2836 con Adecuación Emulsión Asfáltica

Resumen del Presupuesto utilizando emulsión	
Plataforma	\$ 819.665.751
Adecuación Zodme	\$ 60.000.000
Reconformación Plataforma	\$ 40.000.000
Movimiento de Líneas	\$ 20.000.000
Mantenimiento vías de acceso	\$ 30.000.000
Vía de acceso	\$ 85.765.040
Total	\$ 1.055.430.791
Costo x pozo	\$ 351.810.264

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Los ítems cotizados se estimaron de acuerdo a las necesidades del terreno, el presupuesto presente incluye obras adicionales realizadas por contratistas como son las obras civiles complementarias e hidrosiembra y construcción de las facilidades como son cerramientos en malla eslabonada etc.

Se realizara el análisis de precios unitarios para el ítem Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio.

Las descripciones de las actividades a analizar son las siguientes:

Tabla 21. Costo ítem Adecuación con Emulsión Asfáltica

Ítem	Descripción Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total
10.1	Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio	M3	913,70	\$216.632	\$197.936.658

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

El análisis de precios unitarios para la adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio se encuentra en el Anexo 2

3. DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO EL MÉTODO DE CAPAS ESTABILIZADAS (SUELO CEMENTO), DEMOSTRANDO SU RESISTENCIA, PROPIEDADES FÍSICAS Y ESTÁNDARES DE CALIDAD POR MEDIO DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE.

- Según el artículo 341-07 del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS, **Sobre base estabilizada con Cemento** explica el procedimiento para la construcción de las capas estabilizadas en suelo cemento para la construcción de las locaciones petroleras.
- La construcción de la capa de base de suelo cemento está constituida por la siguiente manera:
- Material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos, suelo natural provenientes de excavaciones o zonas de préstamo. El material, ya combinado, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar el correcto fraguado del cemento, deberá, además, cumplir con los requisitos generales que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 22. Requisitos Mínimos de Consistencia

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INVIAS	REQUISITO
Limpieza		
Límite Líquido, % máximo	E-125	35
Índice de plasticidad, % máximo	E-125 E-126	15

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Como se había explicado anteriormente los requisitos granulométricos del material para la construcción de bases estabilizadas con cemento Portland son la que se refieren en la siguiente tabla:

Tabla 23. Requisitos Mínimos Granulometría

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
Normal	Alterno	
4,75 mm	# 4	Mínimo 60
75 um	# 200	Máximo 50

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

- Además de esto, el tamaño máximo no podrá ser mayor de setenta y cinco milímetros (75mm), ni superior a la mitad (1/2) del espesor de la capa compactada.
- El cemento utilizado para la construcción de las bases estabilizadas y los ensayos de laboratorio deberá ser Portland Tipo I, si por algún motivo el cemento contiene terrones del producto endurecido, no podrá ser utilizado, tampoco será permitido el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores.
- El agua para la estabilización deberá ser limpia y libre de impurezas, deberá presentar un PH según la norma de ensayo ASTM D-1293 deberá estar entre (5.5 y 8.8), y el contenido de sulfatos, expresado como SO₄ y determinado según la norma ASTM D-516, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1 gramo/litro), si se emplea agua reconocida como potable, no será necesario efectuar ensayos para verificación de sus características.
- Existen dos etapas para el diseño de una estructura de pavimento con la utilización de capas estabilizadas con cemento, estas son: **Diseño de mezclas y Diseño de Espesores**, aunque interactúan en conjunto, persiguen objetivos distintos. Mientras el diseño de mezclas busca encontrar las cantidades adecuadas de suelo, cemento y agua que al combinarlas se obtenga un material durable, resistente y de bajo costo. El diseño de espesores pretende encontrar la dimensión de la capa adecuada para transmitir las cargas de tránsito. Desde estos dos enfoques se encamina el diseño de estructuras con suelo cemento.

3.1 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

Como se mencionó anteriormente, la dosificación de mezclas de suelo-cemento busca principalmente encontrar los contenidos de suelo, cemento y agua

adecuados para que la mezcla resultante se comporte de acuerdo con nuestras necesidades. Por tal razón se deben realizar los siguientes ensayos previos a la masa del suelo:

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Absorción y peso específico aparente de la fracción gruesa

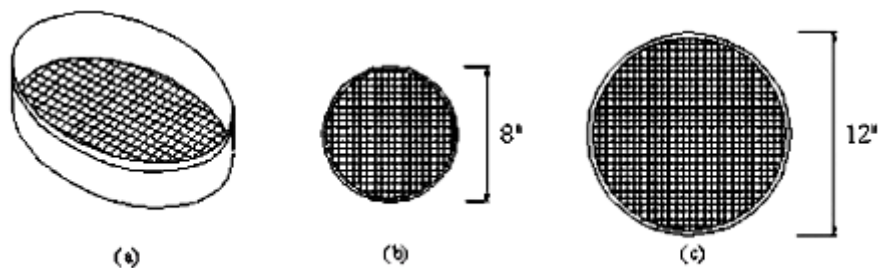
De acuerdo con estos ensayos sabremos si el suelo posee las mínimas características admisibles para ser estabilizados:

- Porcentaje de finura de 0.002 mm menor de 35%
- Porcentaje que pasa por el tamiz # 4 debe ser mayor de 55% Mínimo 60%
- Tamaño máximo 3 pulgadas
- Límite líquido máximo de 35%
- Índice de plasticidad máximo del 15%

3.1.1 Ensayo de Granulometría. Existen suelos que están constituidos de partículas con textura granular compuesto de fragmentos de roca y mineral, por ello la clasificación del tamaño de las partículas se pueden realizar por medio del ensayo de Análisis Mecánico por Tamices o Análisis granulométrico del suelo.

El tamiz que se muestra en la figura 8, consiste de un plato de acero inoxidable con una malla metálica adherida en la parte inferior con aberturas de tamaño uniforme. Existen dos tamaños estándar de tamices los de 8" y 12", mostrados en la siguiente figura.

Figura 8. Tamaños Estándar de Tamices ¹¹



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

En la siguiente figura 9 se muestra un tamizador, que es un equipo de laboratorio donde se instalan las diferentes medidas de tamices, este agita todo el conjunto de tal manera que el suelo puede descender por todos los tamices que clasifican el tamaño de las partículas.

Se instalan los tamices en forma descendente, el de mayor abertura en la parte superior y el de menor abertura en la parte inferior, el suelo es colocado en el tamiz superior y también se coloca un plato en la parte inferior del último tamiz para recibir la fracción más fina de suelo. Deben seleccionarse con cuidado los tamices que se van a instalar, el tamizador permite regular la intensidad y el tiempo del tamizado.

Los números de mallas estándar con sus tamaños de aberturas se dan en la tabla 24.

¹¹ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

Figura 9. Tamizador de Laboratorio¹²



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Tabla 24. Tamaño de aberturas del tamiz¹³

<u>malla</u>	<u>abertura(mm)</u>
<u>4</u>	<u>4,750</u>
<u>6</u>	<u>3,350</u>
<u>8</u>	<u>2,360</u>
<u>10</u>	<u>2,000</u>
<u>16</u>	<u>1,180</u>
<u>20</u>	<u>0,850</u>
<u>30</u>	<u>0,600</u>
<u>40</u>	<u>0,425</u>
<u>50</u>	<u>0,300</u>
<u>60</u>	<u>0,250</u>
<u>80</u>	<u>0,180</u>
<u>100</u>	<u>0,150</u>
<u>140</u>	<u>0,106</u>
<u>170</u>	<u>0,088</u>
<u>200</u>	<u>0,075</u>
<u>270</u>	<u>0,053</u>

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

¹² Ibidem

¹³ Ibidem

Para realizar este proceso, se sigue de la siguiente forma, el suelo se seca en horno, y luego todos los grumos se disgregan en partículas pequeñas antes de ser pasados por las mallas esto con el fin de obtener el perfil real del suelo y minimizar los errores en el ensayo, después de disgregados los grumos se toma la muestra y se hace pasar por los tamices, para ello con ayuda de un vibrador, con el fin de que exista un margen de error pequeño en el intercambio de las partículas entre los tamices para que no quede mucho material retenido en algún tamiz que no le corresponda su respectivo diámetro. Después de concluido el periodo de vibración se pasa a desmontar el equipo de tamices y se pasa a determinar la masa del suelo retenido en cada malla.

Generalmente los resultados por tamizado son expresados como porcentajes del peso total de suelo que ha pasado por las diferentes mallas.

3.1.1.1 Materiales y Equipos utilizados en el Ensayo.

- Tamices de tamaños variados
- Taras
- Muestra de suelo
- Tamizador eléctrico (VIBRADOR)
- Cepillos y pinceles para extraer todo el material de los tamices
- Balanza

3.1.1.2 Procedimiento Ensayo granulometría

- Se toma el peso inicial de la muestra a ensayar.
- Se pesan las taras vacías
- Se forma la columna de los tamices, organizándolos de acuerdo al tamaño de su abertura (en mm) de forma que el primer tamiz sea el de menor abertura.
- Se dispone la columna de tamices en el tamizador eléctrico y se programa su funcionamiento para diez minutos de tamizado.

- Se baja la muestra del tamizador y se separan los tamices con sus respectivos porcentajes de suelo retenido.
- Se deposita el material de cada tamiz en una tara diferente.
- Se toman los pesos de las taras más el suelo respectivo.
- luego de conocido, la cantidad de material retenido pasamos a realizar el cálculo del porcentaje de material que pasas cada tamiz, hasta llegar al tamiz 200 que es aquel que nos define el límite entre finos y gruesos.

Resultados tomados en laboratorio resumidos en tabla

Datos:

Mss + tara (Kg.): 1.265 Kg. (1265 g)

Mss: 1110 g

Msw + tara (kg.): 3.350 kg. (3350 g)

Mt: 0.155 kg. (155 g)

Para el cálculo de los datos que se necesitan como; peso retenido en cada malla, % acumulado y % retenido, se utilizaran las siguientes formulas:

Figura 10. Fórmula Cálculo Porcentaje que pasa¹⁴

$$1) \quad W_{retenido}(g) = (W_{suelo + tara}) - (W_{tara})$$

$$2) \quad W_{retenido}(\%) = \frac{W_{retenido}(g)}{W_{inicial}(g)} * 100\%$$

$$\%Pasa = 100 - W_{retenido}(\%)$$

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

¹⁴ Ibidem

Tabla 25. Resultado de Ensayo realizado en laboratorio¹⁵

tamiz	abertura (mm)	W. Retenida(g)+tara	W. Retenido (g)	W. Retenido (%)	% pasa acumulado
8	2,4	346,8	191,8	17.2	82.8
16	1,2	426,1	271,1	24.4	58.4
30	0,6	319,8	164,8	14.84	43.56
40	0,4	223,9	68,9	6.2	37.36
50	0,3	208,4	53,4	4.9	32.46
100	0,2	305,0	150,0	13.51	18.95
200	0,1	285,8	130,8	11.8	7.15
fondo		224,6	69,6	6.27	0.8

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Figura 11. Ensayo granulometría-secado muestra¹⁶



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

¹⁵ Ibidem

¹⁶ Ibidem

Después de múltiples estudios y pruebas de laboratorio de distintos suelos, se llegó a la conclusión que la granulometría, la densidad, el contenido de agua, la superficie específica, el contenido de materia orgánica y la resistencia a la compresión del suelo sin tratar, contribuyen a la estabilización con la adición de cemento; sin embargo cada uno de estos factores de manera individual no tienen un efecto predominante.

3.1.2 Ensayo de Límites de Atterberg. Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad.

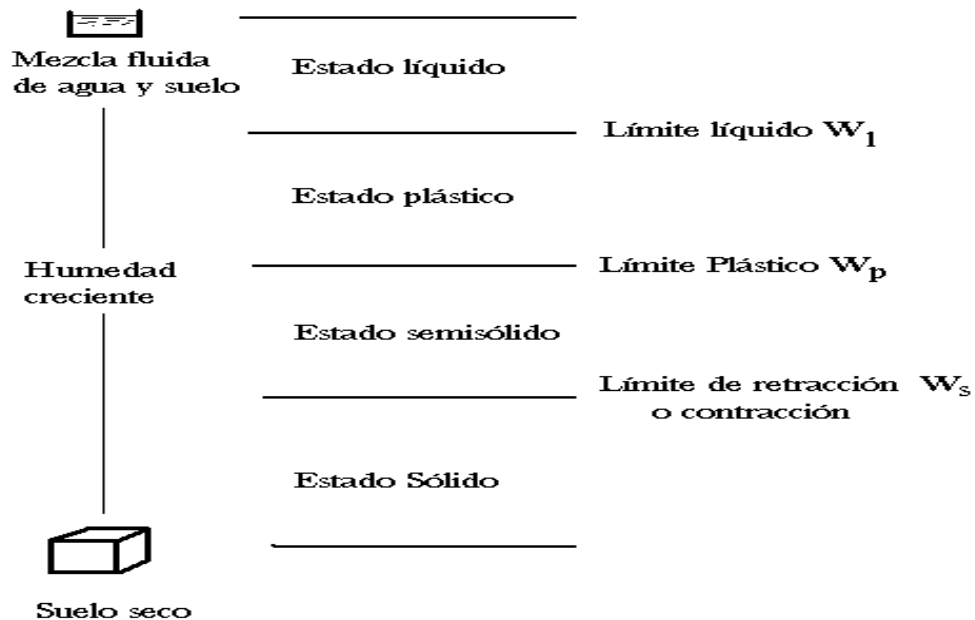
Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

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

3.1.2.2 Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

3.1.2.3 Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad

Figura 12. Límites de Atterberg¹⁷



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

En el límite líquido la propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua es capaz de ser moldeada. Se obtiene una muestra que haya pasado por el tamiz # 40, se agrega agua hasta que tenga la capacidad de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha cortado, se cierre a una longitud de 12 m (1/2”). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua / peso suelo seco) corresponde al límite líquido.

¹⁷ Ibidem

Figura 13. Cuchara de Casagrande¹⁸



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos.

Dado que no siempre es posible que el surco se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido: trazar una gráfica con el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el límite líquido. - según el método puntual, multiplicar por un factor (que depende del número de golpes) la humedad obtenida y obtener el límite líquido como el resultado de tal multiplicación.

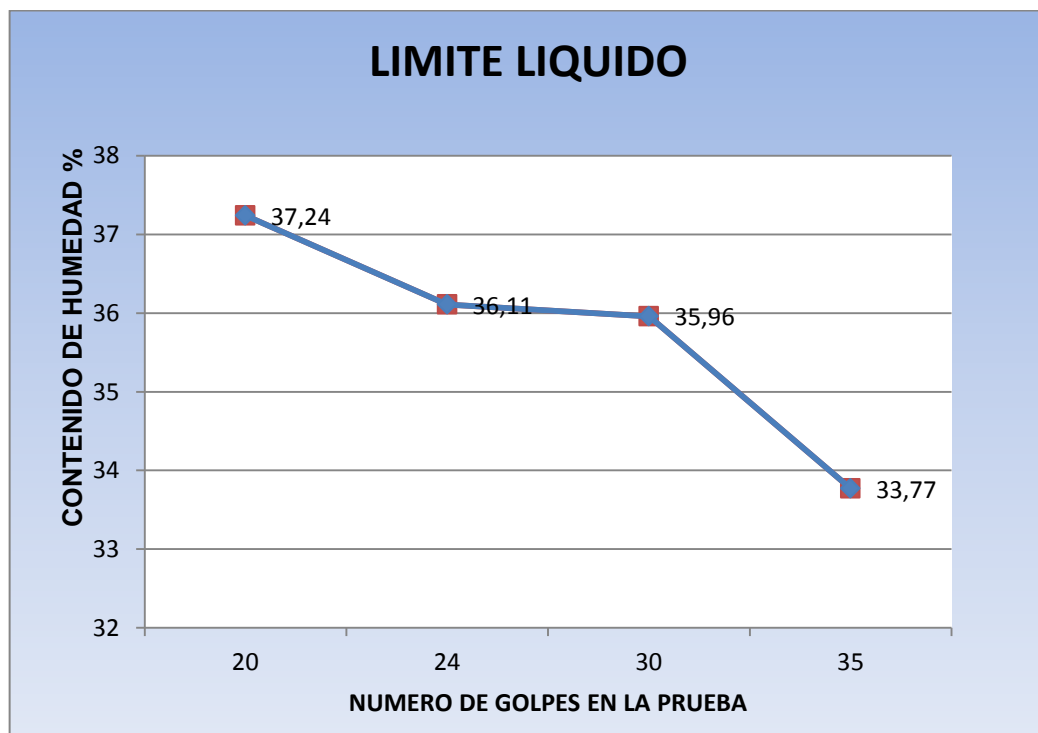
¹⁸ Ibidem

Tabla 26. Registro, Obtención de Calculo y Datos¹⁹

Capsular N°	1	2	3	4
N° de golpes	20	24	30	35
Suelo húmedo Cápsula	9,79	45,65	10,32	12,26
Suelo Seco + Cápsula	7,98	40,23	8,4	9,93
Peso de agua	1,81	5,42	1,92	2,33
Peso de cápsula	3,12	25,22	3,06	3,03
Peso Suelo Seco	4,86	15,01	5,34	6,9
% de humedad	37,24	36,11	35,96	33,77

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Figura 14. Contenido de humedad % del límite liquido²⁰



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

¹⁹ Ibidem

²⁰ Ibidem

Según los registros tomados en laboratorio, se calcula el contenido de humedad % con la siguiente fórmula:

$$W = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_3) \times 100$$

Donde:

W= Contenido de humedad (%)

m1= Masa del recipiente y muestra húmeda.

m2= Masa del recipiente y muestra seca.

m3=Masa del recipiente.

Luego según este ejemplo el Limite Líquido es del 36%, para que un suelo posea las mínimas características admisibles para ser estabilizado debe presentar un límite líquido máximo de 35%.

En el límite Plástico la propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

Figura 15. Limite Plástico²¹



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

²¹ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

Luego de realizar el procedimiento de moldeo, se introducen los cilindros en recipientes para promediar el valor de la humedad obtenida de cada una de las muestras.

Se pesan los recipientes que contienen la muestra humedad, se lleva al horno para el secado y luego se pesan la muestra seca.

Según los registros tomados en laboratorio, se calcula el Limite Plástico con la siguiente fórmula:

LP= Limite Plástico

m1= Masa del recipiente y muestra húmeda.

m2= Masa del recipiente y muestra seca.

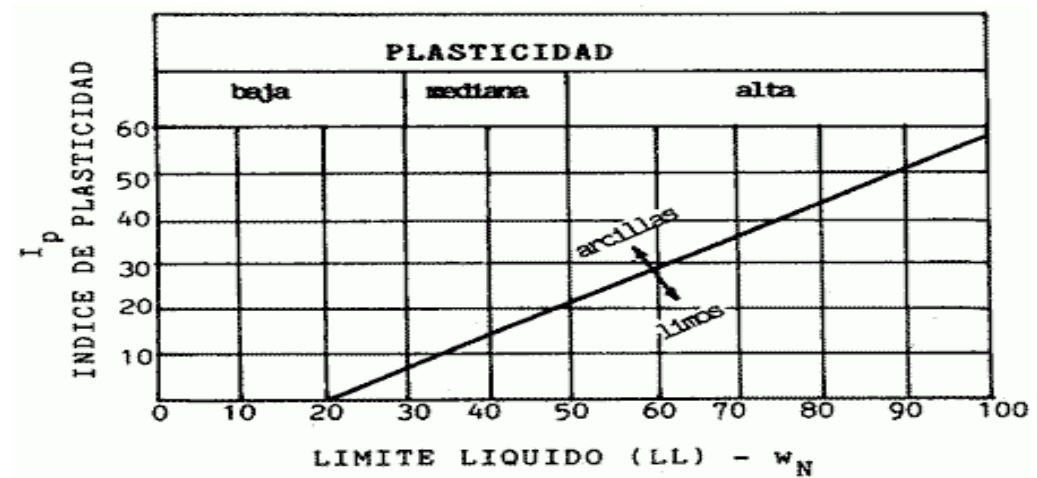
m3=Masa del recipiente.

$$LP= (m1- m2)/ (m2-m3) \times 100$$

Relacionados con estos límites, se definen los siguientes índices:

- Índice de plasticidad: $IP = LL-LP$
- Índice de fluidez: $I_F =$ Pendiente de la curva de fluidez
- Índice de tenacidad: $I_T= I_P/I_F$

Figura 16. Índice de Plasticidad²²



Fuente. AVITIA RODOLFO. "Suelo-Cemento". Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.1991.

Tabla 27. Plasticidad de diversos suelos arcillosos/limosos²³

Ejemplos Plasticidad de diversos suelos arcillosos/limosos			
Categoría	Suelo	IP	Grado de plasticidad
I	Arena o limo	0-1	No plástico
	<ul style="list-style-type: none"> • trazas de arcilla • poca arcilla 	1-5	Ligera plasticidad
		5-10	Baja plasticidad
II	Franco arcilloso	10-20	Mediana plasticidad
III	Arcilloso limoso	20-35	Alta plasticidad
	Arcilla	>35	Muy alta plasticidad

Fuente. AVITIA RODOLFO. "Suelo-Cemento". Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.1991.

En los ensayos de granulometría y límites de consistencia se harán verificaciones periódicas sobre el material a estabilizar.

²² AVITIA RODOLFO. "Suelo-Cemento". Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.1991.

²³ Ibidem

Tabla 28.Frecuencia para Ensayos de laboratorio²⁴

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición		
Granulometría	E-123	1 por jornada
limpieza		
Límite Líquido	E-125	1 por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 E-126	1 por jornada

Fuente. “Norma INVIAS, base estabilizada con cemento”

Una vez se tengan los ensayos antes mencionados y verificando que el suelo cumple las condiciones mínimas para ser estabilizado, pasamos al proceso que permite la dosificación de la mezcla.

Se debe realizar el ensayo de Próctor para determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la cual el suelo alcanza la mayor densidad estando sometido a una energía constante. A través de él es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad.

Sabemos entonces que si aplicamos una energía cuando el suelo se encuentra por debajo de la humedad óptima, las partículas no estarán lo suficientemente lubricadas y parte de esta energía se utilizará en tratar de vencer la fricción. Si aplicamos la energía por encima de la humedad óptima del material, ésta será absorbida por el exceso de agua impidiendo que el material sea compactado debidamente.

²⁴ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

Tabla29. Cantidad de Cemento para el Ensayo de Compactación²⁵

Clasificación de suelo según la AASHTO (M 145)	Cantidad de cemento en peso (%)
A1 – a	5
A1 – b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Tabla 30. Cantidad porcentual de cemento que debe tener la mezcla Según el tipo de suelo que poseemos²⁶

Tipo de suelo	Cantidad del cemento (%)
Roca triturada, grava con arena y arcilla bien graduada	0.5-2
Arena bien graduada	2-4
Arena pobremente graduada	4-6
Arcilla arenosa	4-6
Arcilla limosa	6-8
Arcilla con plasticidad media	8-12
Arcilla con plasticidad alta	12-15
Suelos orgánicos	10-15

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Normal", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado.

²⁵ Ibidem

²⁶ **JOSE TOIRAC CORRAL:** El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

El ensayo de Proctor consiste en compactar el material dentro de un molde metálico y cilíndrico, en varias capas y por la caída de un pistón, existen dos variaciones del Proctor:

Figura 17. Ensayo de Proctor²⁷



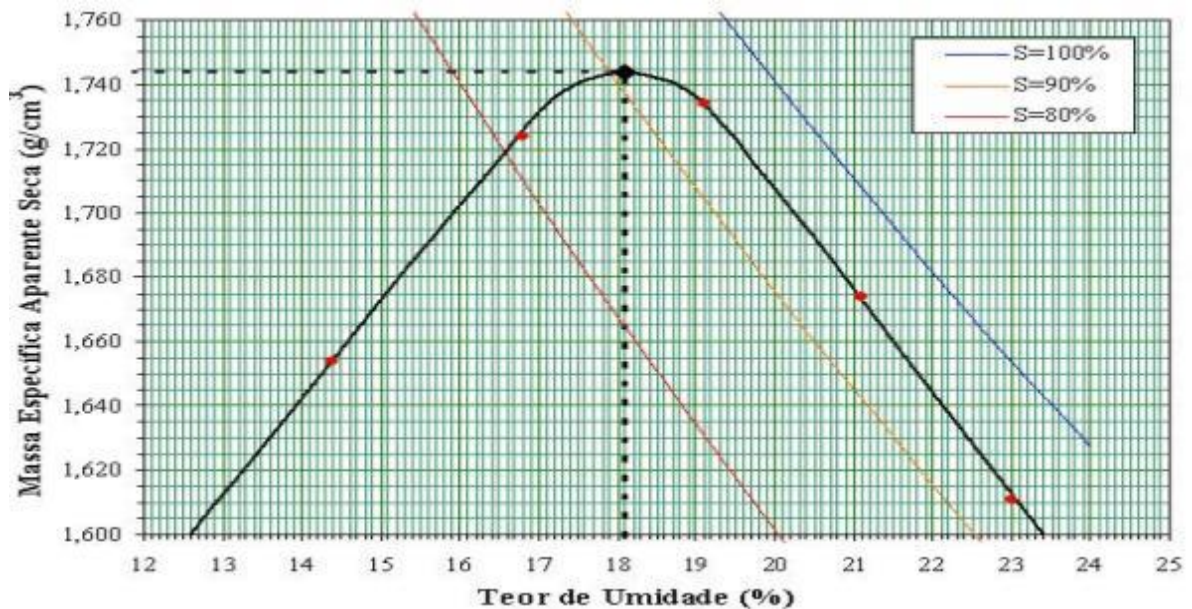
Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Proctor estándar o normal, con pistón de 5 ½ lbs., h = 12”, N = 25 golpes y 3 capas a compactar. El molde de $\phi = 4$ ” y volumen 1/30 ft³

Proctor modificado, con pistón de 10 lbs., h = 18”, N = 25 golpes, y compactando en 5 capas, con el mismo molde.

²⁷ Ibidem

Figura 18. Curva de compactación de la cual se obtiene la humedad óptima y la masa específica²⁸



Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Con el ensayo del Proctor podemos determinar la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o áridos, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No 4, o que tengan un retenido máximo del 10 % en esta malla, pero que pase (dicho retenido) totalmente por la malla 3/8”. Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8” deberá determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Proctor estándar.

La energía de compactación viene dada por la ecuación:

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

Dónde:

- Y - energía a aplicar en la muestra de suelo;
- n - número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado;

²⁸ VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

- N - número de golpes aplicados por capa;
- P - peso del pisón;
- H - altura de caída del pisón; y
- V - volumen del cilindro.

El Grado de compactación de un terreno se expresa en porcentaje respecto al ensayo Proctor; es decir, una compactación del 85% de Proctor Normal quiere decir que se alcanza el 85% de la máxima densidad posible para ese terreno.

Una vez sepamos cuál es la humedad óptima del suelo, procedemos a realizar el ensayo de durabilidad. Se realiza con tres muestras que contienen a su vez tres contenidos diferentes de cemento. Como se dijo anteriormente, al ser un método de tanteo, usualmente se utiliza el contenido óptimo más probable que puede consultarse en algunas tablas que expresan dicho contenido en función de las características físicas de los suelos y su densidad aparente, o bien ser producto de la experiencia. Siendo éste el óptimo se utilizan dos contenidos más, variando con el 2% por encima y por debajo del óptimo supuesto.

Una vez los cilindros son moldeados con sus respectivos contenidos de cemento y compactados de acuerdo con el ensayo de Proctor estándar y su respectiva humedad óptima, los cilindros se someten a un proceso de 12 inmersiones en agua, secado al horno y cepillado con cepillo de alambre. Al final del ensayo se mide la pérdida que sufrió el cilindro respecto al peso inicial, de esta forma el contenido óptimo para la mezcla de suelo cemento será aquel que cumple con los porcentajes de pérdida máxima en función del tipo de suelo según la clasificación AASHTO.

Se hace importante analizar la tabla presentada a continuación con el fin de entender el concepto por medio del cual diseñamos las mezclas:

Tabla 31. Porcentaje de pérdida máxima en función del tipo de suelo²⁹

Tipo de Suelo (Clasificación AASHTO)	Pérdida Máxima (%)
A-1, A-2, A-2-5 Y A-3	14
A-2-6, A-2-7, A-4 Y A-5	10
A-6 Y A-7	7

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Vemos que existe mayor tolerancia a la pérdida en el ensayo de durabilidad en lo suelos A-1 a A-3, lo cual sugiere que en los suelos buenos podemos rebajar los contenidos de cemento hasta que la muestra presente una pérdida de un 14%, lo que va ligado a una rebaja ostensible de los costos de construcción, mientras en suelos malos como lo son los A-6 y A-7, debemos ser mucho más conservadores y evitar que sus pérdidas por desgaste sean mayores al 7% en peso.

Luego de encontrar el tipo de suelo correspondiente al diseño de mezclas y el evaluar por medio de ensayos de laboratorio las condiciones óptimas de mezclas seguimos a realizar el diseño de espesores.

3.2 DISEÑO DE ESPESORES³⁰

Para el diseño de espesores existen muchas alternativas, incluso las modernas constan de programas de cálculo avanzado que interactúan con las relaciones modulares y los módulos dinámicos de cada material.

En nuestro medio y para nuestras condiciones aún es válido pensar en los métodos que tradicionalmente nos han reportado buenos resultados, como el método de la Portland Cement Association (PCA) y el del Instituto Americano del Asfalto. A continuación algunos conceptos generales de ellos.

3.2.1 Bases para el Procedimiento de Diseño de Espesores. Desde 1935 más de 140,000 km de pavimentos suelo-cemento han sido construidos en Norteamérica. La performance demostrada por estos pavimentos a través de los

²⁹ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

³⁰ **NORMAS INVIAS BASE ESTABILIZADA EN SUELO CEMENTO.** Artículo 341-07-Artículo 300-07-I:N:V:E-807-7

años provee una valiosa información para el diseño, para los niveles de espesor que fueron utilizados. La mayoría de estos pavimentos en servicio son de 15 cm de espesor. Este espesor ha probado ser satisfactorio para las condiciones de servicio de caminos secundarios, calles residenciales y pistas de aterrizaje de tráfico ligero.

- Algunos pavimentos de 10 cm y 12.5 cm han sido construidos y han dado un buen servicio bajo condiciones favorables de tráfico ligero y fuerte resistencia del suelo.
- Muchos kilómetros de pavimentos de 17.5 cm y 20 cm de espesor están en servicio en caminos principales y vías secundarias de alto tráfico.
- Pavimentos con suelo-cemento con espesores de 22.5 cm o mas no son numerosos, aunque algunos proyectos de aeropuertos han sido construidos con espesores de hasta 40 cm.
- En carreteras interestatales en algunas áreas de tráfico comparativamente más bajos, un amplio rango de espesores de suelo-cemento, de 10 a 30 cm, han sido incorporados en la estructura total de los pavimentos. Se ha obtenido también información valiosa de diseño de ensayos de caminos a escala real y de investigaciones de laboratorio conducidas por universidades, departamentos de carreteras, y por la Portland Cement Association.

3.2.2 Método de diseño de la Pórtland Cement Association (PCA): Este método se basa en que el suelo-cemento es un material diferente a cualquier otro y se fundamentan en algunas teorías que son fruto de investigaciones en pavimentos existentes.

El comportamiento de las mezclas de suelo-cemento se ve influenciado por factores como el tipo de suelo (grueso fino), tiempo de curado y edad del suelo-cemento, como los demás materiales, están sometidos a la fatiga por la repetición de cargas

Los parámetros de diseño que maneja la PCA son:

3.2.2.1 Capacidad de soporte de la sub rasante. Mediante el ensayo de placa de carga, (es uno de los ensayos "in situ" llevados a cabo para realizar un reconocimiento geotécnico, consiste en aplicar una carga sobre una placa

(generalmente rígida), colocada sobre la superficie del terreno, y medir los asentamientos producidos. Puede llegarse a la condición límite de rotura de la muestra, es decir dónde termina el ensayo, de no fallar, se toma los valores máximos a los cuales se asignan a los suelos no friccionantes), se evalúa la capacidad de soporte del suelo, ver figura 19.

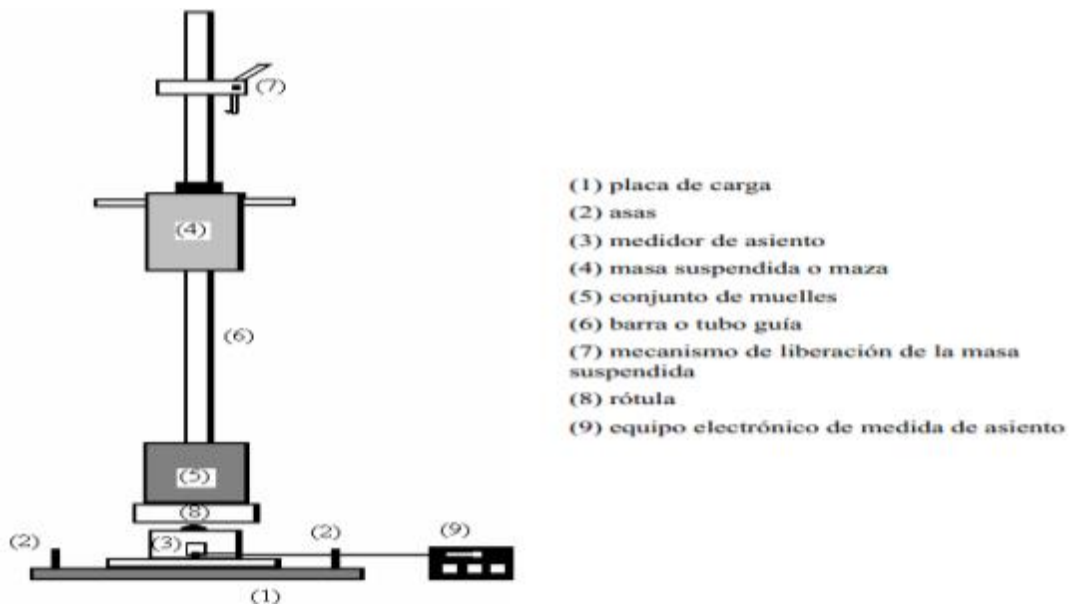
Figura 19. Dispositivo Preparado para el Ensayo³¹⁽¹⁾



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

³¹ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

Figura 20. Equipo de ensayo de placa de carga³²



Fuente. Normas de INVIAS I.N.V.E-809-7

3.2.2.2 Período de Diseño: Es el tiempo que se tiene pronosticado para que el pavimento preste un buen servicio. El período de diseño determina el volumen total de vehículos que van a usar la vía.

3.2.2.3 Tránsito: Se cuantifica mediante el número y peso de los distintos ejes que van transitar por la vía.

3.2.2.4 Calidad del Suelo Cemento: Se mide sólo por su resistencia a la falla por fatiga, tomando como unidad de consumo de fatiga la correspondiente a mil ejes sencillos de 8,2 toneladas. La fatiga se ha cuantificado por las distintas cargas de eje sobre capas de suelo-cemento y los coeficientes de consumo por fatiga aparecen en tablas que aporta el método; sólo basta multiplicar el número de repeticiones esperadas de cada eje, en miles, por el coeficiente de consumo de fatiga de un determinado eje. Esta operación se realiza para cada uno de los ejes y luego la sumatoria nos da como resultado lo que denominamos "Factor Fatiga".

³² NORMAS INVIAS BASE ESTABILIZADA EN SUELO CEMENTO. Artículo 341-07-Artículo 300-07-I:N:V:E-807-7

3.2.2.5 Espesor de la Capa de Suelo: Cemento: una vez tenemos el K del suelo y el factor fatiga del tránsito, entramos a determinar el espesor de la capa estabilizada que permita transmitir este número de repeticiones a la subrasante sin un daño considerable en el periodo de diseño.

3.2.2.6 Protección de la Capa: Todo suelo cemento debe ser protegido de la intemperie y de la erosión debido al agua y el desgaste por el frenado de los vehículos. El espesor de la protección con material asfáltico puede estar sujeto a espesores locales o a los recomendados en la tabla mostrada a continuación. La protección de asfáltica mejora la estructura de pavimento, motivo por el cual podemos realizar una correlación en el espesor del suelo-cemento para hacer el diseño más eficiente y económico. La siguiente tabla sugiere los espesores mínimos a poner para el cubrimiento de la capa estabilizada en función del espesor de diseño:

Tabla 32. Espesores Mínimos para cubrimiento de capa estabilizada³³

Espesor del Suelo Cemento (cm)	Espesor recomendado de carpeta (cm)	Espesor mínimo de carpeta (cm)
12.5-15	2-4	Tratamiento bituminoso superficial simple
17,5	4-5	Tratamiento bituminoso superficial doble
20	4-6.5	2.5

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Las propiedades estructurales del suelo-cemento dependen del tipo de suelo, condiciones de curado, y edad. Los rangos típicos para una amplia variedad de tipos de suelo-cemento, a sus respectivos contenidos de cemento requeridos para durabilidad, son: ver tabla 33

³³ Ibidem

Tabla 33. Rangos típicos de Durabilidad³⁴

Propiedad	Valores a 28 días
Resistencia a la compresión saturada	400-900 psi
Módulo de ruptura	80-180 psi
Módulo de elasticidad (módulo estático a la flexión)	600,000-2.000,000 psi
Relación de Poisson	0.12-0.14
Radio de curvatura crítico, en viga de 6x6x30pulg	4,000-7,500 pulg

Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

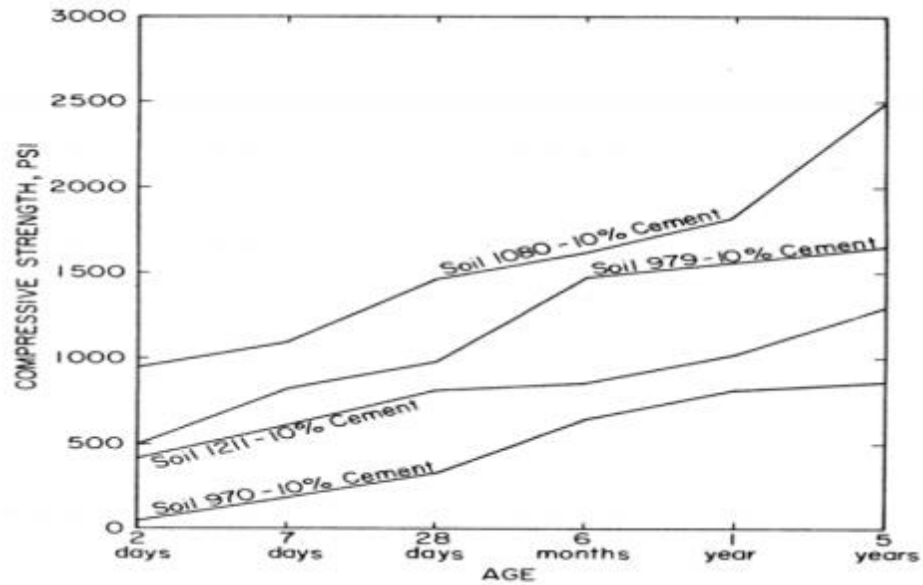
La Relación de Poisson puede ser bastante variable, dependiendo en el método de ensayo y otras condiciones. Los valores mostrados están basados en resultados de ensayos triaxiales.

El radio de curvatura crítico es el radio para el cual una viga falla debido a una aplicación de carga simple. Es una medida de la resistencia a la flexión y puede ser comparada con la deformación unitaria última.

A lo largo de la vida de diseño de un pavimento de suelo-cemento la resistencia promedio será considerablemente mayor que los valores para 28 días. La Figura 21 muestra la ganancia de resistencia de laboratorio para 5 años, para diferentes tipos de suelo-cemento y la Figura 22 muestra el incremento de la resistencia con muestras de campo, para cuatro proyectos para varios periodos de tiempo. Este incremento de la resistencia provee un margen de seguridad en el procedimiento de diseño del espesor.

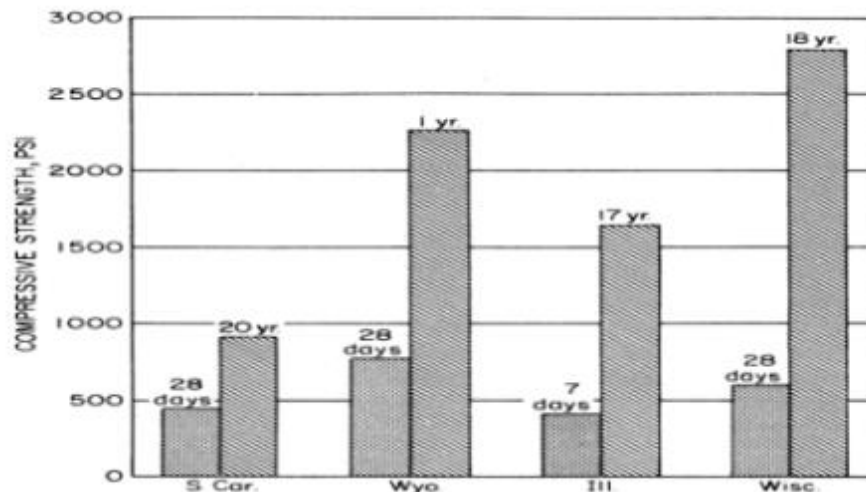
³⁴ Ibidem

Figura 21. Incremento de Resistencia con la edad en especímenes de laboratorio³⁵



Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Figura 22. Incremento de Resistencia con la edad, proyectos en servicio³⁶



Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

³⁵ JOSE TOIRAC CORRAL: El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

³⁶ Ibidem

Esta investigación también demostró que la resistencia del pavimento es evaluada más exactamente por el grado de flexión antes que por las medidas de deflexión solamente. Por esta razón, el radio de curvatura en lugar que la deflexión fue empleado como factor principal en el desarrollo de las formulaciones de diseño.

3.2.2.7 Propiedades de Fatiga³⁷. Los estudios de fatiga revelaron que, para un diseño dado, el número de repeticiones de carga hasta la falla estuvo relacionado con el radio de curvatura a la flexión. Esta correlación probó ser similar al conocido comportamiento a la fatiga de otros materiales.

Se requirió la división de los suelos en dos amplios tipos de textura, suelos de gradación granular y suelos de gradación fina, y el correspondiente empleo de cartas de diseño por separado para las respectivas mezclas de suelo-cemento.

- Suelos granulares – Grupos A-1, A-3, A-2-4, y A-2-5
- Suelos de gradación fina – Grupos A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, y A-7.

Tabla 34. Sistema de Clasificación AASHTO dividido para el procedimiento de Diseño para Suelo-Cemento³⁸

General classification	Granular materials (35 percent or less passing No. 200)							Silt-clay materials (more than 35 percent passing No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
No. 10	50 max.										
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.								
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40:											
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Textural type for soil- cement thickness design procedure	Granular soils						Fine-grained soils				

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

³⁷ **JOSE TOIRAC CORRAL:** El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

³⁸ **JOSE TOIRAC CORRAL:** El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

3.2.3 Procedimiento de Diseño. Los factores analizados para determinar el espesor de diseño son:

- Resistencia del suelo.
- Periodo de diseño del pavimento.
- Tráfico, incluyendo volumen y distribución de pesos por eje (configuración de cargas de ejes simple y tándem, de camiones convencionales).
- Espesor de la capa de base suelo-cemento.
- Espesor de la capa bituminosa superficial.

3.2.3.1 Resistencia del suelo Estabilizado. El soporte proporcionado por el suelo al pavimento de suelo-cemento es el elemento más importante en el procedimiento de diseño. El soporte del suelo es medido en términos del módulo de Westergaard de reacción del suelo k , el cual se determina mediante ensayos de placa sobre el terreno.

En caso que no esté disponible el equipo para la determinación del valor- k mediante el ensayo de placa, las relaciones aproximadas listadas en la Tabla 35 pueden ser utilizadas a modo de guía; ellas están basadas en ensayos de laboratorio sobre tipos generales de suelos.

Tabla 35. Relaciones entre Tipos de suelos y Valores de Soporte³⁹

Tipo de Suelo	Resistencia del Suelo	Rango de CBR* (%)	Rango del Valor R**	Rango del Módulo k (lb/pulg3)
Suelos de grano fino en los cuales predominan los tamaños de partículas de limo y arcilla	Baja	3 a 6	8 a 27	100-150
Arenas pobremente graduadas y suelos que son predominantemente arenosos con cantidades moderadas de limo y arcilla	Media	6 a 10	27 a 45	150-200
Suelos gravosos, arenas bien graduadas, y mezclas de arenas y gravas, relativamente libres de finos plásticos	Alta	Mas de 10	50 o mas	200 o mas

* California Bearing Ratio

** Valor de Resistencia determinado con Estabilómetro

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

3.2.3.2 Periodo de Diseño de Suelo Estabilizado. El periodo de diseño seleccionado convencionalmente por el procedimiento es de 20 años. Sin embargo este valor no hay que confundirlo con la vida de servicio de los pavimentos con suelo-cemento. Proyectos que han sido construidos a mediados y finales de 1930’s muestran que sus vidas útiles no han sido excedidas, y que las capas de suelo-cemento aún siguen funcionando como principal elemento que soporta las cargas.

3.2.3.3 Tráfico, incluyendo volumen y distribución de pesos por eje (configuración de cargas de ejes simple y tándem, de camiones convencionales). Los pesos y volúmenes de las cargas por eje esperados durante el periodo de diseño son los factores más importantes en la determinación del espesor de diseño.

El análisis de tráfico usado en este procedimiento incluye:

³⁹ Ibidem

- Determinación del tráfico promedio diario en ambas direcciones (TPD) y los porcentajes de camiones.
- Proyección del tráfico al futuro periodo de diseño.
- Determinación de la distribución probable eje-carga.
- Cálculo del Factor de Fatiga.

Sin embargo, cualquier otro método que proporcione una razonable estimación de estos factores de tráfico pueden ser empleados.

- ❖ **TPD y Porcentaje de Camiones pesados.** El tráfico promedio diario en ambas direcciones y el porcentaje de camiones puede ser obtenido directamente de una encuesta del tráfico del proyecto, para el proyecto específico o para otros proyectos que tienen un tráfico similar.
- ❖ **Proyección del Tráfico al futuro periodo de diseño.** Las tasas de crecimiento del tráfico y los factores de proyección correspondientes son empleados para estimar el Tráfico Promedio Diario (TPD) de diseño y el número de camiones que emplearán el pavimento durante el periodo de diseño.

La Tabla 36 muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyección de 20 años.

El crecimiento del tráfico anual varía de 2 a 6 por ciento, siendo los valores más bajos más aplicables a los tipos de caminos y calles donde se emplea comúnmente el suelo-cemento. Las tasas de crecimiento más altas son para carreteras urbanas y entre ciudades.

Tabla 36. Tasas anuales de crecimiento de tráfico y factores de proyección Correspondientes⁴⁰

Tasa anual de crecimiento de tráfico (%)	Factor de proyección para un periodo de diseño de 20 años
1	1.1
1 ½	1.1
2	1.2
2 ½	1.3
3	1.4
3 ½	1.5
4	1.5
4 ½	1.6
5	1.7
5 ½	1.8
6	1.9

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

- ❖ **Distribución de cargas por eje.** La información sobre la distribución de cargas por eje para el tráfico de camiones es necesaria para calcular los números de ejes simples y tándem de los diversos pesos esperados durante el periodo de diseño. Estos datos se emplean después para el cálculo del Factor de Fatiga, el cuál expresa los efectos de fatiga producidos por el número y pesos de las cargas por eje.
- ❖ **Factor de Fatiga.** Este procedimiento de diseño denomina como “Factor de Fatiga” al valor individual que expresa los efectos del consumo total de fatiga, producido por los volúmenes y pesos de cargas de ejes simples y tándem, para un problema de diseño dado. Este factor se basa en coeficientes que muestran el consumo relativo de fatiga de las diferentes magnitudes de cargas por eje, denominados “Coeficientes de Consumo de Fatiga”.

⁴⁰ Ibidem

Tabla 37. Coeficientes de consumo de fatiga⁴¹

Carga por Eje (Miles de libras)	Suelo-Cemento Granular	Suelo-Cemento Gradación Fina
Ejes Simples		
30	12,500,000.	3,530.
28	1,270,000.	1,130.
26	113,000.	337.
24	8,650.	93.
22	544.	23.3
20	27.	5.2
18	1.0000	1.0000
16	0.0250	0.1600
14	0.0004	0.0200
12	0.0000	0.0018
Ejes Tandem		
50	12,500,000.	3,530.
48	3,210,000.	1,790.
46	792,000.	890.
44	186,000.	431.
42	41,400.	203.
40	8,650.	93.
38	1,690.	41.1
36	305.	17.5
34	50.4	7.1
32	7.5	2.74
30	1.0000	1.0000
28	0.1200	0.3410
26	0.0120	0.1070
24	0.0010	0.0310
22	0.0000	0.0081
20	0.0000	0.0018

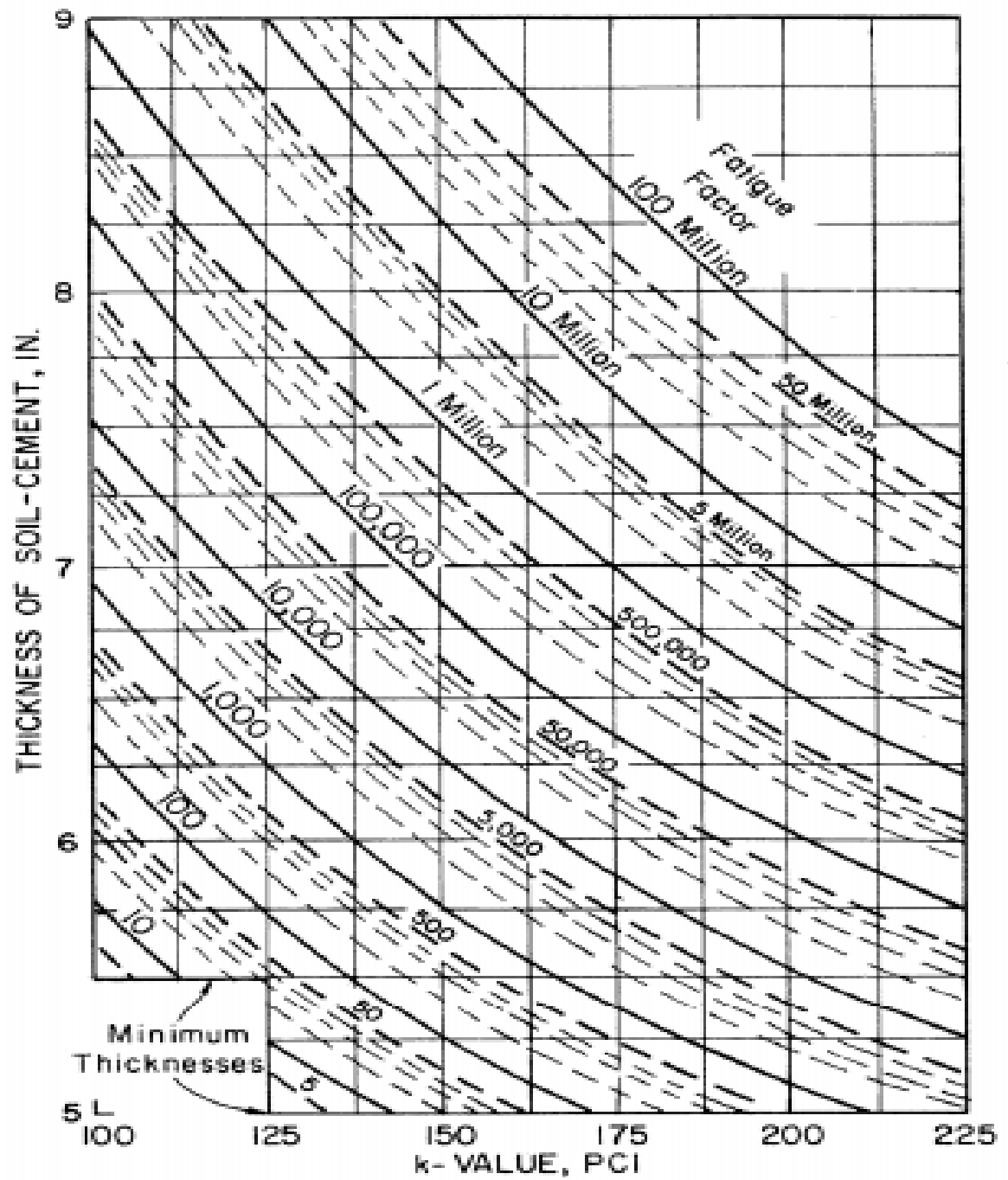
Fuente. "Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

3.2.3.4 Espesor de Suelo-Cemento Estabilizado. El espesor de la capa de base de suelo-cemento se determina empleando la Figura 23 para suelo-cemento granular, o la Figura 24 para suelo-cemento de graduación fina.

El espesor de suelo-cemento se lee con una aproximación de un décimo (0.1) de pulgada empleando el Factor de Fatiga calculado y el valor de diseño del Coeficiente de Reacción k. Este espesor usualmente se incrementa a la ½ pulgada superior a menos que haya un ajuste por el espesor de la capa bituminosa, como se explica en la siguiente sección.

⁴¹ Ibidem

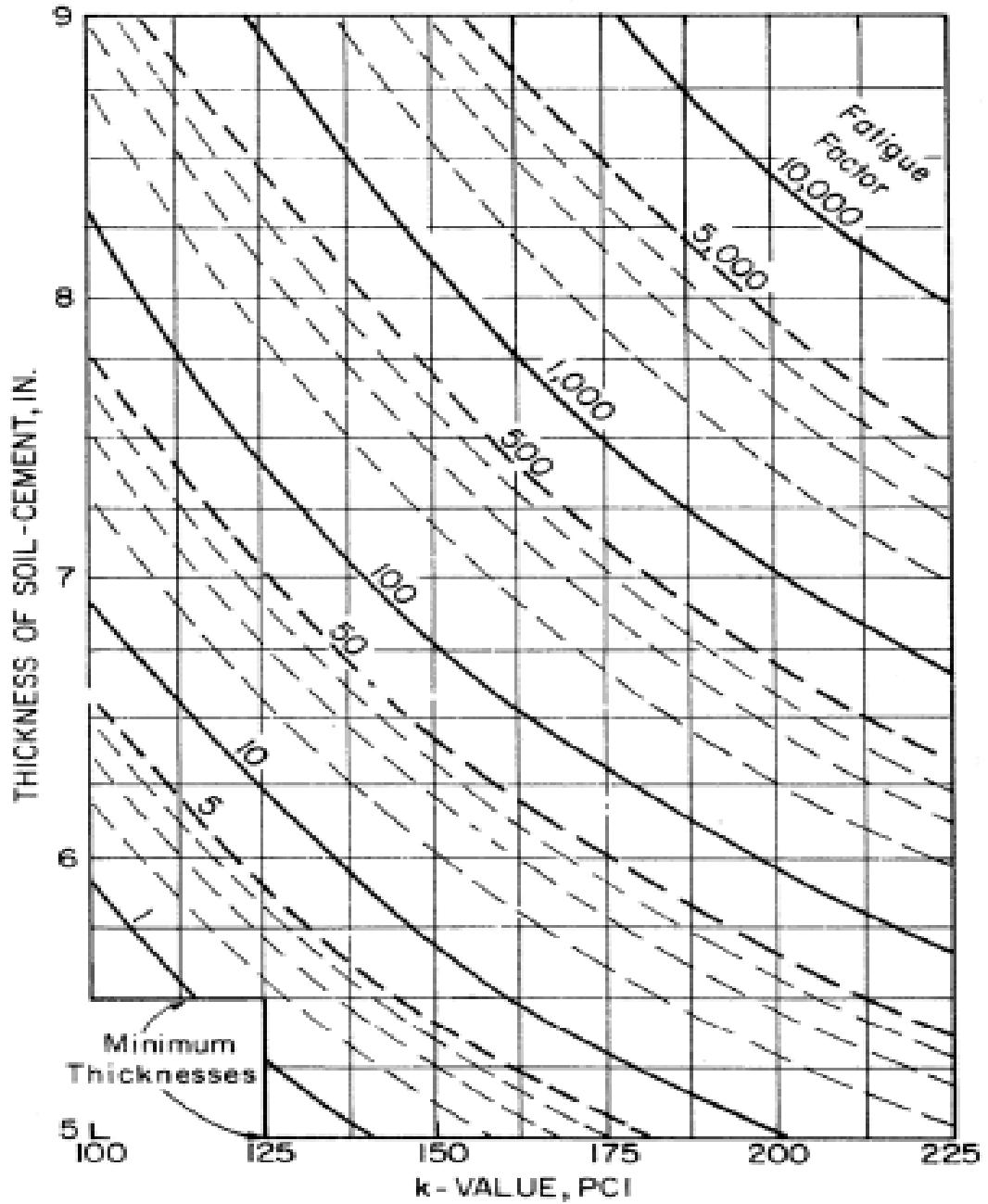
Figura 23. Carta para diseño de espesores para suelo-cemento granular⁴²



Fuente. "Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

⁴² Ibidem

Figura 24. Carta para diseño de espesores para suelo-cemento gradación fina⁴³



Fuente. "Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

⁴³ Ibidem

3.2.3.5 Espesor de la capa de superficie bituminosa. El espesor de la capa bituminosa de superficie dependerá de muchos factores: el tipo de superficie, el volumen y composición del tráfico, las condiciones climáticas, la disponibilidad de materiales, y las prácticas locales.

Tabla 38. Espesores de superficie bituminosa⁴⁴

Espesor de Suelo-Cemento (pulg.)	Espesor de Superficie Bituminosa Recomendado (pulg.)	Espesor Mínimo de Superficie Bituminosa (pulg.)	
		Área sin congelamiento	Área con congelamiento
5 – 6	$\frac{3}{4}$ – 1 $\frac{1}{2}$	SBST*	DBST*
7	1 $\frac{1}{2}$ – 2	DBST	1**
8	1 $\frac{1}{2}$ – 2 $\frac{1}{2}$	1	1 $\frac{1}{2}$
9	2 - 3	2	2

* SBST, Tratamiento superficial bituminoso simple; DBST, Tratamiento superficial bituminoso doble.

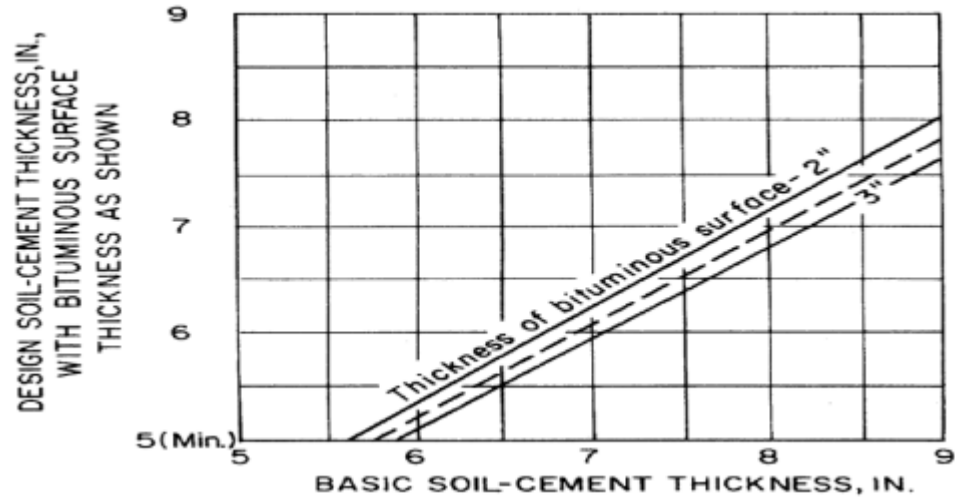
** Donde se emplee quitanieves se recomienda un mínimo de 1 $\frac{1}{2}$ pulgada.

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Por ejemplo, si la tabla38 indica un espesor básico de suelo-cemento de 7.8 pulgadas, y es una práctica local colocar 3 pulgadas de superficie, la figura 25 muestra que el espesor de diseño de suelo-cemento puede reducirse a 6.7 pulgadas. Este debería usualmente redondearse a la $\frac{1}{2}$ pulgada superior, por ejemplo, 7 pulgadas de suelo-cemento con 3 pulgadas de capa bituminosa de superficie.

⁴⁴ Ibidem

Figura 25. Carta de Diseño para reducción del espesor de suelo-cemento Considerando el espesor de la superficie bituminosa⁴⁵



Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Tabla 39. Factores de Fatiga representativos para pavimentos de tráfico ligero⁴⁶

Facilidad	TPD	Total de camiones* (% Aprox.)	Camiones pesados** (%) Aprox.	Factor de Fatiga***
Calles puramente residencial.....	300 a 700	8	3	5 a 12
Calles colectoras residenciales....	700 a 4,000	8	3	12 a 20
Caminos secundarios.....	Hasta 2,000+	14 a 20	5 a 8	12 a 30

Fuente. “Suelo-Cemento, como material de construcción –José Toirac Corral

Incluye camionetas, y otros vehículos de 2 ejes y 4 llantas que con lo suficientemente pesados para afectar el espesor de diseño.

⁴⁵ Ibidem

⁴⁶ Ibidem

Ejemplo de diseño de espesores:

En el siguiente ejemplo se realiza el cálculo del espesor de la base en suelo cemento con valores aproximados del factor de fatiga.

3.2.3.6 Proyecto y Datos de Tráfico

Locación petrolera (no hay disponible datos de encuesta de cargas)

Suelo-Cemento gradación fina

Suelo de fundación débil, $k = 100 \text{ lb. /pulg}^3$

Periodo de diseño = 20 años

TPD actual = aproximadamente 700

Factor de proyección = 1.1

TPD de diseño = $700 \times 1.1 = 770$

Factor de Fatiga asignado = 20

3.2.3.7 Espesor de Diseño. Para un valor de $k = 100 \text{ lb/pulg}^3$ y un Factor de Fatiga de 20, la figura 24 muestra un espesor básico requerido para el suelo-cemento de alrededor de 7,2 pulgadas. Los espesores de superficie bituminosa correspondientes varían de $1 \frac{1}{2}$ - 2 pulgadas, el espesor de diseño de suelo-cemento puede reducirse a 6,4 pulgadas según la figura 25, este debería usualmente redondearse a la $\frac{1}{2}$ pulgada superior, luego quedaría 7 pulgadas de espesor de suelo cemento y 2 pulgadas de espesor en capa bituminosa

3.2.4 Proceso constructivo. El proceso constructivo del proyecto de estabilización de suelos será en mezclado in situ, con lo cual se pretende modificar las propiedades del material directamente en el sitio donde es encontrado.

3.2.4.1 Suelo cemento mezclado in situ. Este proceso comprende una serie de actividades sucesivas, encaminadas asegurar que la capa estabilizada cumpla los estándares de calidad antes mencionados. Las actividades programadas en su orden son:

3.2.4.2 Preparación del Terreno

- La Escarificación y mejoramiento previo de la vía consiste en retirar con la motoniveladora y el personal de piso todo tipo de objetos extraños, entre los que podemos encontrar sobre tamaños, escombros y vegetales que, por su carácter orgánico, pueden inhibir la reacción del cemento.
- Para la humectación del suelo al momento del mezclado del cemento es conveniente que el suelo ya tenga la humedad óptima de compactación para ganar eficiencia en los procesos posteriores. Utilizando la gráfica efectuada en la pista de prueba, en la que conocíamos el aporte incremental del carrotanque, se procede a tomar la humedad de campo y se ajusta según lo analizado en dicha gráfica.
- La compactación aunque a simple vista no se vea lógico compactar para volver a disgregar el material cuando se ejecute la mezcla, lo cierto aquí es que la compactación aquí propuesta no tiene por objeto llegar a las densidades requeridas. Se busca obtener una pista de trabajo adecuada para garantizar la profundidad y dosificación exacta y poder regar de mejor forma el cemento distribuido en el piso.

3.2.4.3 Dosificación del cemento: el método utilizado para el cálculo de la dosificación del cemento pretende, básicamente, determinar la cantidad a colocar en superficie para obtener el contenido de cemento necesario en el espesor de diseño.

La Dosificación del cemento en sacos se deberá conocer el contenido de cada saco (50kg) y teniendo en cuenta el porcentaje de cemento que se va adicionar, se calcula el volumen de material al que corresponde cada saco así:

$$V=(A \times E \times L) \times \% \text{ CEM}= 50 \text{ kg}$$

Para el cálculo realizado decapas estabilizadas en suelo cemento de las locaciones petrolera se calculó un espesor de 7" más 2" de capa bituminosa superficial.

Se asume A y se despeja L

Dónde:

50kg: Peso del saco de cemento

A: Ancho el carril elegido= 1,2m

L: longitud aferente del saco. 1m

E: Espesor de diseño de la capa de suelo-cemento= 7" Aprox 17,78 cm

Porcentaje en peso de cemento para suelo A2, según especificaciones= 7%

Se verifica la relación: A/L. si ésta es mayor de 1.4 o menor de 0.6 se aplica de nuevo la formula aumentando o eliminado un carril según el caso. La relación más cercana a 1 dará el número óptimo de carriles a utilizar.

Relación A/L= 1,2 m/1m= 1,2 ok

Aplicamos la fórmula para la dosificación del cemento en sacos:

$V=(A \times E \times L) \times \% \text{ CEM}= 50 \text{ kg}$

$V= (1,2\text{m} \times 0,1778 \times 1\text{m}) \times 7\%= 50 \text{ kg}= 33,55 \text{ kg/m}^3$

Luego determinamos el número de sacos a utilizar: por medio de la fórmula:

Dosificación de sacos= (Numero de sacos x 50kg) / (Ancho x Longitud x Espesor)

Ancho de la locación= 68,94 m

Longitud locación= 110 m

Espesor capa suelo cemento calculada= 0,1778 m

$33,55 \text{ kg/m}^3 = (\text{Número de sacos} \times 50 \text{ kg}) / (68,94 \text{ m} \times 110\text{m} \times 0,1778\text{m})$

$33,55 \text{ kg/m}^3 = (\text{Número de sacos} \times 50 \text{ kg}) / (1348,32 \text{ m}^3)$

$(33,55 \text{ kg/m}^3) \times (1348,32 \text{ m}^3) = (\text{Número de sacos} \times 50 \text{ kg})$

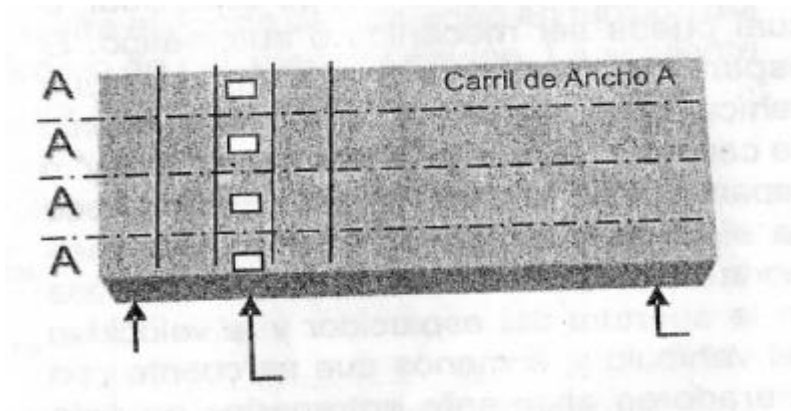
$(45.209,17 \text{ kg}) / (50 \text{ kg})= \text{Número de sacos}$

Número de sacos cemento= 904 unidades

El grafico puede ilustrar mejor las variables.

Después de extender el cemento se procede al regado superficial con personal debidamente protegido, pues el proceso genera cantidades considerables de polvo, que son nocivas para el cuerpo humano en exposiciones largas de tiempo.

Figura 26. Esquema carriles a utilizar⁴⁷



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

Luego podemos encontrar la cantidad de volumen que se necesita de suelo mezclado con cemento para generar las capas estabilizadas.

Tenemos una localización y replanteo del área calculada para la construcción de las capas estabilizadas en suelo cemento que es: 7.583,40 m²

El espesor de diseño calculado para un suelo eficiente tipo A2 que cumple con las mínimas características para ser estabilizado es: 7” igual a 0,1778 m

Podemos calcular el volumen así:

Volumen: Área x Espesor capa

Volumen: 7583,40 m² x 0,1778 m: 1348,32 m³

Luego determinamos cuanto cemento se necesita para un volumen de 1348,32 m³ de suelo.

Si se necesita 33,55 kg / m³ de cemento, para 1348,32 m³ se necesitan 45.236,13 kg que representa 904,4 sacos de cemento.

⁴⁷ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

3.2.4.4 Mezclado del suelo con el cemento: Se busca que el cemento y el suelo se unan íntimamente, permitiendo así la homogeneidad del material y el buen comportamiento mecánico ante las sollicitaciones del tráfico.

Teniendo claro el objetivo del proceso de mezclado entre el suelo y el cemento, se indican los métodos, que a través de estos años de avances tecnológicos, se han usado en esta actividad.

- Mezclado con Motoniveladora: Actuando en beneficio de la implementación de esta tecnología, se puede admitir en pequeñas obras el uso de la moto niveladora por lo costoso del transporte de una estabilizadora de suelos para volúmenes extremadamente bajos. A cambio de la falta de homogeneidad y rapidez que tiene el proceso se puede pensar en aumentar un poco el contenido de cemento sin que se altere considerablemente la rigidez de la estructura ni el costo de la obra.

Figura 27. Equipo de Motoniveladora⁴⁸⁽¹⁾



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

⁴⁸ Ibidem

3.2.4.5 Conformación y Compactación. La estabilizadora entrega un material poco denso que, por su misma condición, puede aumentar su volumen hasta el doble después del paso del equipo mezclador, por tal razón se hace muy complicado manejar con la moto niveladora el material en estas condiciones, para llevar el material ya mezclado a su posición final se debe seguir el procedimiento:

- Pasada del vibro compactador sin vibración: Esta pasada estática del vibro compactador puede reducir el espesor post mezclado y de esta forma dejar el material en condiciones más accesibles para ser conformado por la moto niveladora
- Conformación de la moto niveladora: Este proceso es ampliamente conocido por los operadores del equipo y consiste básicamente en extender el material hasta alcanzar las cotas deseadas que cumplan con todos los requerimientos de la vía, pendientes, bombeos, peraltes etc.
- Determinación de la humedad: Según el resultado de humedad obtenida de una muestra después de la estabilización, se toma la decisión de incorporar agua al material. Generalmente el material llega a esta instancia por debajo de la humedad óptima debido al proceso a que ha sido sometido, pues la estabilizadora baja un poco de humedad, igual que la motoniveladora al redistribuir el material. En cualquier caso se aconseja compactar uno o dos puntos por encima de la humedad óptima porque el cemento, como material incorporado, absorbe gran cantidad de agua en el proceso de fraguado.
- Compactación final: Se busca dejar el material estabilizado en las condiciones finales de funcionamiento. Para ello se pasa el vibro compactador según el número de pasadas estipulado en la pista de prueba, teniendo en cuenta que esté configurado en amplitud alta para poder alcanzar la parte inferior de la capa por compactar.

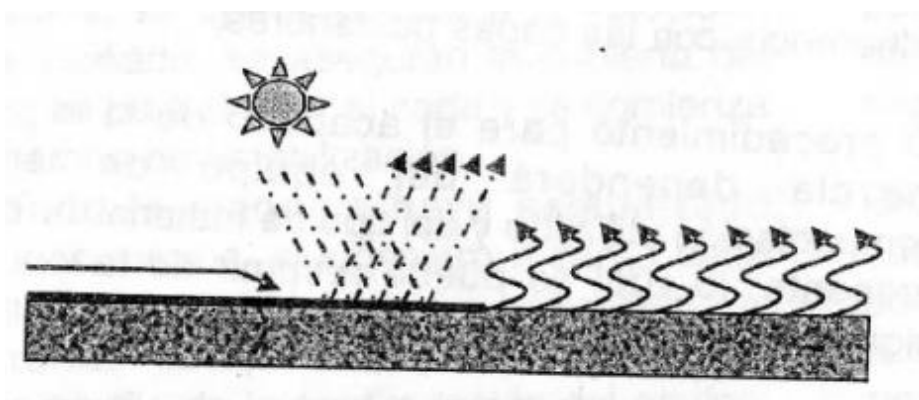
3.2.4.6 Curado: Como en todo proceso de curado de mezcla con cemento lo que se busca son condiciones buenas de fraguado. Aunque se afirma que el suelo-cemento estará continuamente aumentando su resistencia, se debe garantizar que gran porcentaje de ella se obtenga en edades tempranas.

Existen dos formas de lograrlo.

- Curado con material bituminoso o membranas: Consiste en aplicar a la capa estabilizada una película que aisle el agua contenida en la mezcla de

las condiciones atmosféricas para impedir que sea liberada por evaporación y el fraguado sea insuficiente. La siguiente figura esquematiza el fenómeno.

Figura 28. Fenómeno de Evaporación Capa bituminosa y Suelo Cemento⁴⁹



Fuente. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos

3.2.5 Manejo ambiental

- Todas las labores para la fabricación de capas de suelo cemento y estabilizadas se realizaran teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y los recursos naturales. “INSTITUTO NACIONAL DE VIAS Artículo 300.4.8 manejo ambiental”
- Si los agregados son suministrados por terceros, el constructor deberá entregar documentación que certifique la legalidad de la explotación y el cumplimiento de las disposiciones ambientales vigentes.
- Las disposiciones de drenajes superficiales y la pendiente transversal de la locación deberán ser mantenidas correctamente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de prevenir erosiones y arrastres innecesarios de partículas sólidas.

⁴⁹ **HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL.** “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy”. Cementos Argos (versión en español).

- Todos las bolsas de cemento utilizadas en la construcción de las bases en suelo cemento, deberán tener una disposición final hacia el quemadero, eliminando toda amenaza de contaminación para el medio ambiente, se realizara el conteo x bolsas de cemento según el material utilizado.
- Se deberá evitar el transito desordenado de equipos de construcción por fuera del área de los trabajos, con el fin de evitar perjuicios innecesarios a la flora y la fauna, así como interferencias al drenaje natural.
- Durante el procedimiento de construcción del suelo cemento se realizará un diagnóstico inventario de la generación de residuos ya sea por las bolsas de cemento o material bituminoso.

4 EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA PROPUESTA AL IMPLEMENTAR EL MÉTODO DE CAPAS ESTABILIZADAS QUE PROPORCIONA RESISTENCIA DE DISEÑO A LA BASE DE LA LOCACIÓN

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- Método de capas estabilizadas de suelo-cemento aporta solución de problemas de estabilidad, durabilidad y economía
- La implementación de las capas estabilizadas en suelo cemento determina una propuesta viable en la construcción de las capas de las bases de las locaciones petroleras, ya que aporta gran beneficio económico y los costos de producción son bajos comparados con el método convencional de capas estabilizadas de afirmado y emulsión asfáltica.
- Luego de determinar la dosificación y volumen utilizado para la construcción de las bases estabilizadas de suelo cemento, se sigue al análisis de los precios unitarios para el ítem “Bases Estabilizadas en suelo cemento”, se toman las mismas cantidades contractuales medidas por topografía y se construye el unitario de la base de suelo cemento.
- Para la construcción de las capas estabilizadas en suelo cemento se necesitan un volumen en suelo de 1348,32 m³

Tabla 40. Costo ítem Bases Estabilizada en Suelo Cemento

Ítem	Descripción Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total
23.1	Base Estabilizada con Suelo Cemento	M3	1348,32	\$84.538	\$113.984.276

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

El análisis del precio unitario Bases estabilizada en suelo cemento se encuentra en el anexo 3

- El procedimiento de capas estabilizadas de suelo cemento nos proporciona un ahorro económico en el suministro de material para la dosificación de la mezcla, además el precio por m³ es bajo comparado con el suministro de capas a base de emulsión. A continuación se calcula el costo de los ítems teniendo en cuenta el ítem calculado de bases estabilizadas de suelo cemento y obviando el ítem de “Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio”

Tabla 41. Costo ítem Bases Estabilizada en Suelo Cemento y adecuación emulsión Asfáltica

Ítem	Descripción Actividad	Unidad	Cantidad	Precio	Total
10.1	Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio	M3	913,70	\$216.632	\$197.936.658
23.1	Bases estabilizada con suelo cemento	M3	1348,32	\$84.538	\$113.984.276

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

- Luego observamos que para un procedimiento de bases estabilizadas con emulsión según las cantidades de obra, se tiene un costo de \$ 197.936.658, y para un procedimiento de capas estabilizadas en suelo cemento es de \$ 113.984.276, lo cual indica que se tiene un ahorro económico de \$ 197.936.658 - \$ 113.984.276= \$ 83.952.382 utilizando capas estabilizadas en suelo cemento.
- Ahora se realiza el presupuesto total del proyecto cambiando el procedimiento de construcción de adecuación con emulsión asfáltica por bases estabilizadas en suelo cemento, los resultados se encuentran en el anexo 4, del presupuesto del contrato, ahora el presupuesto para la locación petrolera es= \$ 735.713.369 con las obras adicionales complementarias:

Resumen del Presupuesto utilizando capas estabilizadas en suelo cemento	
Plataforma	\$ 735.713.369
Adecuación Zodme	\$ 60.000.000
Reconformación Plataforma	\$ 40.000.000
Movimiento de Líneas	\$ 20.000.000
Mantenimiento vías de acceso	\$ 30.000.000
Vía de acceso	\$ 85.765.040
Total	\$ 971.478.409
Costo x pozo	\$ 323.826.136

- El costo total del proyecto es de= \$ 971.478.409 utilizando capas estabilizadas en suelo cemento
- El costo total del proyecto es de = \$ 1.055.430.791 utilizando bases de emulsión asfáltica.
- Para la construcción de la locación petrolera se estima un ahorro en costos de inversión de \$ 1.055.430.791 – \$ 971.478.409= \$ 83.952.382

CONCLUSIONES

- La factibilidad tanto técnica como económica del uso del suelo como materia prima para la producción y uso de diversos materiales y elementos para ser usados en el desarrollo de proyectos para la construcción de las bases estabilizadas de suelo-cemento constituyen una verdadera alternativa de solución para reducir los costos de inversión y manejo de los recursos ambientales de las partes.
- En los análisis de precios unitarios comparativos entre los dos tipos de materiales es fácil observar que el costo de la base en emulsión asfáltica es mayor comparado al procedimiento de bases estabilizadas en suelo cemento, el costo depende directamente de la cantidad de cemento involucrado en el diseño.
- Dentro del diseño de construcción se obtuvo un ahorro del 8,0 % del proyecto que equivale a \$ 83.952.382, lo cual indica que en el escenario del campo petrolero se puede trabajar con material siempre en cuando el suelo cumplan las condiciones mínimas para hacer estabilizado.
- Para la construcción de las bases estabilizadas con suelo cemento se debe tener en cuenta una buena programación ya que existen situaciones que motivan las pérdidas de rendimientos de obra. La siguiente tabla ilustra algunas pérdidas porcentuales en los rendimientos de ejecución.
- En el diseño de construcción de bases granulares y emulsión asfáltica, se tenía un espesor de diseño de 15 cm, lo cual lleva gran cantidad de hidrocarburo, para las bases estabilizadas en suelo cemento se llevara un curado bituminoso con relación 1:4 de emulsión y agua, este actuara de sello para el desgaste de la base por efecto de la lluvia y el sol y su espesor será no mayor a 5cm”.
- Una análisis profundo evidencia que, para la construcción de las bases estabilizadas con suelo cemento se debe tener en especial cuidado el recurso técnico y económico, ya que de este depende la planeación, los costos de inversión y mantenimiento necesaria en el cual depende gran parte del éxito integral del proyecto

RECOMENDACIONES

- Se debe tener especial cuidado en el desarrollo de la construcción de las capas estabilizadas en suelo cemento, ya que el desperdicio de cemento varía dependiendo a la manipulación del mezclado y el transporte hasta los sitios de acopio para el respectivo diseño.
- Construir acopios cercanos a donde se va construir las bases estabilizadas en suelo cemento, ya que por normas no es permitido la mezcla dentro del área de las locaciones petroleras.
- El material utilizado para el suelo cemento debe cumplir con los requisitos para ser estabilizado, de no encontrarse cerca de las locaciones a construir se podrá combinar este suelo con otros, creando un suelo nuevo que cumpla con los ensayos de laboratorio.
- Es recomendable construir una capa superficial en emulsión o curado sobre el suelo cemento para que este sirva de capa protectora evitando desgaste por lluvias y condiciones climáticas.
- Se debe realizar un estudio detallado del tráfico promedio diario para encontrar el factor de fatiga real que me permite encontrar el diseño adecuado de los espesores de la capa de suelo cemento.
- El presupuesto de las obras civiles varía dependiendo a la necesidades geotécnicas de la locación, por ello es necesario determinar con equipo topográfico las medidas reales para un buen diseño de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

AVITIA RODOLFO. “Suelo-Cemento”. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. A.C.1991.

HERNANDEZ MEJIA WALTER, ING CIVIL. “Suelo-Cemento, base durable para las vías de hoy” .Cementos Argos (versión en español).

JOSE TOIRAC CORRAL: El suelo-cemento como material de construcción. Instituto tecnológico santo domingo 2008 (sistema de información científica).

NORMAS INVIAS BASE ESTABILIZADA EN SUELO CEMENTO. Artículo 341-07-Artículo 300-07- I: N: V: E-807-7

VARIOS. VARIOS. “La Tierra .Material de Construcción”. Instituto Torroja. España.1987

ANEXOS

Anexo A. Presupuesto Obras Civiles Locación Cira C2846 2866 2836 con Adecuación Emulsión Asfáltica

Presupuesto de obras civiles para locación petrolera CIRA C2846 2866 2836					
Ítem	Descripción	Unid	Cant	Valor Unitario	Subtotal
1. LOCALIZACION Y REPLANTEO					
1.1	Localización y replanteo	M2	7.583,40	514	3.897.868
2. CERREMIENTO EN ALAMBRE DE PUAS					
2.1	Cerramiento en alambre de púas	ML	500	30.000	15.000.000
3. DESMONTE, LIMPIEZA Y DESCAPOTE					
3.1	Desmonte, limpieza y descapote	M2	7.583,48	642	4.868.594
4. CORTES Y RELLENOS COMPENSADOS COMPACTADOS					
4.1	Corte y rellenos compensados y compactados	M3	8.401,30	8.095	68.008.524
5. EXCAVACIÓN CORTES, CANALES Y PRÉSTAMOS					
5.1	Excavación, cortes, canales y préstamos	M3	7018,32	4.398	30.866.571
6. EXCAVACIÓN MANUAL					
6.1	Excavación manual	M3	43,50	105.052	4.569.762
7. CONFORMACIÓN DE ZONAS DE DISPOSICION DE MATERIALES ESTÉRILES-ZODMES M3					
7.1	Conformación de zonas de disposición de materiales estériles (incluye explotación)	M3	8535,02	7.378	62.971.378
8. SUMINISTRO E INSTALACION DE BASE GRANULAR					
8.1	Base granular metro cúbico	M3	913,70	101.742	92.961.665
9. TRANSPORTE DE MATERIALES					
9.1	Más de 5.01 km	M3-EST	109.654,14	1.160	127.198.802

10.ADECUACIÓN CON EMULSIÓN ASFALTICA CON SUMINISTRO DE EMULSIÓN					
10.1	Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio	M3	913,70	216.632	197.936.658
11.SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONCRETO					
11.1	Suministro y colocación de concreto de 3000 psi	M3	39,78	627.088	24.945.561
12.ACERO DE REFUERZO					
12.1	Acero de refuerzo	KG	3.900	5.241	20.439.900
13.CUNETAS EN CONCRETO					
13.1	Cunetas tipo B, sección triangular ancho= 1.40 m	ML	394	94.606	37.274.764
14.MUERTOS DE ANCLAJE					
14.1	Muertos de anclaje Tipo 2 (con guaya)	UND	12	802.089	9.625.068
15.SEÑALIZACIÓN DE ANCLAJE					
15.1	Señalización de anclaje	UND	12	45.709	548.508
16.INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS					
16.1	Instalación de alcantarilla en concreto reforzado de 900mm (36") de diámetro interior	ML	31	787.997	24.427.907
17.CONSTRUCCION DE FILTRO					
17.1	Construcción de filtro	ML	28	93.725	2.624.300
18 TRANSPORTE E HINCADO DE TUBO CONDUCTOR					
18.1	Transporte e hincado de tubo conductor	UND	3	1.259.430	3.778.290
19 REDUCCIÓN DE CONTRAPOZO					
19.1	Reducción de contrapozo	UND	3	1.944.455	5.833.365

20 SUMINISTRO E INTALACIÓN DE REJILLA METÁLICA					
20.1	Suministro e instalación de rejilla metálica	G	75	12.345	925.875
21 CONSTRUCCIÓN DE CERRAMIENTO MODULAR					
21.1	Construcción de cerramiento modular	ML	120	280.838	33.700.560
22 SUMINISTRO E INSTALACION SISTEMA DE BIOMANTO					
22.1	Suministro e instalación sistema de biomanto variado, con sacos rellenos	M2	2238,20	21.116	47.261.831
TOTAL					819.665.751

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Anexo B. Análisis de Precio Unitario Adecuación con Emulsión Asfáltica con suministro de Emulsión, mezcla en patio

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OBRAS CIVILES PARA CONSTRUCCION DE LOCACIONES PETROLERAS Y OBRAS CIVILES COMPLEMENTARIAS EN EL CAMPO LA CIRA INFANTAS Y SU AREA DE INFLUENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER						
DEPARTAMENTO DE SANTANDER						
<u>Análisis Unitarios</u>						
Partida de trabajo:	10.1	Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio				
					Unidad:	M3
I. EQUIPO						
Descripción	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa Hr	Sub-Total	Total
Herramientas manual			15,0000	\$1.300	\$87	
Carrotanque agua			15,0000	\$42.000	\$2.800	
Equipo de emulsión			15,0000	\$80.000	\$5.333	
Motoniveladora			15,0000	\$100.000	\$6.667	
Vibrocompactador			15,0000	\$100.000	\$6.667	
Total Equipo					\$21.554	
II. MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total	Total	
Base asfáltica	Galones	25,00	\$5.455	\$136.375		
Agua	Litro	94,50	\$80	\$7.560		
Total Materiales					\$143.935	
III. TRANSPORTES						
Descripción		Vol. / Peso	Distancia	Precio m3-kg/km	Sub-Total	Total
Total Transporte						\$-

IV. MANO DE OBRA						
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Precio Unitario	Sub-Total	Total
Encargado de la mezcla	Hr	1,00	15,0000	\$19.001	\$1.267	
Ayudantes:	Hr	2,00	15,0000	\$18.663	\$2.488	
Total Mano Obra						\$3.755
V. COSTOS DIRECTOS						\$169.244
Descripción				Valor total	Porcentaje	Valor total
Administración				\$168.000	18,00%	\$30.464
Imprevistos				\$168.000	5,00%	\$8.462
Utilidad				\$168.000	5,00%	\$8.462
				Total Costos Ind.		\$47.388
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$216.632

Fuente. Él autor. Martínez Monsalve año 2013-Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Anexo C. Análisis de Precio Unitario Base Estabilizada en suelo cemento

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OBRAS CIVILES PARA CONSTRUCCION DE LOCACIONES PETROLERAS Y OBRAS CIVILES COMPLEMENTARIAS EN EL CAMPO LA CIRA INFANTAS Y SU AREA DE INFLUENCIA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER						
DEPARTAMENTO DE SANTANDER						
<u>Análisis Unitarios</u>						
Partida de trabajo:	23	Base Estabilizada con suelo cemento				
					Unidad:	M3
I. EQUIPO						
Descripción	Marca	Tipo	Rendimiento	Tarifa Hr	Sub-Total	Total
Herramientas manual			15,0000	\$1.300	\$87	
Carrotanque agua			15,0000	\$42.000	\$2.800	
Motoniveladora			15,0000	\$100.000	\$6.667	
Vibrocompactador			15,0000	\$99.500	\$6.633	
					Total Equipo	\$16.187
II. MATERIALES						
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub-Total	Total
Cemento		KG	33,55	\$480	\$16.104	
Suelo-material seleccionado		m3	1,00	\$30.000	\$30.000	
					Total Materiales	\$46.104
III. TRANSPORTES						
Descripción		Vol. / Peso	Distancia	Precio m3-kg/km	Sub-Total	Total
					Total Transporte	\$-

IV. MANO DE OBRA						
Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Precio Unitario	Sub-Total	Total
Albañil	Hr	1,00	15,0000	\$19.001	\$1.267	
Ayudantes:	Hr	2,00	15,0000	\$18.663	\$2.488	
Total Mano Obra						\$3.755
V. COSTOS DIRECTOS						\$66.046
Descripción				Valor total	Porcentaje	Valor total
Administración				\$66.046	18,00%	\$11.888
Imprevistos				\$66.046	5,00%	\$3.302
Utilidad				\$66.046	5,00%	\$3.302
Total Costos Ind.						\$18.492
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$84.538

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas

Anexo D Presupuesto Obras Civiles Locación Cira C2846 2866 2836 con Base Estabilizada en Suelo Cemento

Presupuesto de obras civiles para locación petrolera CIRA C2846 2866 2836 teniendo en cuenta procedimiento de construcción de Bases Estabilizadas en Suelo Cemento					
Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	Valor Unitario	Subtotal
5 LOCALIZACION Y REPLANTEO					
1.1	Localización y replanteo	M2	7.583,40	514	3.897.868
6 CERREMIENTO EN ALAMBRE DE PUAS					
2.1	Cerramiento en alambre de púas	ML	500	30.000	15.000.000
7 DESMONTE, LIMPIEZA Y DESCAPOTE					
3.1	Desmonte, limpieza y descapote	M2	7.583,48	642	4.868.594
8 CORTES Y RELLENOS COMPENSADOS COMPACTADOS					
4.1	Corte y rellenos compensados y compactados	M3	8.401,30	8.095	68.008.524
9 EXCAVACIÓN CORTES, CANALES Y PRÉSTAMOS					
5.1	Excavación, cortes, canales y préstamos	M3	7018,32	4.398	30.866.571
10 EXCAVACIÓN MANUAL					
6.1	Excavación manual	M3	43,50	105.052	4.569.762
11 CONFORMACIÓN DE ZONAS DE DISPOSICION DE MATERIALES ESTÉRILES-ZODMES M3					
7.1	Conformación de zonas de disposición de materiales estériles (incluye explotación)	M3	8535,02	7.378	62.971.378
12 SUMINISTRO E INSTALACION DE BASE GRANULAR					
8.1	Base granular metro cúbico	M3	913,70	101.742	92.961.665
13 TRANSPORTE DE MATERIALES					
9.1	Más de 5.01 km	M3-EST	109.654,14	1.160	127.198.802

14 ADECUACIÓN CON EMULSIÓN ASFALTICA CON SUMINISTRO DE EMULSIÓN					
10.1	Adecuación con emulsión asfáltica con suministro de emulsión, mezcla en patio	M3			
15 SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONCRETO					
11.1	Suministro y colocación de concreto de 3000 psi	M3	39,78	627.088	24.945.561
16 ACERO DE REFUERZO					
12.1	Acero de refuerzo	KG	3.900	5.241	20.439.900
17 CUNETAS EN CONCRETO					
13.1	Cunetas tipo B, sección triangular ancho= 1.40 m	ML	394	94.606	37.274.764
18 MUERTOS DE ANCLAJE					
14.1	Muertos de anclaje Tipo 2 (con guaya)	UND	12	802.089	9.625.068
19 SEÑALIZACIÓN DE ANCLAJE					
15.1	Señalización de anclaje	UND	12	45.709	548.508
16.INSTALACIÓN DE ALCANTARILLAS					
16.1	Instalación de alcantarilla en concreto reforzado de 900mm (36") de diámetro interior	ML	31	787.997	24.427.907
17.CONSTRUCCION DE FILTRO					
17.1	Construcción de filtro	ML	28	93.725	2.624.300
1. TRANSPORTE E HINCADO DE TUBO CONDUCTOR					
18.1	Transporte e hincado de tubo conductor	UND	3	1.259.430	3.778.290
2. REDUCCIÓN DE CONTRAPOZO					
19.1	Reducción de contrapozo	UND	3	1.944.455	5.833.365
3. SUMINISTRO E INTALACIÓN DE REJILLA METÁLICA					
20.1	Suministro e instalación de rejilla metálica	KG	75	12.345	925.875
4. CONSTRUCCIÓN DE CERRAMIENTO MODULAR					
21.1	Construcción de cerramiento modular	ML	120	280.838	33.700.560

5. SUMINISTRO E INSTALACION SISTEMA DE BIOMANTO					
22.1	Suministro e instalación sistema de biomanto variado, con sacos rellenos	M2	2238,2 0	21.116	47.261.831
23. BASES ESTABILIZADAS CON SUELO -CEMENTO					
23.1	Bases estabilizada con suelo cemento	M3	1348,3 2	84.538	113.984.276
TOTAL					735.713.369

Fuente. Él autor - Locaciones Petrolera campo la Cira Infantas