



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON  
CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTE LOS CERROS  
ALEDAÑOS A LA URBANIZACIÓN SANTA ROSALÍA EN EL D.T.C.H., DE  
SANTA MARTA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

**EDWIN ALBERTO ORTIZ RINCÓN  
ANA PATRICIA TOVAR PORRAS**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE PAVIMENTOS  
SANTA MARTA, D.T.C.H.  
2006**



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON  
CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTE LOS CERROS  
ALEDAÑOS A LA URBANIZACIÓN SANTA ROSALÍA EN EL D.T.C.H., DE  
SANTA MARTA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

**EDWIN ALBERTO ORTIZ RINCÓN  
ANA PATRICIA TOVAR PORRAS**

**Trabajo de Grado, requisito para optar al título de Ingeniero Civil**

**Asesores:  
ALLEX ÁLVAREZ LUGO  
Ingeniero Civil, MIC**

**y,**

**JAIRO RUIZ SANDOVAL  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE PAVIMENTOS  
SANTA MARTA, D.T.C.H.  
2006**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**PRESIDENTE COMITÉ DE GRADO  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL**

---

**JURADO 1**

---

**JURADO 2**

*A Dios por ser el dador de la vida y del estilo de vida que tengo; a mis padres por darme la oportunidad de haber llegado hasta donde estoy; a quien me orientó en la realización de este proyecto; y a todos los que me dieron fuerzas para llegar hasta el final.*

*ANA PATRICIA TOVAR PORRAS*

*A Dios quien es la fuente de mis fuerzas y quien cuida todos mis pasos, a mi familia que es el apoyo incondicional que me ha permitido estar aquí; a la persona que concibió y dio el rumbo al presente proyecto y a todas las personas que de una u otra manera hicieron parte activa y nos colaboraron en el desarrollo del presente proyecto de grado.*

*EDWIN ALBERTO ORTÍZ RINCÓN*

## CONTENIDO

	Pág.
1. PRESENTACIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES	15
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	19
4.1. INTRODUCCIÓN	19
4.2. VENTAJAS	20
4.2.1. Ventajas para los pavimentos rígidos	21
4.2.2. Ventajas para los pavimentos flexibles	21
4.3. SUELOS CON DIFICULTADES PARA EL TRATAMIENTO CON CEMENTO	22
4.3.1. Suelos con materia orgánica	22
4.3.2. Suelos con alto contenido de arcilla	23
4.3.3. Suelos con sulfatos	23
4.3.4. Suelos arenosos	23
4.3.5. Suelos ideales para tratar	24
4.4. DIFERENTES MATERIALES PRODUCIDOS CON CEMENTO	24
4.4.1. Suelo modificado con cemento	25
4.4.2. Suelo – cemento	25
4.4.3. Suelo – cemento plástico	26
4.4.4. Grava – cemento o concreto pobre	26
4.5. NATURALEZA DE LOS MTC	26
4.6. FISURACIÓN DE LOS MTC	28
4.7. EFECTOS DE LA FISURACIÓN	29

4.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FISURACIÓN	30
4.9. CONTROL DE LAS FISURAS	32
4.9.1. Suelos	32
4.9.2. Humedad	32
4.9.3. Densidad	33
4.9.4. Curado	33
4.10. REFLEXIÓN DE FISURAS	34
4.11. DISEÑO DE MEZCLAS DE SUELO – CEMENTO	35
4.11.1. Norma general para dosificación	35
4.11.1.1. Ensayos con la mezcla de suelo – cemento	36
4.11.1.2. Interpretación de los resultados	38
4.11.1.3. Resistencia a la compresión	39
4.12. MÉTODO SIMPLIFICADO	39
4.13. DESCRIPCIÓN DEL CONSISTÓMETRO VEBE TEST	40
4.13.1. Molde cilíndrico	41
4.13.2. Manga de la guía	41
4.13.3. Sobrecarga	41
4.13.4. La mesa vibratoria Vebe	42
4.13.5. Motor eléctrico	42
4.14. DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DURABILIDAD	42
5. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO	44
5.1. GEOMORFOLOGÍA GENERAL DE LAS ZONAS	45
5.1.1. Geomorfología general de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía	45
5.1.2. Geomorfología general de la zona irrigada por el río Gaira	45
5.2. GEOLOGÍA GENERAL DE LAS ZONAS	46
5.2.1. Geología general de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía	46
5.2.2. Geología general de la zona irrigada por el río Gaira	46
6. JUSTIFICACIÓN	47

7. OBJETIVOS	49
7.1. GENERAL	49
7.2. ESPECÍFICOS	49
8. FORMULACIÓN Y GRAFICACIÓN DE HIPÓTESIS	51
9. DISEÑO METODOLÓGICO SEGÚN LA NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN	52
9.1. SELECCIÓN Y MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE ANÁLISIS	52
9.2. DELIMITACIÓN DEL UNIVERSO GEOGRÁFICO Y TEMPORAL DE ESTUDIO	53
9.3. FORMA DE OBSERVAR LA POBLACIÓN	54
9.4. TÉCNICAS O INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	55
9.4.1. Recolección de la información	55
9.4.2. Técnicas y procedimientos de análisis	55
10. DESARROLLO DEL PROYECTO	57
10.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO POR ETAPAS	59
10.1.1. Etapa 1. Definición de los materiales a estudiar	59
10.1.2. Etapa 2. Ejecución de ensayos previos a los que definen los parámetros a evaluar	59
10.1.3. Etapa 3. Ejecución de ensayos que definen los parámetros a evaluar	60
10.1.4. Etapa 4. Análisis de los resultados y organización de la información	60
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
11.1. ANÁLISIS DEL MATERIAL PROCEDENTE DEL RÍO GAIRA	61
11.2. ANÁLISIS DEL MATERIAL PROCEDENTE DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA	63
11.3. ANÁLISIS DE LAS DOSIFICACIONES DE CEMENTO ESTUDIADAS	74

11.4. ANÁLISIS DE LAS ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN ESTUDIADAS	75
12. SUGERENCIAS TÉCNICAS SOBRE PROCESOS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO	78
12.1. SUGERENCIAS PARA EL ENSAYO PRÓCTOR ESTÁNDAR	78
12.2. SUGERENCIAS PARA EL ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO	78
12.3. SUGERENCIAS PARA LA VIBROCOMPACTACIÓN	79
13. LIMITACIONES	81
14. CONCLUSIONES	82
15. RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	88
ANEXO A. Formatos de Ensayos de Laboratorio	89
ANEXO B. Registro Fotográfico	137



## ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

---

---

### 1. PRESENTACIÓN

“El suelo-cemento está definido por el ACI (**American Concrete Institute**, 1991), en sus publicaciones especiales sobre terminología del cemento y hormigón, como una mezcla de suelo y cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactada a alta densidad.”<sup>1</sup> Esta definición induce hacia el planteamiento de las ideas que son objeto de la presente investigación; la cual surge a causa de la necesidad que se presenta en la ciudad de Santa Marta de disponer de materiales adecuados para la conformación de bases y subbases de pavimentos, a cuyo problema se busca dar solución estabilizando algunos de los materiales locales, al emplear un método de estabilización química como lo es el suelo - cemento, y teniendo en cuenta las dos ideas que se describen a continuación.

La primera idea está asociada a la optimización del contenido de cemento necesario para formar una mezcla de suelo - cemento, que al ser compactada a alta densidad presente un mejoramiento de sus propiedades mecánicas originales, y cuya utilización no incurra en el aumento de los costos de construcción de bases y subbases de pavimentos.

El estudio de la dosificación se realiza con base en los contenidos recomendados por la AASHTO (**American Association of State Highways and Transportation Officials**), a partir de los cuales dichos contenidos se reducirán en los diferentes porcentajes considerados convenientes para formar una mezcla de suelo-cemento

---

<sup>1</sup> Suelo-cemento. Un material con muchas aplicaciones. Boletín ICPA N° 139. Enero de 1991.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RIO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

adecuada para la conformación de bases y subbases de pavimentos. Luego de definir a nivel teórico los diferentes porcentajes de cemento a adicionar a las mezclas, se procede a la elaboración en el laboratorio de probetas de suelo-cemento compactadas empleando diversos métodos de compactación (como lo describe la siguiente idea), y posteriormente serán evaluadas en función de los resultados obtenidos en ensayos de compresión inconfiada y durabilidad, éste último relacionado con la determinación de las pérdidas del suelo – cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secamiento repetido de especímenes endurecidos de suelo – cemento.<sup>2</sup>

Se plantea entonces una segunda idea, la cual considera la evaluación de diversas metodologías de compactación en laboratorio, entre las que se encuentran algunas ya conocidas como son los ensayos de compactación próctor estándar y próctor modificado, y una tercera metodología denominada vibrocompactación, la cual es aplicada para compactar especímenes de suelo – cemento y comparar los resultados obtenidos con esta energía de compactación con los resultados obtenidos por las otras energías de compactación (ensayos próctor estándar y próctor modificado). El método de compactación más utilizado en el laboratorio es el ensayo próctor modificado cuya energía de compactación es aplicada por impacto y reproduce en forma poco significativa los procesos de campo. No obstante esta investigación pretende hacer una comparación entre la energía que aplica el ensayo próctor estándar, la que aplica el ensayo próctor

---

<sup>2</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayos de Materiales para carreteras. INV E 807 – 1.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

modificado, y la energía que aplica la vibrocompactación durante la densificación de las probetas de suelo - cemento, en términos del peso unitario seco, lo que en teoría afecta la durabilidad y la resistencia a compresión de las probetas compactadas, y a su vez permite evaluar la eficiencia de cada una de las metodologías de compactación antes mencionadas.

Cabe mencionar que la poca similitud que presentan las energías aplicadas por impacto (ensayos próctor estándar y próctor modificado) con los procesos de compactación en campo, motivan a evaluar el método de vibrocompactación, el cual es más similar al proceso de campo. Acerca de este método de densificación de mezclas de suelo - cemento en el laboratorio hay pocos antecedentes en nuestro país, por lo tanto este proyecto de grado es pionero a nivel nacional en lo que se refiere a estudios de dosificación y mecanismos alternos de compactación de mezclas de suelo - cemento. De esta manera la ciudad de Santa Marta se ve beneficiada, ya que la investigación se realiza empleando materiales locales, lo que significa que en la ciudad se dispondrá de información acerca de materiales cuyas propiedades mecánicas originales han sido mejoradas a partir de la estabilización química con suelo-cemento.

Un logro muy importante que se busca alcanzar con los resultados obtenidos es reducir los costos de construcción, partiendo de las ideas mencionadas como objeto de esta investigación, las cuales en resumen buscan reducir los contenidos de cemento y mejorar las técnicas de compactación en el laboratorio. Cabe mencionar que el cemento es uno de los materiales que más encarece las obras, y si lógicamente el porcentaje a utilizar se reduce, entonces los costos de



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RIO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

construcción también experimentarán una reducción. Además disminuir los contenidos de cemento induce al alcance de otro logro muy importante en términos de costos, como lo es el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales disponibles en la ciudad y en sus alrededores, debido a que con la estabilización de los materiales locales sería innecesario transportarlos desde otras localidades, otro aspecto que aumenta considerablemente el presupuesto de la construcción de una vía.

Adicionalmente con este proyecto se hace un aporte al desarrollo científico a nivel nacional, por el hecho de estudiar la vibrocompactación como método alternativo para la densificación de probetas de suelo - cemento, el cual como ya se ha dicho reproduce en forma más semejante el proceso de compactación en campo.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Es bien conocido que en Santa Marta al igual que en muchas partes del país y del mundo surge un inconveniente en cuanto a la disposición de materiales de calidad necesarios para bases y subbases en ejecución de proyectos de pavimentos. Es por eso que han surgido muchas investigaciones que han traído como resultado el planteamiento de métodos alternativos para mejorar el comportamiento estructural de materiales existentes en los lugares más cercanos de la obra. Uno de estos métodos es el suelo-cemento, del cual se cuenta con poca información local en cuanto a los contenidos óptimos de cemento y al método de compactación que plantee un procedimiento estandarizado a seguir para obtener resultados óptimos de compactación que posteriormente conlleven a disminuir los contenidos de cemento a utilizar y por tanto a una reducción en cuanto a costos.

Se presenta entonces la problemática de que los materiales de buena calidad para ser utilizados en bases y subbases de pavimento son muy difíciles de conseguir o bien, el acceso a ellos trae como consecuencia un aumento del presupuesto en cuanto a transporte y evaluación de los niveles de calidad. Por otro lado los métodos de compactación utilizados en laboratorio para determinar los contenidos óptimos de humedad y de cemento a utilizar en campo, no son muy convincentes ni reproducen adecuadamente los resultados esperados en campo.

Como se conoce a nivel de suelo-cemento, la AASHTO ha determinado unos contenidos recomendados de cemento para los diversos tipos de materiales según



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

su misma clasificación (Tabla 4.1). Pero el problema se basa en desconocer el contenido mínimo (óptimo) que cumpla con los requerimientos que exija el diseño en cuanto a la resistencia de la capa de base o subbase, y a su vez con la durabilidad del pavimento (asociado al período de diseño). Es entonces evidente que juega un papel importante el método de compactación que se utilice en laboratorio; luego es necesario centrar la atención en el incremento de dinero que tendría lugar si el contenido de cemento estuviera por encima del necesario, por tanto se tendría el problema de verificar que en laboratorio se determinen de manera acertada los contenidos óptimos de cemento. Y es por eso que se da lugar a la comparación de los diferentes métodos de ensayos de compactación en laboratorio como lo son el próctor modificado y el próctor estándar versus vibrocompactación el cual es objeto experimental de estudio en el presente proyecto de grado.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

### **3. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES**

“Después de la aplicación del cemento en losas de concreto, en 1865, el primer tratamiento con cemento para capas inferiores de pavimentos fue la construcción de un suelo-cemento en Sarasota, Florida, en 1915, en el cual se mezclaron conchas, arena y cemento.”<sup>3</sup>

“Durante la Segunda Guerra Mundial el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos produjo diseños para la rápida pavimentación de pistas de aterrizaje en Europa y el Lejano Este.”<sup>4</sup> Una vez terminó la guerra y tras observar el buen estado en el cual quedaron estas pistas tras sufrir bombardeos y las inclemencias del clima, la “estabilización” con suelo-cemento se popularizó de manera acelerada en los países desarrollados.

En la década del 30 en los Estados Unidos se hicieron muchas investigaciones destacándose el tramo experimental de Johnsonville (Carolina del Sur), construido en 1935, con una longitud de 2,4 km, el cual fue de vital importancia para el desarrollo de esta tecnología, al igual que el ensayo vial de la AASHO finalizado en 1958.

Actualmente esta técnica tiene muchísimos usos como son protecciones de costas marítimas, muros de contención, cimentación de estructuras, etc. En Colombia,

---

<sup>3</sup> TABARES A. Jorge Andrés. Materiales Tratados con cemento para pavimentos. Medellín, 1992. Pág. 1.

<sup>4</sup> CRONEY, David y CRONEY, Paul. Design and performance of road pavements. Pág. 185.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

esta técnica ha tenido gran acogida en el campo de los pavimentos debido a la deficiencia de materiales óptimos, que se presenta en algunas zonas del país y desde luego el beneficio económico que representa.

Hasta el momento los métodos desarrollados en Colombia para dosificar mezclas de suelo-cemento a utilizar como material de base o subbase para pavimentos de carreteras, calles, aeropuertos, bermas y parqueaderos, se basan en los desarrollados en los Estados Unidos, aunque su aplicabilidad en condiciones tropicales ha sido probada de manera extensa y exitosa en países tales como Brasil y Venezuela. Aunque en Colombia se ha investigado poco acerca de esta tecnología, ya existe cierta experiencia en carreteras, vías urbanas, aeropuertos y pisos industriales.

En la actualidad existen dos métodos de diseño de mezclas de suelo-cemento, útiles para determinar la cantidad de cemento que se debe agregar al suelo para formar la mezcla; los cuales son:

1. Norma General Para Dosificación. Es aplicable a cualquier tipo de suelo, y es la que se utiliza en la presente investigación como metodología inicial para los estudios de dosificación. Se basa en los ensayos siguientes ensayos:
  - INV E – 123, y su correspondencia con ASTM D 422, AASHTO T 88, MOP E 115 (Venezuela), NLT 104.
  - INV E – 124, y su correspondencia con AASHTO T 88, ASTM D 422, MOP E 115 (Venezuela), NLT 104.
  - INV E – 125, y su correspondencia con AASHTO T 89, NLT 105.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

- INV E – 126, y su correspondencia con NLT 106, AASHTO T 90.
  - INV E – 806, y su correspondencia con AASHTO T 134, ASTM D 558.
  - INV E – 807, y su correspondencia con AASHTO T 115, ASTM D 559.
  - INV E – 808, y su correspondencia con ASTM D 1632.
2. Norma Simplificada. Ésta se basa en la serie de ensayos que se mencionan a continuación, con cuyos resultados y mediante el empleo de ábacos se selecciona el contenido de cemento para elaborar las probetas, y finalmente se verifica si el contenido es apropiado a partir de la realización de ensayos de compresión.
- Granulometría
  - Peso específico
  - Próctor.
  - Compresión

“Estos métodos de diseño coinciden básicamente con los indicados por la **Portland Cement Association** de Estados Unidos, los cuales se basan en amplias investigaciones de laboratorio y en la evaluación de más de 800 millones de metros cuadrados de base de suelo-cemento construidos en dicho país desde 1935.”<sup>5</sup>

Por otro lado los investigadores de estas técnicas se han limitado a realizar sus estudios de dosificación basándose principalmente en los dos métodos antes



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

mencionados, obviando la técnica de vibrocompactación, objeto de estudio en la presente investigación, acerca de la cual se dispone de muy poca información.

---

<sup>5</sup> Dosificación De Mezclas De Suelo-Cemento. Nota Técnica No. 107. ICPC. Medellín, Febrero de 2004. Pág. 2.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

La necesidad de disminuir los costos de acarreo y de explotación de materiales aptos para la construcción de carreteras, trajo como consecuencia la implementación de técnicas para la estabilización y mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos locales. Los tratamientos realizados en materiales destinados para la construcción de pavimentos a los cuales se les adicionan altas cuantías de cemento se conocen con el nombre de Materiales Tratados con Cemento (MTC); esta tecnología permite obtener diferentes materiales tales como: suelo modificado con cemento, suelo-cemento, suelo-cemento plástico, y grava-cemento o concreto pobre; como se observa todos contienen cemento. Determinar la cantidad de cemento necesaria para obtener un material adecuado para conformar una subbase o base de pavimento, haciendo estudio de diferentes metodologías de compactación, como son las metodologías próctor estándar, próctor modificado y la vibrocompactación, es el objeto de la presente investigación.

Es importante mencionar que dentro de las estabilizaciones, el tratamiento con cemento es aplicable a casi todo tipo de suelo, su dosificación y el diseño de los espesores de las capas son sencillos, y se requieren equipos de construcción simples.



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

Además, se están utilizando en todo el mundo (desde hace más de 55 años), con buenos resultados. Por esto, se puede asegurar, que se trata de una tecnología madura, que proporciona materiales estables en el tiempo, cuyas propiedades no disminuyen con la edad sino por el contrario aumentan, al progresar la reacción de hidratación del cemento.<sup>6</sup>

En este capítulo se describe cómo es el comportamiento de los Materiales Tratados con Cemento (MTC), la influencia de los diferentes componentes sobre sus propiedades, se aclara cómo es el mecanismo de transferencia de cargas y, adicionalmente se hacen comentarios sobre el diseño de capas de MTC para pavimentos. En cuanto a la metodología empleada actualmente para determinar los contenidos óptimos de cemento (dosificación) se hace su descripción; sin embargo, la teoría relacionada con el método alterno (vibrocompactación) se origina con el desarrollo de este proyecto, debido a que la información disponible es prácticamente nula.

### **4.2 VENTAJAS**

Sin lugar a dudas, mejorar las propiedades mecánicas de los materiales a utilizar en obras civiles se puede calificar como una ventaja, siempre y cuando el proceso constructivo no se vea afectado en forma negativa, y los costos de ejecución de las obras no se incrementen de tal forma que la aplicación de soluciones no sea viable desde el punto de vista económico. Si el ingeniero de pavimentos tiene todos estos aspectos en cuenta a la hora de diseñar y construir su pavimento, se



## ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

---

---

puede afirmar que la implementación de tratamientos para la estabilización de suelos ofrece considerables ventajas en pavimentos rígidos y en pavimentos flexibles.

### 4.2.1 Ventajas para los pavimentos rígidos.

Al ser un material rígido y estable (durable) no se presenta el fenómeno del bombeo que tanto perjudica los pavimentos rígidos;<sup>7</sup> proporciona un apoyo uniforme y fuerte, lo cual mejora la transferencia de cargas en las juntas. También brinda una plataforma de trabajo estable durante la construcción. Estas ventajas tienen una gran importancia sobre la durabilidad de los pavimentos rígidos.

### 4.2.2 Ventajas para los pavimentos flexibles.

En el mundo hay gran reconocimiento de las ventajas de las capas tratadas debajo de capas bituminosas, ya que por tener mayor rigidez que las capas granulares aumentan su vida útil.

El Reporte 195 del **National Cooperative Highway Research Program** (NCHRP) del TRB dice “el uso de materiales tratados con cemento puede eliminar virtualmente el agrietamiento por fatiga del concreto asfáltico, debido a que sus deflexiones bajo cargas son pequeñas. También disminuye la presión sobre la subrasante”.

---

<sup>6</sup> TABARES A. Jorge Andrés. Materiales Tratados con cemento para pavimentos. Medellín, 1992. Pág. 1.

<sup>7</sup> Esta afirmación se realiza dado que se está citando la referencia, pero se aclara que se controla y/o se aminora la probabilidad de que ocurra el fenómeno del bombeo, mas no se elimina el problema.



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

---

Por otra parte, se pueden reciclar los pavimentos flexibles que estén degradados mezclándolos con cemento, formando bases de suelo-cemento. La única condición para esto es que el asfalto haya perdido su flexibilidad hasta el punto de permitir la pulverización.

### **4.3 SUELOS CON DIFICULTADES PARA EL TRATAMIENTO CON CEMENTO**

“Existen algunos suelos que no se pueden tratar con cemento, o que requieren un tratamiento especial para obtener resultados positivos.”<sup>8</sup>

#### **4.3.1 Suelos con materia orgánica.**

La materia orgánica es perjudicial para la estabilización con cemento. Debido a que contiene sustancias ávidas de agua, que impiden que el cemento se hidrate adecuadamente, al consumir el agua destinada inicialmente para este fin. La materia orgánica, además, capta los iones de calcio que se forman durante la reacción del cemento y perjudica su acción aglutinante. En general el contenido de materia orgánica se limita al 2% como máximo. Cuando se tiene presencia de materia orgánica y un pH mayor que 5,0 se deben hacer estudios especiales para determinar la posibilidad de tratar el material con cemento. Para determinar el contenido de materia orgánica, aclarando que su presencia es fácil de advertir por su color y olor característicos, se utiliza el ensayo colorimétrico, la pérdida por ignición o la combustión húmeda.

---

<sup>8</sup> Ibid pág. 2.



## ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

---

---

### 4.3.2 Suelos con alto contenido de arcilla.

Tampoco permiten un tratamiento adecuado las arcillas demasiado plásticas, ya que su pulverización es muy difícil. Esto se ha solucionado en muchos casos (no siempre) mediante la adición de cal, con lo cual se hace más friable y por lo tanto se facilita su mezclado.

En Colombia se descarta la estabilización cuando el Índice de Plasticidad es mayor que 15. También se ha encontrado que se puede estabilizar económicamente si el Índice de Plasticidad es menor que 10. El **Bureau of Reclamation (EE UU)** exige retirar las bolas de arcilla mayores de 25.4 mm, y limita el contenido total de bolas que pasen esa malla al 10%. Según el **Bureau of Public Roads**, se pueden estabilizar con cemento todos los suelos que tengan un Índice de Plasticidad menor que 18.

### 4.3.3 Suelos con sulfatos.

Los sulfatos presentes en los suelos afectan más el comportamiento en los suelos finos que de los gruesos, porque es más perjudicial la reacción sulfatocemento. En los casos que se presenten problemas con sulfatos es preferible usar mayor cantidad de cemento que usar cemento Tipo V (resistente a los sulfatos). Los sulfatos disminuyen la cantidad de agua disponible para la hidratación del cemento, por lo cual esta reacción se retrasa.

### 4.3.4 Suelos arenosos.

Los suelos arenosos no reactivos han sido identificados en los últimos años como materiales que no permiten un tratamiento con cantidades “normales” de cemento.



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

Hay suelos que requieren trabajos previos para que el tratamiento con cemento sea económico. Entre éstos están:

- Los suelos con gradación uniforme por la gran cantidad de vacíos que presentan, pues el cemento debe actuar como llenante. Siempre es conveniente estudiar económicamente la posibilidad de mezclar con otros materiales, comparando con la disminución en el costo del cemento a utilizar.
- Las arcillas limo/arenosas se pueden tratar previamente con cal, agregando entre 2 y 3% del peso de la arcilla mínimo 24 horas antes de la estabilización con cemento, para lograr mayor eficiencia.

### **4.3.5 Suelos ideales para tratar.**

Los suelos más fáciles de tratar son los granulares, pues requieren menor cantidad de cemento para alcanzar las resistencias requeridas. Dentro de éstos el material ideal es la arena, agregar material grueso a una arena hace aumentar el contenido de cemento.

Las condiciones ideales para tratar un suelo con éxito, son las siguientes:

- Tamaño máximo 75 mm.
- Contenido mínimo que pasa la malla No. 4, 55%.
- Contenido máximo que pasa la malla de 0,002 mm, 35%.
- Límite líquido menor que 40.
- Índice plástico menor que 10.

## **4.4 DIFERENTES MATERIALES PRODUCIDOS CON CEMENTO**

Se suelen comparar los diferentes métodos de estabilización de suelos (mecánica, bituminosa, con aditivos, con cemento, con cal, etc.), pero no se diferencian totalmente los materiales producidos ya que éstos se fundamentan en tecnologías diferentes; esto debe tenerse en cuenta al



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

---

esperar resultados. Cuando se refiera a cemento se debe hablar de tratamiento que es un término mucho más amplio que una simple estabilización<sup>9</sup>.

A continuación se hace una breve descripción de los diferentes materiales obtenidos con cemento, y como se verá su definición se realiza básicamente en función del contenido de cemento y/o del tipo de material a tratar.

### **4.4.1 Suelo modificado con cemento.**

Por lo común se utiliza para adaptar los materiales disponibles en el sitio para su uso en las capas inferiores. Requiere de adiciones bajas de cemento, menos del necesario para endurecer y sólo se mejoran algunas propiedades físicas o químicas del suelo como son: Bajar el Índice de Plasticidad, disminuir los cambios de volumen, y aumentar la capacidad de soporte.

### **4.4.2 Suelo-cemento.**

Es una mezcla fuertemente compactada de suelo pulverizado, cemento y agua, que con la hidratación del cemento gana resistencia y forma un material durable.

Con este nombre se identifican muchos tratamientos, algunos de los cuales presentan mejores comportamientos que el mismo suelo-cemento. Por esto, en ciertas ocasiones se desechan las soluciones con MTC, perdiéndose así la posibilidad de emplear alternativas competitivas técnica y económicamente.

---

<sup>9</sup> Ibid pág. 3.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

---

#### **4.4.3 Suelo-cemento plástico.**

Es una mezcla de suelo granular, cemento y agua suficiente para darle una consistencia fluida posibilitando su aplicación con llana. Se usa como capa de apoyo de tuberías y como revestimiento de cunetas.

#### **4.4.4 Grava-cemento o concreto pobre.**

Tiene un contenido de cemento entre 130 y 180 kg/m<sup>3</sup> y alcanza resistencias hasta de 70 kg/cm<sup>2</sup>. Utiliza agregados de muy buena calidad, como si fueran para concreto, y se suele mezclar en planta. La relación agregado/cemento es del orden de 18/1.

### **4.5 NATURALEZA DE LOS MTC**

En los siguientes párrafos se hace un resumen de las principales características de los MTC, lo que permite definirlos aún mejor, conocer su naturaleza de tal manera que se comprenda cómo es su comportamiento.

Los MTC se originan por la conjugación de procesos químicos, como la hidratación del cemento y los intercambios iónicos, y de procesos físicos como la compactación.

Los MTC tienen características únicas, pero su comportamiento se basa en la mezcla de la tecnología del concreto y de la mecánica de suelos; dependiendo más de la primera en la medida en que se aumente el contenido de cemento y más de la segunda cuando éste se reduzca.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

Durante los trabajos de construcción, como el contenido de cemento pocas veces supera el 14%, el material obtenido al realizar la mezcla, y mientras el cemento no se hidrate, tiene características similares a las de los suelos.

La diferencia básica de los MTC con el concreto es que en este, debido al alto contenido de cemento, la pasta llena los vacíos entre los agregados y los recubre totalmente. En los MTC la pasta de cemento rodea las partículas, y éstas forman cadenas que constituyen el mecanismo de transferencia de carga pero ésta no alcanza a llenar los vacíos.

Como en todos los materiales en que esté involucrado el cemento, la resistencia aumenta con el tiempo, a medida que la reacción de hidratación del cemento se va produciendo.

No hay correlaciones directas entre el pH, la densidad, la gradación, el área superficial y los Límites de Atterberg del suelo, con el comportamiento mecánico del material tratado. La relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión de los MTC está entre 1 a 2 y 1 a 4.

El suelo-cemento, que fue el primer material utilizado, se desarrolló inicialmente con la idea de usarse en suelos malos y realizando la mezcla en el sitio; estos conceptos han cambiado actualmente, con la utilización de materiales triturados y mezclamiento en planta, se obtienen materiales de excelentes propiedades ingenieriles. Hoy se puede predecir que en el futuro se sacará todo el provecho que pueden dar los diferentes tratamientos con cemento a los suelos y al ampliarse el horizonte de la tecnología de los MTC se debe tener cuidado en el momento sobre el tema, pues se debe tratar de esclarecer en todos los casos a qué material específico se está haciendo referencia.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

#### **4.6 FISURACIÓN DE LOS MTC**

En todos los materiales tratados con cemento hidráulico, se presentan fisuras llamadas primarias debido a la contracción restringida y a la disminución de temperatura después de la hidratación del cemento, y son una indicación positiva, pues constituyen la señal fehaciente de que el cemento se está hidratando, produciendo una capa rígida.

Las fisuras originadas por el tráfico se llaman secundarias y ocurren cuando se sobrepasa la capacidad portante del material, ya sea por fatiga o por cargas puntuales altas. Cuando las fisuras se configuran formando retículas cerradas, conocidas como fisuras en forma de piel de cocodrilo, son un indicativo de una falla estructural general su rehabilitación implica la reconstrucción del tramo fallado.

Los detractores del material se han aprovechado de su propiedad intrínseca de fisurarse, y lo atacan diciendo que después de la fisuración se vuelve equivalente a un material sin tratamiento, con lo cual argumentan, se pierde el objetivo inicial y por consiguiente la inversión. Esta posición sesgada es quizá el principal causante del retardo del desarrollo de todo el potencial de los MTC.

Además es bueno aclarar que la presencia de fisuras no es un indicativo de la estabilidad del pavimento y que en los MTC en la gran mayoría de los casos no tienen significado estructural. La fisuración en pavimentos no es exclusiva de los que tienen bases tratadas con cemento. En pavimentos de concreto la fisuración se controla realizando cortes (juntas).

También en muchos pavimentos flexibles, pueden ocurrir fisuraciones por la acumulación de esfuerzos de flexión; por la oxidación del asfalto que trae como consecuencia una disminución en el límite elástico del concreto asfáltico; o por los cambios de volumen generados por las variaciones en la humedad o en la temperatura. Sin embargo, ha habido evolución en la concepción de las fisuras, pues al principio del desarrollo del material se rechazaban



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

totalmente; luego se pasó a aceptarlas, siendo una preocupación en vías de tráfico importantes.

A pesar de que las fisuras son aleatorias y de la misma naturaleza que las de las losas de concreto vibrado, en los MTC no se diseñan juntas de contracción, ni de expansión, lo que sí se hace en las losas; el único tratamiento especial que se les da, en algunos casos, es evitar su reflexión, como se explicará más adelante.

Las juntas de construcción se deben hacer con un corte vertical después de haber dejado una rampa adicional en el momento de compactar, esta verticalidad de las juntas evita el levantamiento de zonas aisladas cuando haya suelos expansivos y durante la expansión térmica.

La mayoría de las fisuras tiene una abertura en la superficie de 0,8 a 1,3 mm, pero en la base de la capa tratada es sustancialmente menor; inclusive en algunas ocasiones no son de todo el espesor. Las fisuras con aberturas grandes requieren sellante para evitar el ingreso de agua y de material extraño.

### **4.7 EFECTOS DE LA FISURACIÓN**

Las fisuras en los MTC son de abertura pequeña por lo cual solo puede penetrar poca humedad a la subrasante; de todas formas los MTC endurecidos son materiales rígidos que no ablandan en presencia de esta humedad. Además, debido a que estos materiales poseen características de losa, la deflexión y la presión sobre la subrasante son muy bajas equilibrando el efecto del humedecimiento de esta.

La experiencia y los estudios han demostrado que hay una transferencia de cargas efectiva entre los bloques de suelo-cemento, formados por las fisuras, siempre que el espesor sea adecuado para las condiciones de tráfico y de capacidad de soporte del suelo.



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

Algunos ingenieros prefieren controlar la fisuración para evitar el comentario general de que no se conoce el material con el que se está trabajando; pero desde el punto de vista técnico esto no se justifica.

### **4.8 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FISURACIÓN**

La menor fisuración se presenta en aquellos materiales que tienen altas densidades y bajos contenidos de humedad en el momento de la compactación, pues así se disminuye el potencial de cambio volumétrico por retracción.

La mayor tendencia al encogimiento por secado de los suelos finos se debe a que necesitan un alto contenido de agua para alcanzar la densidad máxima. Por su parte los suelos gruesos granulares tienen bajo contenido de humedad y por ende un encogimiento menor.

La duración y la efectividad del curado son factores importantes en el encogimiento de los MTC. Si se efectúa un mal curado se presenta un mal secado y una retracción rápida. Además la insuficiencia en el contenido de agua puede generar una baja hidratación del cemento con la consecuente disminución en la resistencia, la cual puede conducir a no soportar los esfuerzos de retracción por secado, generándose la fisuración.

En cambio, si el curado es adecuado hay retención de la humedad por un largo período y los esfuerzos por retracción se retardan y pueden ser atendidos gracias al desarrollo de la resistencia a la tracción, haciendo mínimo el encogimiento.

La fisuración se atribuye con frecuencia a un alto contenido de cemento y a altas resistencias; los últimos estudios han demostrado que esto no es totalmente cierto. El contenido de cemento, por sí solo, tiene baja incidencia en la retracción. Los suelos finos, que requieren mucho cemento, también requieren alto contenido de humedad para obtener la máxima densidad y la evaporación genera



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

mayor retracción. Entonces son el contenido de humedad y el tamaño de los granos del suelo, no el alto contenido de cemento, asociados con estos factores, la principal causa del encogimiento.

**K.P. George**, en un reporte para el **Highway Research Report - HRR-351**, indica que para un contenido de cemento, más alto que el dado según el criterio de la **Portland Cement Association**, el espaciamiento entre fisuras es más alto y el ancho de éstas se reduce. **George** recomienda, con base en esto, que para suelos grueso-granulares se debe usar un contenido de cemento ligeramente superior al recomendado por este criterio para así reducir la intensidad de la fisuración.

Aumentar el contenido de cemento por encima de lo propuesto por **K. P. George**, sigue aumentando el espaciamiento de las fisuras pero haciendo mayores aberturas, lo que aconseja hacer un adecuado balance entre el contenido de cemento y el fenómeno de la fisuración.

En otro documento, el mismo autor, informa que al hidratarse el cemento se genera sólo del 15 al 20% de las fisuras. Otros autores (**Nakayama y Handy**) manifiestan que no hay relación entre el porcentaje de cemento y las fisuras por contracción. Altos contenidos de cemento generan altas resistencias y se ha observado que éstas no incrementan e inclusive disminuyen la retracción total del material. Las altas resistencias se obtienen generalmente con los suelos grueso-granulares (menor fisuración) y las más bajas en los fino-granulares (mayor fisuración).

Este concepto es fundamental para el estudio de la rigidez del material, pues determina la transferencia de carga en éstas. Al ser mayor la abertura y por consiguiente menor la transferencia de cargas, las fisuras en las capas rígidas se convierten en los puntos críticos estructuralmente hablando; por fortuna, estos materiales, gracias a su misma rigidez resisten sin problema estas mayores solicitaciones.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

#### **4.9 CONTROL DE LAS FISURAS**

La fisuración se puede controlar, cuando se considere necesario, minimizando, la retracción por secado; como se discutió anteriormente las principales causas de ésta son los suelos fino-granulares, el alto contenido de humedad y una densidad y curado inadecuados.

##### **4.9.1 Suelos.**

Si la selección del tipo de suelo es factible económicamente, se recomienda usar un suelo grueso-granular o al menos uno con un contenido de arcilla mínimo. Varias especificaciones limitan el porcentaje del suelo que el tamiz 200, o limitan el porcentaje de arcilla. La idea es que así se hacen mínimas las fisuras por retracción, además de facilitar el mezclado. Sin embargo se debe reconocer que esto puede incrementar significativamente el costo de construcción de una base, si los suelos mejores no son de fácil consecución.

Aunque la capacidad de los MTC para soportar cargas no se reduce significativamente debido a la fisuración por retracción, para carreteras importantes la mayoría de las oficinas públicas en Estados Unidos y Europa exigen suelos granulares de baja plasticidad y frecuentemente especifican gradaciones con contenido de grava o piedra partida.

##### **4.9.2 Humedad.**

Para que se presente el menor número posible de fisuras es importante mantener la humedad de las mezclas en un mínimo



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

práctico. En general, se debe compactar el material entre la humedad óptima y dos por ciento por debajo de la óptima.

En Suiza se ha desarrollado un MTC “no fisurable”, compuesto por una grava y una arena densamente gradados y con una considerable cantidad de finos que requiere para una saturación máxima del 80% (porcentaje de vacíos llenados con agua), un contenido de humedad que oscila entre el 4 y el 6%.

### **4.9.3 Densidad.**

Cuando las mezclas de agregados y cemento se compactan a altas densidades hay menor potencial de retracción. Las densidades altas están generalmente asociadas con bajos contenidos óptimos de humedad.

### **4.9.4 Curado.**

Es importante que el suelo-cemento recién construido no se deje secar antes de que se aplique la emulsión de curado. Esto se logra mediante aplicaciones frecuentes de agua a la capa compactada y acabada. Cuando el curado se realiza con una película bituminosa, antes de aplicarla se debe humedecer la superficie para que ésta no penetre mucho en el material (el agua llena los vacíos, de manera que el asfalto no puede entrar).

Un buen curado previene el secado y facilita un rápido desarrollo de la resistencia mediante la adecuada hidratación del cemento. En los Estados Unidos, el curado se realiza generalmente mediante la aplicación de aproximadamente 0,90 l/m<sup>2</sup> de emulsión asfáltica.

Si la base va a estar sometida al tráfico durante el período de curado, lo que se debe evitar a toda costa, se debe esparcir arena



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

inmediatamente después de la aplicación de la emulsión para prevenir su levantamiento por las llantas de los vehículos. Si la membrana formada por la emulsión de curado es dañada por la acción del tráfico, durante el período de curado, se debe reparar de inmediato mediante aplicaciones adicionales de emulsión. El mantenimiento de una membrana de curado sin romperse, por un mínimo de 7 días, es la mejor manera de minimizar las fisuras por retracción.

En Holanda, la prevención de la pérdida de humedad se realiza mediante una pavimentación asfáltica sobre la base dentro del día siguiente a la compactación y el acabado. Con esta pavimentación directa, gracias a la suspensión inmediata de la pérdida de humedad, no se forman fisuras en el suelo.-cemento.

En esta aplicación han demostrado que el material sin haber fraguado el cemento, pero compactado, tiene suficiente estabilidad para los procedimientos de pavimentación asfáltica.

### **4.10 REFLEXIÓN DE FISURAS**

Las fisuras por retracción pueden reflejarse a través de las capas bituminosas, con un espaciamiento y una configuración geométrica que dependen del espesor de dichas capas.

Paralelamente a la discusión sobre el comportamiento rígido-flexible, se ha tratado de encontrar el tratamiento más adecuado a la reflexión de las fisuras a la superficie. Hay quienes sostienen que se debe evitar la reflexión en todos los casos, y otros que no consideran que esto afecte el comportamiento de las capas tratadas; de todas formas, en algunas ocasiones, el empleo del material se restringe a la reflexión de las fisuras, o se desaprovechan todas sus propiedades.



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

Lo anterior ocurre a pesar de que la experiencia y la investigación han mostrado que la reflexión de fisuras no tiene, en general, efecto significativo sobre el comportamiento y la vida útil de los pavimentos con MTC.<sup>10</sup>

### **4.11 DISEÑO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO**

El MTC utilizado en esta investigación es el suelo-cemento; a continuación se describen algunos comentarios relacionados con el diseño y construcción de este material, haciendo énfasis en la metodología de diseño empleada, la cual corresponde a la Norma General para Dosificación<sup>11</sup>, que permite determinar el contenido de cemento de las mezclas, y como se verá las metodologías desarrolladas hasta el momento se limitan a realizar ensayos próctor estándar para la aplicación de la energía de compactación, dejando a un lado otros métodos como son el ensayo próctor modificado y la vibrocompactación, aspecto que se pretende subsanar en este proyecto.

**4.11.1 Norma General para Dosificación.** Todo procedimiento de diseño de una mezcla de suelo-cemento a partir de la realización de una serie de ensayos de laboratorio pretende determinar:

---

<sup>10</sup> Ibid pág. 3.

<sup>11</sup> Esta norma se basa en la realización de una serie de ensayos propuestos por el INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS y sus respectivas correspondencias, los cuales fueron mencionados el numeral 3.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

---

- La cantidad de cemento que debe agregarse al suelo para que la mezcla endurezca en forma adecuada, y se modifiquen las propiedades deseadas (físicas y/o mecánicas).
- La cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla.
- La densidad a la cual debe ser compactada.

A continuación se describen los aspectos más relevantes de la Norma General para dosificación, metodología empleada en esta investigación para el diseño de mezclas de suelo-cemento.

En primer lugar es importante mencionar que este sistema es aplicable a cualquier tipo de suelo.

Previo al procedimiento de diseño de una mezcla de suelo-cemento deben realizarse una serie de ensayos a una muestra del suelo en estudio, como son:

- Análisis granulométrico por tamizado y por sedimentación.
- Determinación del límite líquido.
- Determinación del límite plástico.
- Determinación de la absorción y el peso específico aparente de la fracción gruesa.

**4.11.1.1 Ensayos con la mezcla de suelo-cemento:**

- Se determina el peso unitario seco máximo de la mezcla suelo-cemento y su respectiva humedad óptima por medio del ensayo Próctor Normal.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Adicionalmente, en esta investigación se implementa el ensayo Próctor Modificado, como energía de compactación de este método de diseño. Estos ensayos se deben efectuar con el contenido de cemento más probable para el suelo en estudio, fijado con la experiencia con materiales similares o el indicado por la Tabla 4.1 de acuerdo con la clasificación AASHTO del suelo (el contenido de cemento en peso se define como la relación entre el peso de cemento agregado y el peso de suelo seco en estudio).

Tabla 4.1 Contenido de cemento para el ensayo de compactación

<i>Clasificación AASHTO del suelo</i>	<i>Contenido de Cemento en peso (%)</i>
A1 - a	5
A1 - b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

- Ensayo de durabilidad por humedecimiento y secado, ejecutado particularmente con el menor contenido de cemento definido en esta investigación como 3% del peso seco del material, y es éste contenido con el que se espera que el porcentaje de pérdidas no exceda lo permitido de



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

acuerdo a la descripción que aparece en la Tabla 4.2. Dicho procedimiento se encuentra descrito en la norma INV E – 807. La idea básica de este ensayo es tratar de evaluar la durabilidad del material tratado, simulando la expansión y el encogimiento a que estará sometido cuando se sature y se seque durante su vida útil.

Dada la duración de este ensayo, mínimo 30 días, en muchos países se ha tratado de utilizar como criterio para el diseño de mezclas de suelo-cemento la resistencia a la compresión, descrita a continuación.

**4.11.1.2 Interpretación de los resultados:** La Norma General para Dosificación establece que el contenido de cemento a adicionar a las mezclas debe ser aquel que garantice el cumplimiento de los requisitos de pérdida de peso en el ensayo de durabilidad presentados en la Tabla 4.2. Los contenidos de cemento a utilizar en la presente investigación tienen como objeto la experimentación para determinar el mínimo contenido de cemento que cumpla con los requerimientos de pérdida de peso en los ensayos de humedecimiento y secado (ensayo de durabilidad), y con los valores mínimos exigidos para ensayos de compresión.

En esta forma queda resuelto el problema de diseño de la mezcla planteado inicialmente, ya que por el sistema indicado se determinan el contenido de cemento, la humedad óptima y la densidad máxima aparente.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Tabla 4.2 Pérdidas admisibles en el ensayo de durabilidad por mojado y secado

<b>Tipo de suelo (Clasificación AASHTO)</b>	<b>Pérdida Máxima (%)</b>
A - 1, A - 2 - 4, 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

**4.11.1.3 Resistencia a la compresión:** “Durante este ensayo se someten probetas a un curado húmedo durante 7 días y luego se sumergen en agua 5 horas antes de fallarlas a compresión inconfiada. Está regulado por la norma ASTM D1633<sup>12</sup>.” Una resistencia de 2.5 N/mm<sup>2</sup> alcanzada a esta edad es suficiente.

Las probetas a fallar son cilíndricas de 100 mm (4 in aprox.) de diámetro por 200 mm (8 in aprox.) de altura, y con una relación de altura/diámetro (h/d) = 2.

#### **4.12 MÉTODO SIMPLIFICADO**

La PCA, con el objeto de reducir el tiempo necesario para los ensayos de dosificación, hizo correlaciones entre los requisitos del ensayo de durabilidad y los del ensayo de resistencia a la compresión, llegando a un método simplificado para determinar el contenido de cemento.

<sup>12</sup> Ibid pág. 11.



## **ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

Para poder aplicar el método simplificado, es necesario que el material tenga menos de la mitad de las partículas con tamaño menor que 0,05 mm y menos del 20% menor del 0,005 mm. La PCA, como criterio general, considera la resistencia a la compresión como secundaria y la utiliza únicamente para verificar o asegurar que la resistencia del material aumenta con el tiempo.<sup>13</sup>

Temas como el diseño y construcción de capas de suelo-cemento son de gran interés, si embargo, con el fin de no extenderse mucho en el campo del suelo-cemento, dichos aspectos no se abordan en la presente investigación. La literatura señalada en la bibliografía abarca estos temas y muchos más relacionados con este interesante material.

### **4.13 DESCRIPCIÓN DEL CONSISTÓMETRO VEBE TEST**



Consistómetro Vebe Test. Laboratorio integrado de Ingeniería Civil (LIIC). Universidad del Magdalena

---

<sup>13</sup> Ibid pág. 11.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

El consistómetro Vebe mostrado en la foto es un instrumento estandarizado muy utilizado para ensayos de Concreto Compactado Con Rodillo (CCR); el cual se pretende utilizar para simular el proceso de vibrocompactación en laboratorio. Consta de los siguientes elementos:

**4.13.1 Molde cilíndrico:** El molde cilíndrico principal tendrá un diámetro interior de 100 mm y una altura de 200mm para una relación altura: diámetro de 2:1 y con una extensión de 100 mm con el mismo diámetro para evitar la pérdida de material. El molde es rígidamente capaz de ser sujetado a la mesa vibratoria del Vebe; el borde superior del molde debe ser liso, plano y paralelo al fondo del molde.

**4.13.2 Manga de la guía:** La manga de la guía debe ser apta para sostener una varilla de acero atada a la sobrecarga en una posición perpendicular a la mesa vibratoria y centrado sobre la muestra, el cual permite que la varilla se deslice libremente cuando el gancho se suelta. La mesa vibratoria del Vebe viene equipada con esta guía.

**4.13.3 Sobrecarga:** La sobrecarga consta de un plato cilíndrico circular rígidamente atado a su base y la barra de acero de al menos 18 in de longitud atada perpendicularmente al plato y posicionada a través del centro de la sobrecarga. El plato acrílico es del diámetro tal que penetre en el molde sin



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

ejercer fricción sobre las paredes del molde y sin ocasionar la salida del material. La sobrecarga tendrá una masa de  $27.5 \pm 1/8$  kg incluyendo la masa del plato acrílico y el pedestal.

**4.13.4 La mesa vibratoria Vebe:** Es una mesa vibratoria de aproximadamente 15 pulgadas de longitud,  $10 \pm 1/4$  pulgadas de ancho y una altura de 12 in, con una masa de aproximadamente 210 lb. La mesa se sujeta a una superficie de concreto nivelada a una base de por lo menos 1000 lb, con el fin de evitar un movimiento durante la vibración. La mesa vibratoria produce un movimiento vibratorio sinusoidal con una frecuencia de al menos  $3600 \pm 100$  vibraciones por minuto ( $60 \pm 1.67$  Hz) y una amplitud de  $0.0170 \pm 0.0030$  pulgadas cuando una sobrecarga de  $60 \pm 2.5$  lb es asegurada al centro de la mesa.

**4.13.5 Motor eléctrico:** Opera a 3600 rpm y  $3/4$  de caballo de potencia.

#### **4.14 DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DURABILIDAD**

En esta investigación el término durabilidad es utilizado para referirse al ensayo de humedecimiento y secado de mezclas de suelo – cemento compactadas, el cual se describe en la norma INV E 807.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

La durabilidad hace referencia a los procedimientos que se requieren para determinar las pérdidas del suelo – cemento, los cambios de humedad y volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secamiento repetido de especímenes endurecidos de suelo – cemento.<sup>14</sup>

---

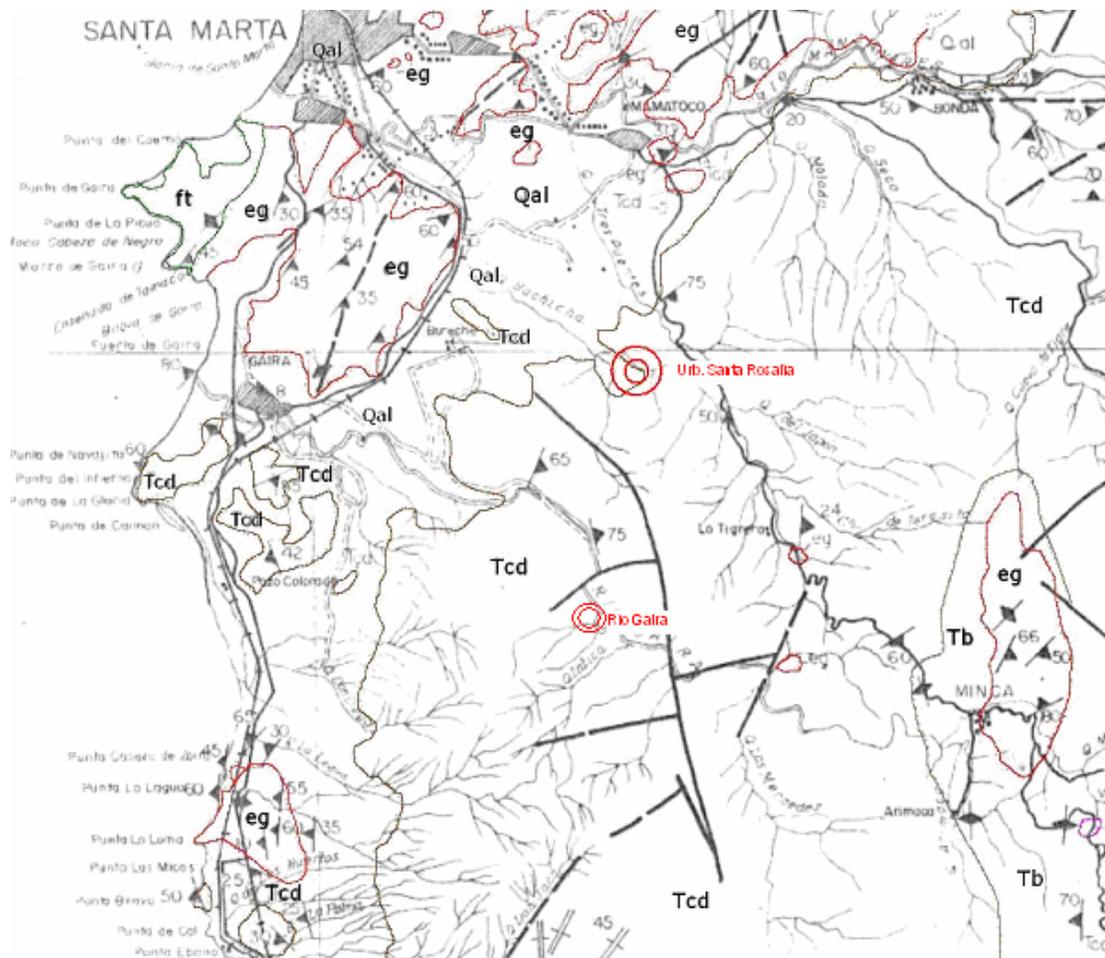
<sup>14</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayos de Materiales para carreteras. INV E 807 – 1.



## ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

### 5. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

En el presente proyecto se consideran dos zonas de estudio, de las cuales una corresponde a los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía, y la otra corresponde a la zona irrigada por el río Gaira. El siguiente mapa muestra la ubicación de las zonas de estudio.





**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **5.1. GEOMORFOLOGÍA GENERAL DE LAS ZONAS**

### **5.1.1 Geomorfología general de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía.**

La geomorfología está dada por una serie de colinas y pequeñas cadenas montañosas de dirección general SW – NE, con fluctuaciones altimétricas variables entre los 25 y los 400 metros de altura sobre el nivel del mar. En toda la zona, la erosión y la meteorización ha actuado sobre la cubierta superficial, con algunas pequeñas manifestaciones de reptaciones y erosión laminar, debido principalmente a que morfología está regulada por las incisiones de los ríos y quebradas que en la zona presentan valles amplios en las partes planas y cauces estrechos hacia la parte ondulada, con redes de drenaje de forma dendrítica a subrectangular, controladas por las estructuras geológicas y tectónicas que actuaron en el pasado y actúan aun en el presente.<sup>15</sup>

**5.1.2 Geomorfología general de la zona irrigada por el río Gaira.** Esta zona es considerada como plana - costera, la cual forma parte del pie de monte de la Sierra Nevada de Santa Marta y finaliza en el borde del Mar Caribe.

Toda esta zona presenta una geomorfología que varía de ondulada a plana, con toda la red de drenaje desaguando hacia el mar. La densidad de drenaje es baja y las quebradas que presentan el drenaje secundario presentan un patrón variable de subrectangular a subdendrítico, controlado por las estructuras geológicas y por la proximidad al nivel del mar que coincide con el nivel de base de erosión.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> ARDILA Álvaro y ZÚÑIGA Jorge. Caracterización Geomecánica Básica de Fuentes de Materiales en el D.T.C.H. de Santa Marta. Santa Marta D.T.C.H., 2005.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **5.2 GEOLOGÍA GENERAL DE LAS ZONAS**

### **5.2.1 Geología general de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía.**

Batolito de Santa Marta. De edad terciaria, conformado principalmente por rocas ígneas tipo cuarzodiorita-granodiorita y cuarzo monzonitas con variaciones a granitos. Los afloramientos se encuentran moderadamente meteorizados a frescos, poco a completamente fracturados, y conformando algunas veces afloramientos masivos de roca fresca a levemente meteorizadas.

Sus principales afloramientos se localizan sobre las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, a todo lo largo en la parte oriental de la ciudad, conformando pequeñas colinas aisladas a partir del río Manzanares y sobre toda la franja costera paralela a la Transversal del Caribe.<sup>17</sup>

**5.2.2 Geología general de la zona irrigada por el río Gaira.** Conformada por rocas metamórficas del cretáceo – terciario, y según la literatura geológica son consideradas como esquistos de Gaira.

Esquistos de Gaira. Aparecen como pequeños montículos o colinas aplanadas, en proximidades del aeropuerto y como pequeñas cadenas montañosas al norte de Santa Marta. Son rocas metamórficas, foliadas y fuertemente fracturadas que en superficie presentan un horizonte de meteorización de 2 a 5 m de espesor; compuestas por esquistos micáceos, anfibolitas y mármoles, afectados tectónicamente por un ramal de la falla de Santa Marta.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Ibid pág. 32.

<sup>17</sup> Ibid pág. 33.

<sup>18</sup> Ibid pág. 30.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **6 JUSTIFICACIÓN**

Una viable solución al problema de la falta de materiales locales adecuados para la construcción de carreteras es el tratamiento de los mismos a través de la estabilización con cemento, esta solución se considera viable pues con su adopción disminuyen los costos de transporte y explotación de materiales de los ríos o de las canteras, al tiempo que se cuenta con un “nuevo material” cuya principal característica es su capacidad de soportar la exposición a los elementos, o sea su durabilidad.

La solución planteada no es viable si con su adopción aumentan los costos en lugar de disminuir, situación que puede presentarse en la medida en que se incrementa la cantidad de cemento que se adiciona al suelo para obtener el material tratado. Precisamente esta investigación a partir de los estudios de dosificación de mezclas de suelo-cemento, busca reducir el contenido de cemento necesario para tratar materiales y evaluar un método alternativo de compactación de las mezclas de suelo-cemento, con el fin de reducir los costos de construcción de carreteras.

La razón que principalmente motiva la realización de este trabajo es solucionar el problema de la falta de materiales locales adecuados para la construcción de carreteras, de tal manera que con su realización se contribuye a solucionar esta problemática que afecta a quienes construyen pavimentos en la ciudad de Santa Marta y sus alrededores. Los resultados obtenidos son directamente aplicables



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

sin ningún tipo de restricción en la fase de estudios de laboratorio a los materiales provenientes de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía y el Río Gaira, ya que los ensayos son realizados utilizando muestras de suelo de estas fuentes; cabe mencionar que evaluar el material proveniente de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía constituye un gran logro, ya que éste es el material más utilizado en la ciudad para la construcción de vías, y la información obtenida con esta investigación es de gran interés para quienes laboran en el área de los pavimentos en esta ciudad.

Una ventaja adicional de este proyecto es que los resultados obtenidos son aplicables a los suelos clasificados como A – 1b según el sistema de clasificación AASHTO, se ve de esta manera que la investigación no limita su aplicación al ámbito local, sino que puede extenderse a cualquier lugar geográfico cuyas condiciones tropicales y características físicas y mecánicas del suelo sean muy parecidas a las de la ciudad de Santa Marta, situación que es muy probable para países como Venezuela; quienes aunque han hecho investigación en cuanto a dosificación de mezclas de suelo-cemento, no han evaluado el mecanismo de vibrocompactación, con lo cual la Universidad del Magdalena, es pionera a nivel nacional, y hace un gran aporte a nivel internacional en cuanto al suministro de información relacionado con este método de compactación.

Se observa entonces, que la realización de este proyecto es justificable económica y académicamente.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

---

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1. OBJETIVO GENERAL**

- Reducir los contenidos de cemento indicados por la AASHTO para realizar las mezclas de suelo-cemento, empleadas para la construcción de bases y subbases de pavimentos, mediante la evaluación de diversos porcentajes de cemento y métodos de compactación.

### **7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir a nivel teórico diferentes contenidos de cemento a adicionar a las mezclas de suelo-cemento, inferiores al sugerido por la AASHTO y con los cuales se obtenga un mejoramiento de las propiedades mecánicas originales del material a tratar.
- Evaluar la durabilidad de los materiales tratados, a partir de los resultados obtenidos de los ensayos de humedecimiento y secado según la norma INV E - 807, realizados con las probetas fabricadas en el laboratorio.
- Determinar la resistencia a la compresión de los materiales tratados, mediante la realización del ensayo de compresión inconfiada según las indicaciones de la norma INV E - 808.
- Comparar el comportamiento mecánico de las diferentes probetas de suelo-cemento en función de los ensayos de compresión inconfiada y durabilidad.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

- Definir a partir de los contenidos de cemento evaluados, el mínimo con el cual se obtiene una mezcla de suelo-cemento que cumpla con los requerimientos exigidos por los ensayos de humedecimiento y secado, y los de compresión inconfina.
- Evaluar la compactación por vibrado, en función de los resultados obtenidos con la realización de los ensayos antes mencionados.
- Ofrecer al gremio de constructores, diseñadores de pavimentos, y afines, una posible solución a los problemas de disponibilidad de materiales adecuados para la conformación de bases y subbases de pavimentos.
- Aportar a la ciencia, los conocimientos adquiridos para el fortalecimiento de la tecnología tratada en esta investigación, contribuyendo de esta manera al desarrollo de la academia.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **8. FORMULACIÓN Y GRAFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

La hipótesis que se busca corroborar corresponde a la posibilidad de disminuir en los diferentes materiales que se integran en este estudio, de los cuales uno proviene de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía y el otro del Río Gaira, el contenido de cemento requerido para alcanzar la resistencia especificada de  $21 \text{ Kg/cm}^2$ , empleando para ello diversas metodologías de compactación como son la vibrocompactación y los ensayos Próctor Estándar y Próctor Modificado, las cuales permiten aplicar diferentes energías de compactación a los materiales en estudio, a los cuales se les determinan el peso unitario seco y la humedad óptima de compactación mediante la realización de los ensayos Próctor Estándar y Próctor Modificado.

Se espera que con la vibrocompactación se obtenga una mayor eficiencia en los materiales granulares, ya que la conformación de la estructura interna entre partículas logra ser más adecuada al presentar un mejor acomodamiento entre las mismas, lo que conduce a obtener menores exigencias en las cantidad de ligante requerido para obtener la resistencia específica.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

---

## **9. DISEÑO METODOLÓGICO SEGÚN LA NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **9.1 SELECCIÓN Y MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE ANÁLISIS**

- **Contenidos de Cemento:** Son las diferentes cantidades de cemento que se adicionan al material, con los que se pretende alcanzar una resistencia mínima de  $21 \text{ kg/cm}^2$ , siendo ésta una magnitud suficiente que puede ser resistida por una capa de base y/o subbase de pavimento, de tal modo que dichas capas puedan cumplir las funciones para las cuales hayan sido diseñadas, ya que éstas forman parte de la estructura del pavimento. Debido a que es un objetivo de ésta investigación reducir el contenido de cemento que se adiciona a la mezcla de suelo-cemento, para reducir costos de construcción de las obras viales, los contenidos de cemento que se evalúan son inferiores al sugerido por la AASHTO, de ésta manera tales contenidos son (en porcentaje del peso seco total de la muestra de material):

- Contenido AASHTO = 6%
- Contenido AASHTO – 2% = 4%
- Contenido AASHTO – 3% = 3%
- Contenido AASHTO + 1% = 7%

- **Metodologías de compactación:** Las metodologías a emplear en este proyecto son vibrocompactación, próctor estándar y próctor modificado, teniendo en cuenta que se busca comparar los resultados con el fin de demostrar (si es posible) que la vibrocompactación se asemeja más al proceso utilizado en campo, y por lo tanto la



## ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

---

vibrocompactación en teoría requerirá menores contenidos de cemento en comparación con los del próctor para la misma resistencia.

- **Energías de compactación:** Al utilizar las diferentes metodologías, se obtienen diferentes energías de compactación que producen variaciones en el peso unitario seco para los diferentes contenidos de cemento en cada uno de los materiales.

- **Peso Unitario Óptimo:** El peso unitario óptimo es el que se espera obtener con la humedad óptima determinada en laboratorio para conformar las probetas que serán sometidas a los parámetros de comparación, los cuales son el de resistencia a compresión inconfiada y ensayo de durabilidad.

- **Humedad Óptima:** Esta relacionada directamente con el peso unitario óptimo y ésta varía de acuerdo a la energía de compactación utilizada.

### 9.2 DELIMITACION DEL UNIVERSO GEOGRÁFICO Y TEMPORAL DE ESTUDIO

Este proyecto se ejecutó en el transcurso del año 2005 y pretende abordar el distrito de Santa Marta y sus alrededores; dada la naturaleza de sus resultados, sin embargo éstos son aplicables a suelos que clasifiquen según el sistema de clasificación de suelos AASHTO como A-1-b, es decir, la misma clasificación que presentan los materiales en estudio y en general son aplicables en cualquier país que adopte como alternativa para la fabricación de mezclas de materiales tratados



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

con cemento, la metodología desarrollada en el marco de este proyecto, y que adicionalmente presenta condiciones climáticas (temperatura, humedad, etc.) muy similares a las de la ciudad de Santa Marta y sus alrededores.

El sitio de ejecución del proyecto ha sido el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil (LIIC), y el laboratorio de la empresa INCO, en los cuales se ejecutaron los ensayos necesarios para lograr los objetivos planteados.

### **9.3 FORMA DE OBSERVAR LA POBLACION**

La forma de observar la población es de tipo parcial, ya que se limita al estudio de solo dos tipos de material dentro de una gama amplia de materiales que pueden ser utilizados en la construcción de capas estructurales para pavimentos; sin embargo, luego de haber realizado muestreo en los materiales disponibles en la zona de estudio, se optó por utilizar como materiales de estudio los correspondientes a los provenientes de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía y el río Gaira. Luego de haber seleccionado los materiales de estudio se emplearon los procedimientos antes indicados que deben ser realizados sobre materiales empleados en proyectos viales.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **9.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS A UTILIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

**9.4.1 Recolección de la información.** La recolección de la información tiene como base diferentes instrumentos, entre los cuales se tienen:

- Información previa suministrada por el asesor de la investigación.
- Búsqueda exhaustiva en Internet.
- Normas Técnicas Colombianas publicadas por el Instituto Nacional de Vías INV (INV E – 806, INV E – 807, INV E – 808).
- Publicaciones hechas por el ICPC acerca del tema en estudio.
- Datos recolectados en la realización de ensayos de laboratorio.

Cabe mencionar que la información disponible acerca de vibrocompactación es casi nula, debido a esto el ICPC presenta gran interés en la realización y resultados de esta investigación.

**9.4.2 técnicas y procedimientos de análisis.** Las técnicas y procedimientos de análisis empleados para lograr los objetivos propuestos en la presente investigación corresponden a la ejecución de los ensayos que lista la tabla 9.4, los cuales han sido ejecutados siguiendo las especificaciones del INVIAS, de acuerdo a los procedimientos descritos en “**Normas de Ensayos para materiales de carreteras**”. Los ensayos de vibrocompactación se realizaron utilizando el Vebe Test, la cual es una máquina estandarizada para la realización de ensayos de CCR, y la frecuencia de vibración utilizada para éstos ensayos también empleada para la compactación de mezclas de suelo-cemento. En cuanto al tiempo de



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

vibrado se consideró que una duración de 15 a 30 segundos es suficiente para alcanzar el peso unitario máximo definido anteriormente mediante la realización de ensayos próctor modificado.

Tabla 9.4 Ensayos ejecutados durante el desarrollo del proyecto.

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA</b>
Granulometría	INV E – 123
Límite Líquido	INV E – 125
Límite Plástico	INV E – 126
Humedad Natural	INV E -
Relaciones de humedad – peso unitario de mezclas de suelo – cemento	INV E – 806
Humedecimiento y secado de mezclas de suelo – cemento compactadas	INV E – 807
Preparación en el laboratorio de probetas de suelo – cemento	INV E – 808
Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo - cemento	INV E – 809



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **10. DESARROLLO DEL PROYECTO**

La presente investigación inició en febrero de 2005 a partir del momento en el cual se procedió a realizar el anteproyecto. En el transcurso de ese mismo año se ejecutaron los ensayos necesarios para lograr los objetivos propuestos, de acuerdo a las indicaciones especificadas por las **“Normas de Ensayos para materiales de carreteras”** del INVIAS. El tiempo total de ejecución del proyecto se considera igual a doce meses, sin embargo, es importante mencionar que éste año de trabajo fue interrumpido por diferentes eventualidades, cada una con su propia justificación, las cuales no se pretenden abordar en la presente investigación, dado el fin para el cual se ha elaborado el presente documento.

Se considera que la investigación fue realizada en cuatro etapas, definidas de la siguiente manera:

- ETAPA 1. Definición de los materiales a estudiar.
- ETAPA 2. Ejecución de ensayos previos a los que definen los parámetros a evaluar.
- ETAPA 3. Ejecución de ensayos que definen los parámetros a evaluar.
- ETAPA 4. Análisis de los resultados y organización de la información.

La tabla 10.1 describe el tiempo en el cual fueron ejecutadas cada una de las etapas anteriormente mencionadas.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Tabla 10.1. Desarrollo del proyecto por etapas.

A Ñ O	2005																2006																																			
	FEB.				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEP.				OCT.				NOV.				DIC.				ENERO				FEB.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
E T A P A 1																																																				
E T A P A 2																																																				
E T A P A 3																																																				
E T A P A 4																																																				



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **10.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO POR ETAPAS**

**10.1.1. Etapa 1. Definición de los materiales a estudiar.** Debido a que el material proveniente de los cerros aledaños a la Urb. Santa Rosalía venía siendo evaluado en el proyecto titulado “Caracterización Geomecánica Básica de Fuentes de Materiales en el D.T.C.H. de Santa Marta”, se constituía éste como un material atractivo para quienes ejecutamos la presente investigación, considerando que sería viable e interesante evaluarlo. De esta manera quedó definido cuál sería el primer material con el que se trabajaría.

El segundo material quedó definido luego de haber presentado al asesor del proyecto diferentes materiales, con lo cual él consideró conveniente emplear el proveniente del río Gaira.

**10.1.2. Etapa 2. Ejecución de ensayos previos a los que definen los parámetros a evaluar.** Se consideran ensayos previos debido a que no son los que arrojan los resultados necesarios para corroborar que la hipótesis planteada sería verdadera; sin embargo, su ejecución es necesaria ya que los resultados que arrojan proporcionan la información necesaria para introducirlos en el sistema de clasificación AASHTO, y conocer las humedades óptimas y pesos unitarios máximos con los cuales se procedió a elaborar las probetas con las que se procedería a evaluar los parámetros definidos (compresión Inconfineda, y durabilidad). Tales ensayos son (ver anexo A):

- Granulometría



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

- Límite líquido
- Límite plástico
- Ensayos próctor estándar y próctor modificado

**10.1.3. Etapa 3. Ejecución de ensayos que definen los parámetros a evaluar.**

Esta etapa fue muy interesante, pues durante su desarrollo se puede ir observando y comprobando si la hipótesis planteada resultó falsa o verdadera.

Los ensayos ejecutados son los siguientes (ver anexo A):

- Relaciones de humedad – peso unitario de mezclas de suelo – cemento.
- Humedecimiento y secado de mezclas de suelo – cemento compactadas.
- Preparación en el laboratorio de probetas de suelo – cemento.
- Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo – cemento.

**10.1.4. Etapa 4. Análisis de los resultados y organización de la información.**

Esta es la etapa con la que concluye la presente investigación. Es aquí donde se analiza cada detalle, de tal manera que las conclusiones y recomendaciones emitidas sean acertadas. En el siguiente capítulo se hace el respectivo análisis de los resultados obtenidos en el transcurso de la investigación, siendo éste un capítulo clave para emitir las respectivas conclusiones.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **11. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La ejecución de los ensayos de granulometrías, límites de consistencia y compactación próctor, proporcionaron los resultados necesarios para ejecutar las pruebas de laboratorio con las cuales se definió el éxito del estudio de la reducción de los contenidos de cemento, y de un mecanismo alternativo de compactación en laboratorio; éstas pruebas corresponden a los ensayos de durabilidad y compresión Inconfinada.

A continuación se describe el análisis realizado a cada uno de los materiales estudiados.

### **11.1 ANÁLISIS DEL MATERIAL PROCEDENTE DEL RÍO GAIRA**

Las curvas granulométricas obtenidas muestran que se trata de un material bien gradado, que además no presenta límites de consistencia y una presencia de arcilla prácticamente nula (ver figura 11.1.1 y anexo A).

Luego de haber ejecutado un sinnúmero de ensayos próctor resultó prácticamente imposible encontrar humedades óptimas y pesos unitarios máximos a partir de la obtención de curvas coherentes; por tal motivo se concluye que éste es un material arenoso no reactivo que no permite ser compactado con bajos contenidos de cemento (ésta conclusión textual se hace con base en la publicación 682, número 338, serie 5 del ICPC), pues cuando se ejecutaron las pruebas de



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

laboratorio se corroboró lo planteado en dicha publicación. Se afirma concretamente: “es una arena que no permite ser compactado con bajas cantidades de cemento, por eso se considera como un material arenoso no reactivo”. Un material reactivo en esta investigación hace referencia a un material granular que permite ser compactado a alta densidad adicionando bajas cuantías de cemento.

Una solución a la problemática que presenta el material proveniente del río Gaira es compactarlo aumentando altas cuantías de cemento, sin embargo, esta no es la finalidad del estudio, sino poder compactar y obtener altas resistencias con bajas cantidades de cemento. De esta manera se optó por prescindir del uso del material procedente del río Gaira para la ejecución de los ensayos de humedecimiento y secado, y compresión Inconfinada.

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas al material procedente del río Gaira, pueden ser observados en el anexo A. Allí se encontrará, como se mencionó anteriormente que el material no presenta límites de consistencia; y curvas próctor de tendencia “atípica”.



## ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

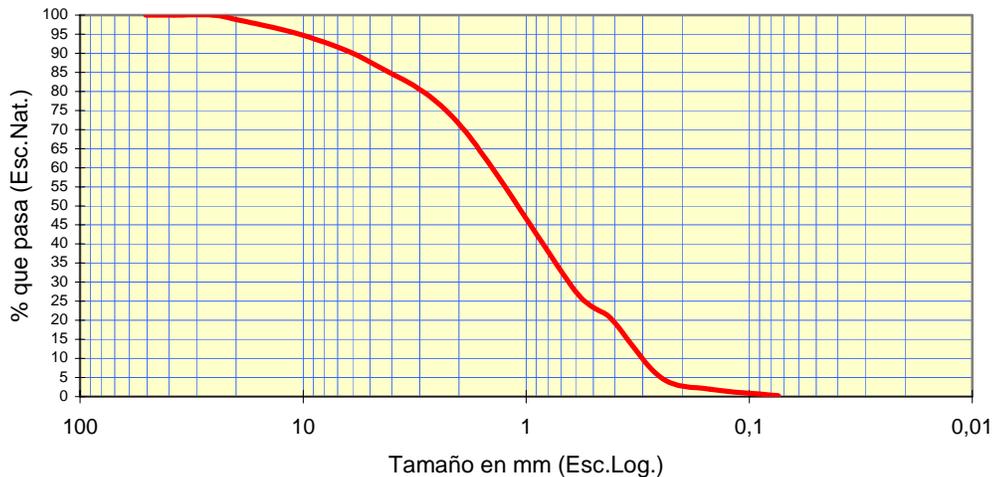


Figura 11.1.1. Curva granulométrica del material procedente del río Gaira.

### 11.2 ANÁLISIS DEL MATERIAL PROCEDENTE DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URBANIZACIÓN SANTA ROSALÍA

La curva granulométrica del material muestra un material bien gradado. Los ensayos realizados para hallar los límites de consistencia muestran la ausencia de los mismos, además de porcentajes de arcilla considerablemente reducidos (ver figura 11.2.1 donde se presenta la curva granulométrica del material y el anexo A, en donde aparecen con detalle los resultados obtenidos a partir de la realización de ensayos de granulometría y límites de consistencia).





**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

secado de la INV E 807; ver definición en la pág. 42, numeral 4.14). En el mejor de los casos (vibrocompactación) el espécimen fabricado llegó hasta el quinto ciclo de humedecimiento y secado, sin embargo, éste resultado también muestra que una mezcla de suelo – cemento realizada con el material procedente de los cerros aledaños a la urbanización Santa Rosalía, y con un contenido de cemento del 3% (AASHTO – 3%), no muestra resultados óptimos a la luz de éstos ensayos.

Tabla 11.2.1. Pérdida de peso de un espécimen de suelo – cemento elaborada con 3% de cemento y compactada mediante próctor estándar.

ESPECIMEN No. 2					
Ciclo	Etapa	Fecha	W. ant escarific.	Wdesp. escarif.	Pérdida al final del ciclo (%)
1	salida del horno	Sep. 22 2005	3201	2955	10,1003955
2	salida del horno	Sep 26 2005	2967	2910	11,46942501
3	salida del horno	Sep 29 2005	2895	2780	15,42439915

Pérdidas de peso del Especimen de Suelo - Cemento

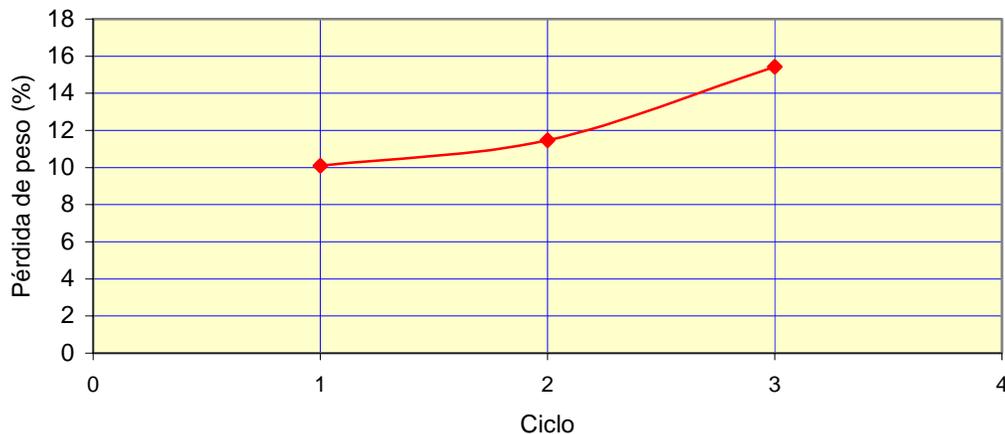


Figura 11.2.1. Ensayo de durabilidad con 3% de cemento, energía Proctor Estándar



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Tabla 11.2.2. Pérdida de peso de un espécimen de suelo – cemento elaborada con 3% de cemento y compactada mediante próctor modificado.

ESPECIMEN No. 2					
Ciclo	Etapa	Fecha	W ant escafic.	W desp. Escarif.	Pérdida al final del ciclo (%)
1	salida del horno	Sep. 22 2005	3243	3200	6,75990676
2	salida del horno	Sep 26 2005	3160	3110	14,91108071
3	salida del horno	Sep 29 2005	3115	3087	15,54035568

Pérdidas de Peso del Especimen de Suelo - Cemento

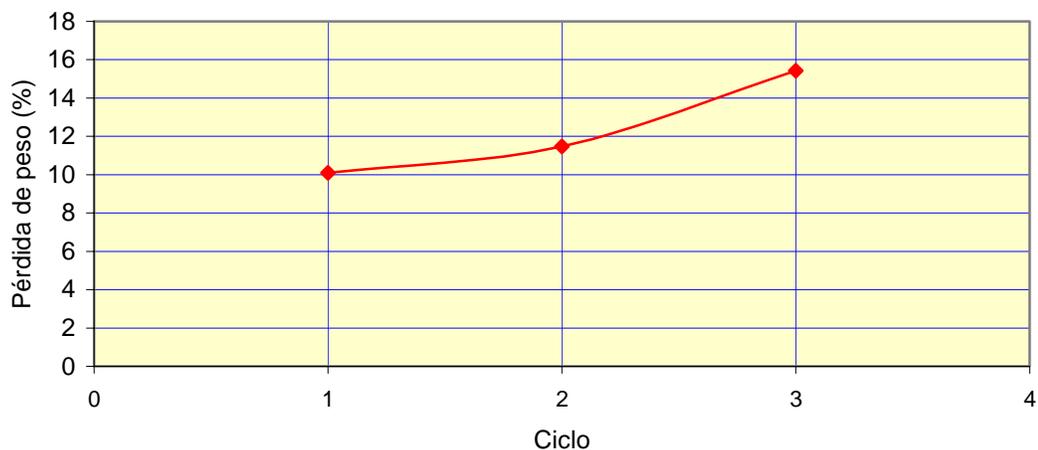


Figura 11.2.2. Ensayo de durabilidad con 3% de cemento, energía Proctor Modificado

Tabla 11.2.3. Pérdida de peso de un espécimen de suelo – cemento elaborada con 3% de cemento y compactada mediante vibrocompactación.

ESPECIMEN No. 2					
Ciclo	Etapa	Fecha	W ant escafic.	W desp. Escarif.	Perdida Al final del ciclo (%)
1	salida del horno	Oct.24 2005	3442	3380	7,523939808
2	salida del horno	Oct.27 2005	3395	3290	9,986320109
3	salida del horno	Oct. 31 2005	3298	3215	12,03830369
4	salida del horno	Nov. 3 2005	3225	3155	13,67989056
5	salida del horno	Nov. 8 2005	3160	3089	15,48563611



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Pérdidas de Peso del Especimen de Suelo - Cemento

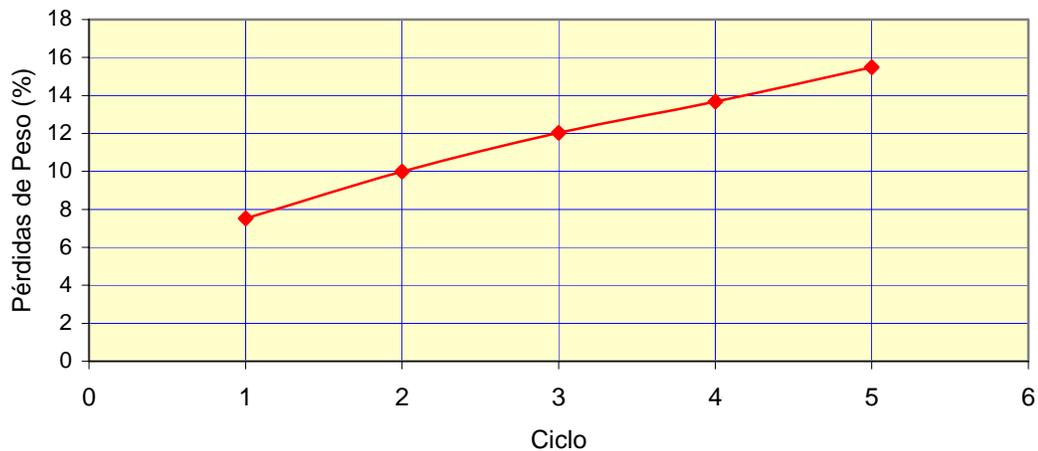


Figura 11.2.3. Ensayo de durabilidad con 3% de cemento, energía por Vibrocompactación

Como se observa en las curvas mostradas en la medida en que se avanza en el número de ciclos de humedecimiento y secado, aumentan las pérdidas de peso del material ensayado, por lo cual se concluye que éste material no cumple con la especificación requerida para el parámetro de durabilidad del 14% de pérdida en peso del material, dada por la AASHTO.

Tabla 11.2.4. Tabla resumen de ensayos de humedecimiento y secado (durabilidad).

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	% DE CEMENTO	CICLO EN EL QUE SUPERA PÉRDIDAS DE PESO	ESPECIFICACIONES
Próctor Estándar	3	Tercero	No Cumple
Próctor Modificado		Segundo	No Cumple
Vibrocompactación		Quinto	No Cumple



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Convenciones	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

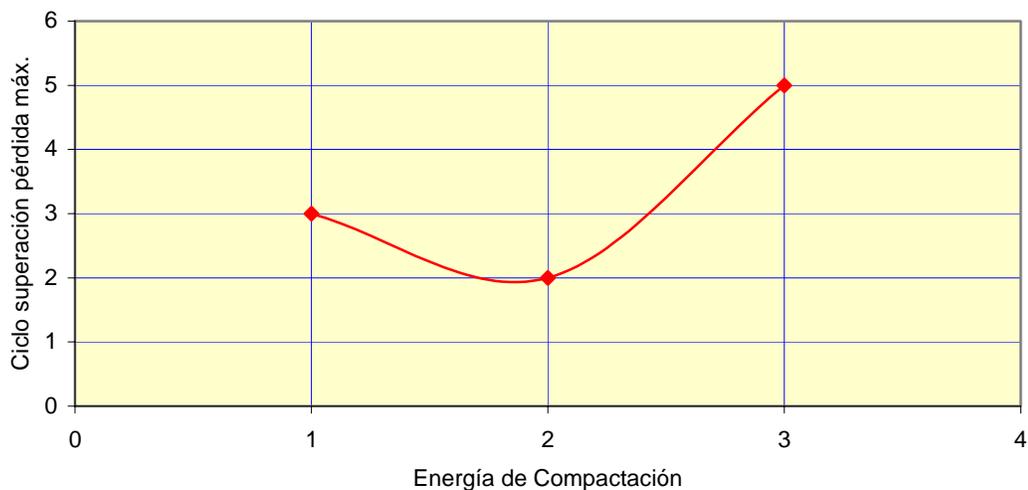


Figura 11.2.4. Ensayo de durabilidad con 3% de cemento

Esta última curva muestra la influencia de la energía de compactación en cuanto a la durabilidad del espécimen compactado, haciendo la comparación a partir del ciclo en el cual la probeta supera la pérdida máxima de peso en porcentaje especificada por la AASHTO. Aparentemente según la curva anterior, con la energía de compactación próctor estándar se obtienen mejores resultados que con la energía próctor modificado, sin embargo, la diferencia numérica no se considera lo suficientemente significativa como para afirmar que la energía estándar es mejor que la modificada, dado que la diferencia entre ciclos es de apenas uno.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

Los ensayos de compresión inconfiada muestran que el material cumple en algunos casos la resistencia especificada de 2 N/mm<sup>2</sup>. Los resultados permiten observar que este parámetro depende considerablemente de la energía de compactación y del contenido de cemento (ver anexo A). Como se observa en la tabla 11.2.5 con un contenido de cemento del 4% en peso de la muestra de material (contenido AASHTO – 2%) y mediante la aplicación de las energías de compactación próctor estándar y próctor modificado se obtienen resistencias consideradas iguales a la especificada.

Tabla 11.2.5. Tabla resumen de ensayos de compresión Inconfiada.

% DE CEMENTO DE LA MEZCLA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO DEL ESPECIMEN (N/mm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ESPECIFICADA (N/mm <sup>2</sup> )
3 (fig. 11.2.5)	Próctor Estándar	0.84	2
	Próctor Modificado	1.45	
	Vibrocompactación	1.51	
4 (fig. 11.2.6)	Próctor Estándar	0.98	
	Próctor Modificado	1.93	
	Vibrocompactación	1.94	
6 (fig. 11.2.7)	Próctor Estándar	1.90	
	Próctor Modificado	2.0	
	Vibrocompactación	1.96	
7 (fig. 11.2.8)	Próctor Estándar	1.90	
	Próctor Modificado	2.1	
	Vibrocompactación	1.98	



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

Convenciones	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

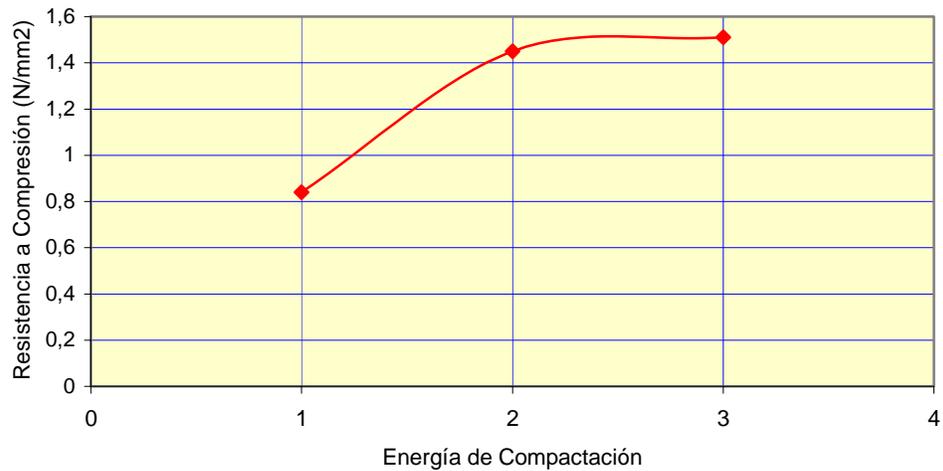


Figura 11.2.5. Curva de resistencia a compresión con contenido de cemento AASHTO – 3%.

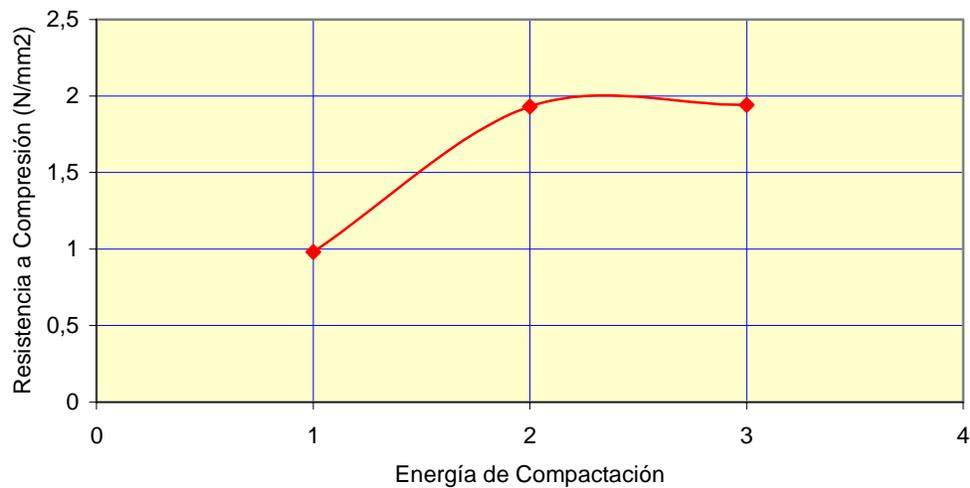


Figura 11.2.6. Curva de resistencia a compresión con contenido de cemento AASHTO – 2% (4%).



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

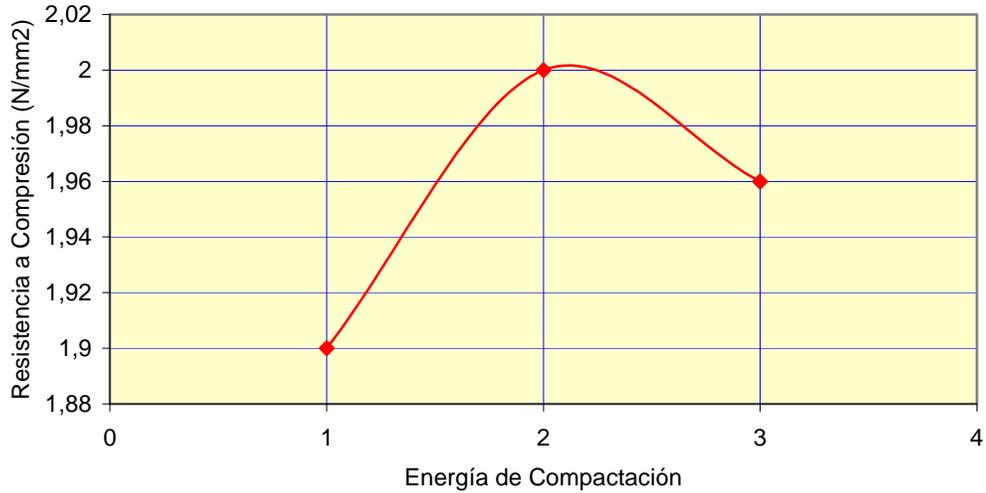


Figura 11.2.7. Curva de resistencia a compresión con contenido de cemento AASHTO (6%)

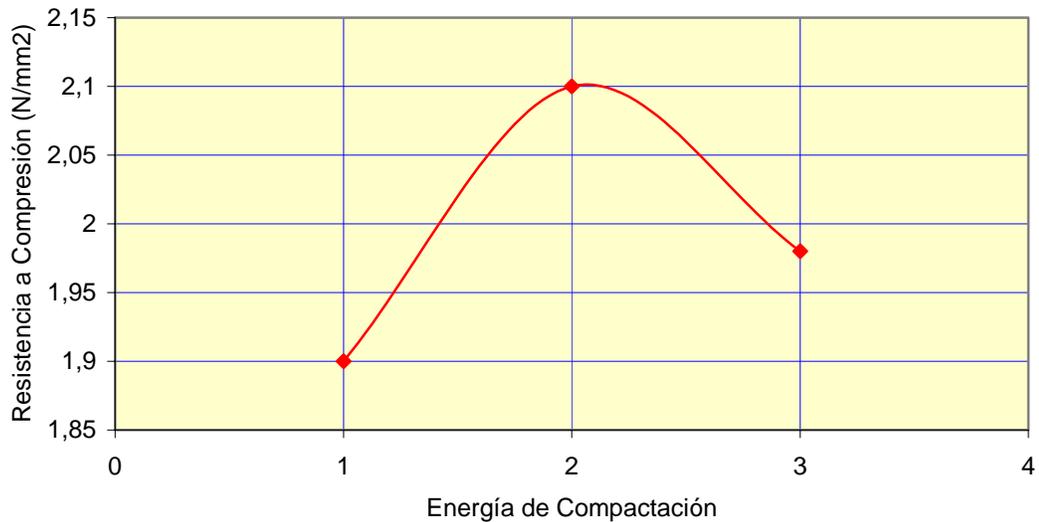


Figura 11.2.8. Curva de resistencia a compresión con contenido de cemento AASHTO + 1 (7%)



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

En la tabla 11.2.5 se observa una relación creciente entre la energía de compactación aplicada y la resistencia a compresión Inconfinada; a medida que cambiamos la energía de compactación de estándar a modificado y de modificado a vibrocompactación, se observa como los valores de los resultados aumentan. En la tabla 11.2.6 se observa una similitud para las energías de compactación modificado y vibrocompactación. En la tabla 11.2.7 y 11.2.8 a pesar de que el comportamiento de la curva muestra una disminución de la resistencia al pasar de energía proctor estándar a vibrocompactación, se puede afirmar que los valores son bastante cercanos y por consiguiente la diferencia es de decimales (1.98 a 2.1, es aprox. 2).

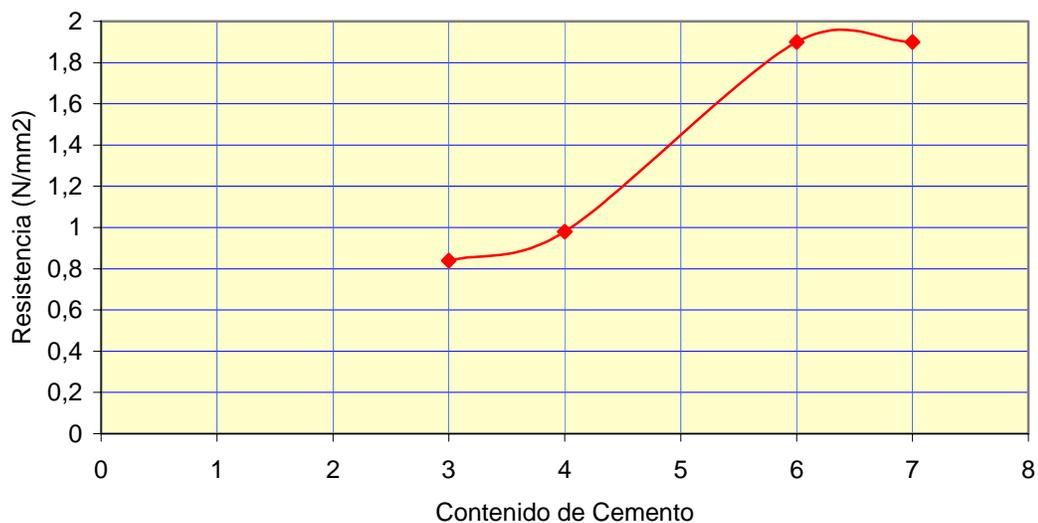


Figura 11.2.9 Curva de Resistencia a compresión para la energía de compactación Proctor Estándar



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

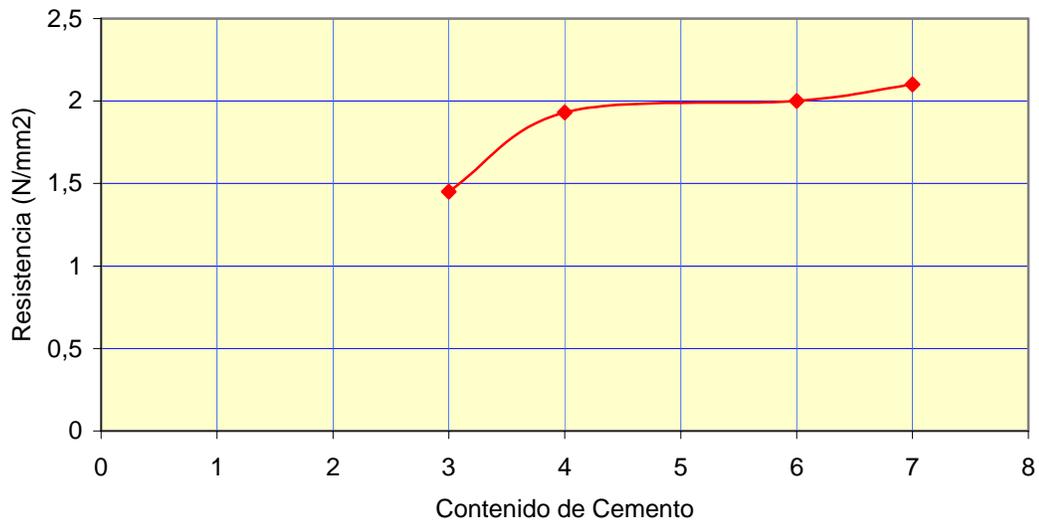


Figura 11.2.10 Curva de Resistencia a compresión para la energía de compactación Proctor Modificado

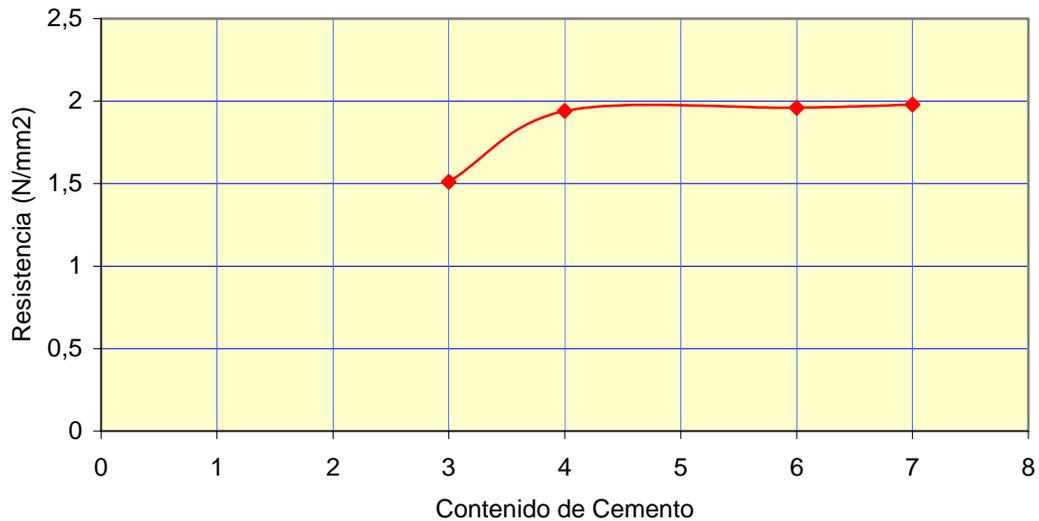


Figura 11.2.11 Curva de Resistencia a compresión para la energía de compactación Vibrocompactación



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

En las tablas 11.2.9 a 11.2.11 se puede notar una relación directamente proporcional; a medida que el contenido de cemento se incrementa, aumenta la resistencia del espécimen.

### **11.3 ANÁLISIS DE LAS DOSIFICACIONES DE CEMENTO ESTUDIADAS**

En este proyecto se propuso estudiar cuatro contenidos de cemento, los cuales son:

- AASHTO – 3% = 3%
- AASHTO – 2% = 4%
- AASHTO = 6%
- AASHTO + 1% = 7%

Los resultados obtenidos con la dosificación mínima (3%), muestran que con este contenido de cemento no se obtiene la resistencia especificada y el espécimen fabricado con la mezcla de suelo – cemento (material Urb. Santa Rosalía) no cumple con lo especificado en el ensayo de durabilidad. Ninguna de las energías de compactación utilizadas con este contenido arrojó resultados óptimos (ver desde Figura 11.2.1 hasta 11.2.5).

Los resultados obtenidos con una dosificación del 4%, muestran que con este contenido de cemento se obtiene en algunos casos la resistencia especificada, como se observa en el anexo A, tal resultado está en función de la energía de compactación aplicada. (ver Figura 11.2.6).



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

Los resultados obtenidos con una dosificación del 6% (contenido recomendado por AASHTO), muestran que con este contenido de cemento se obtiene la resistencia especificada, como se observa en el anexo A (ver Figura 11.2.7).

Los resultados obtenidos con una dosificación del 7%, muestran que con este contenido de cemento se obtiene la resistencia especificada, como se observa en el anexo A (ver Figura 11.2.8).

#### **11.4 ANÁLISIS DE LAS ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN ESTUDIADAS**

En este proyecto se propuso estudiar las siguientes energías de compactación:

- Próctor estándar
- Próctor modificado
- Vibrocompactación

Con la energía próctor estándar sólo se obtuvieron resultados óptimos para los contenidos de cemento del 6% y 7% (ver Figura 11.2.9).

Las energías próctor modificado y vibrocompactación muestran resultados muy parecidos y que cumplen la resistencia especificada para contenidos de cemento del 4%, 6% y 7% (ver tablas 11.2.10 y 11.2.11).



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

Las figuras que van desde la 11.2.1 hasta la 11.2.11 se constituyen como la evidencia necesaria para soportar las afirmaciones que se hacen respecto al análisis de los resultados.

En cuanto a la vibrocompactación, se puede anotar que este método es adecuado para compactar mezclas de suelo – cemento en el laboratorio, por cuanto se recomienda emplearlo como un método alternativo de compactación; además el vibrado es un mecanismo que ofrece una mayor similitud a los procesos de compactación en campo; de modo que se constituye en un buen patrón de comparación respecto al proctor si se cuenta con los equipos necesarios para llevar a cabo este tipo de procedimientos.

Con base en los ensayos ejecutados y la obtención de los resultados presentados anteriormente, se puede afirmar que la vibrocompactación ofrece las siguientes ventajas:

- Compactación de probetas en tiempos cortos.
- Compactación por vibrado la cual se asemeja más a los procesos de campo.
- Pesos unitarios muy cercanos a los deseados.
- Conservación de humedades debido a cortos tiempos de ejecución del ensayo.
- Se alcanzan las resistencias a compresión especificadas con adecuados contenidos de cemento.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

En las figuras 11.2.3, 11.2.4, 11.2.5, 11.2.6, 11.2.7, 11.2.8 y 11.2.11 se muestra los resultados referentes a la Vibrocompactación.

Se plantea entonces, como solución o alternativa el empleo de un contenido mínimo de 4% de cemento del peso de la muestra seca de material para compactar mezclas de suelo – cemento, mediante la aplicación de las energías próctor modificado y vibrocompactación, siendo esta última un método alterno de compactación.

La siguiente presenta un resumen de la conclusión a la que se llegó respecto al uso de las diferentes dosificaciones de cemento y energías de compactación, luego de haber analizado los resultados obtenidos.

<b>% de cemento de la mezcla</b>	<b>energía de compactación</b>	<b>Uso en el laboratorio</b>
3	Próctor Estándar	no recomendado
	Próctor Modificado	no recomendado
	Vibrocompactación	no recomendado
4	Próctor Estándar	no recomendado
	Próctor Modificado	recomendado
	Vibrocompactación	recomendado
6	Próctor Estándar	recomendado
	Próctor Modificado	recomendado
	Vibrocompactación	recomendado
7	Próctor Estándar	recomendado
	Próctor Modificado	recomendado
	Vibrocompactación	recomendado



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **12. SUGERENCIAS TÉCNICAS SOBRE PROCESOS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO**

### **12.1 SUGERENCIAS PARA EL ENSAYO PRÓCTOR ESTÁNDAR**

Los resultados obtenidos, que pueden ser observados en la serie de figuras descritas anteriormente y en el anexo A, conllevan a afirmar que la compactación mediante la aplicación de la energía próctor estándar, de mezclas de suelo – cemento no es recomendable como método de compactación en el laboratorio. Sin embargo, es importante anotar que con este método se conservan las humedades deseadas, aunque los pesos unitarios no son lo suficientemente altos para cumplir con los parámetros especificados.

### **12.2 SUGERENCIAS PARA EL ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO**

Los resultados obtenidos, que pueden ser observados en la serie de figuras descritas anteriormente y en el anexo A, conllevan a afirmar que la compactación mediante la aplicación de la energía próctor modificado, de mezclas de suelo – cemento es recomendable como método de compactación en el laboratorio, si se emplea un contenido igual o mayor al 4% de cemento en peso del peso seco del material estudiado. Además se obtienen las humedades deseadas y pesos unitarios suficientes para cumplir con el parámetro de compresión Inconfinada.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

Respecto a los procedimientos de ejecución del ensayo se recomienda seguir las especificaciones de las Normas de Ensayo para Carreteras del INVIAS.

### **12.3 SUGERENCIAS PARA LA VIBROCOMPACTACIÓN**

Los resultados obtenidos, que pueden ser observados en la serie de figuras descritas anteriormente y en el anexo A, conllevan a afirmar que la compactación mediante la aplicación de la energía vibrocompactación, de mezclas de suelo – cemento es recomendable como método alternativo de compactación en el laboratorio, si se emplea un contenido igual o mayor al 4% de cemento en peso del peso seco del material estudiado. Además se obtienen las humedades deseadas y pesos unitarios suficientes para cumplir con el parámetro de compresión Inconfinada.

Respecto a los procedimientos de ejecución del ensayo se recomienda:

- Disponer de una máquina vibratoria que vibre a frecuencia de 3000 rpm.
- Ajustar el molde de compactación a la máquina vibratoria para garantizar la correcta ejecución del ensayo.
- Compactar en cinco capas de mezcla de suelo – cemento, partiendo de los pesos unitarios obtenidos en los ensayos próctor modificado.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

- Compactar las capas utilizando un sobrepeso y en un tiempo no menor de 25 segundos, siempre y cuando la máquina vibratoria se encuentre en buenas condiciones.
- Mantener las probetas protegidas contra pérdidas de humedad.

Siguiendo estas recomendaciones se considera que se llega a los resultados deseados.

En todos los casos se recomienda ejecutar los ensayos tan pronto como sea posible para evitar pérdidas de humedad de los especímenes compactados.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

### **13. LIMITACIONES**

En esta investigación se presentaron varias limitaciones:

- El factor económico: al no disponer de la cantidad de recursos necesarios para realizar diferentes fases en la investigación, como por ejemplo, el diseño y construcción de un tramo de pavimento, se hizo necesario reducir los alcances del proyecto, limitándose a la realización de una sola fase, la cual corresponde a la realización de la serie de ensayos antes mencionados.
- La falta de un horno en el LIIC que tuviera la suficiente capacidad para realizar el ensayo de humedecimiento y secado evaluando todos los contenidos de cemento propuestos en la investigación, y no limitando la investigación al estudio del contenido mínimo como se hizo.
- El estado de la máquina de vibrocompactación, pues se considera que éste alteró los resultados ya que se esperaban resultados mejores.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **14. CONCLUSIONES**

Respecto a los materiales empleados en esta investigación se concluye que sólo el proveniente de los cerros aledaños a la Urbanización Santa Rosalía (Martha Zúñiga) es adecuado para conformar bases y subbases de pavimentos cuando es mezclado con contenidos de cemento mayores o iguales al cuatro por ciento del peso seco de la muestra de suelo; y si es compactado a alta densidad. De lo contrario, un contenido de cemento del cuatro por ciento del peso seco de la muestra de suelo, no presenta un material adecuado para formar parte de la estructura de un pavimento.

El material Martha Zúñiga presenta un buen comportamiento cuando se compacta en laboratorio empleando las energías de compactación que se estudiaron en esta investigación. Por cuanto se considera que al ser empleado en campo mezclado con cemento, ofrecerá unas condiciones favorables de trabajo.

El material procedente del río Gaira no es adecuado para conformar bases y subbases de pavimentos, a menos que se le adicionen altas cantidades de cemento; ninguno de los porcentajes de cementos analizados en esta investigación es suficiente para que el material presente un buen comportamiento en cuanto a resistencia y durabilidad. El material es poco trabajable en el laboratorio, y prácticamente imposible de compactar con los contenidos de cemento propuestos.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

En cuanto a la dosificación estudiada se concluye que el mínimo contenido evaluado (tres por ciento) no es suficiente para que la mezcla cumpla con los parámetros de resistencia a compresión y durabilidad. Las energías de compactación evaluadas con este contenido de cemento muestran que la mezcla de suelo – cemento alcanza resistencias muy inferiores a la especificada, por cuanto se concluye que el tres por ciento de cemento del peso seco de la muestra de suelo no es suficiente para obtener una adecuada mezcla que permita formar parte de la estructura de un pavimento.

Un contenido de cemento del cuatro por ciento del peso seco de la muestra de suelo es suficiente para alcanzar la resistencia especificada de  $2 \text{ N/mm}^2$ . Sin embargo, no se puede concluir si este contenido de cemento es suficiente para formar una mezcla adecuada de suelo – cemento con el material procedente de los cerros aledaños a la Urbanización Santa Rosalía, debido a que por cuestión de limitaciones no fue posible realizar ensayos de humedecimiento y secado.

El contenido de cemento recomendado por AASHTO (6% del peso seco de la muestra de suelo) es suficiente para conformar una mezcla adecuada de suelo – cemento útil para conformar bases y subbases de pavimentos.

Con un contenido de cemento del siete por ciento del peso seco de la muestra de suelo se alcanza la resistencia especificada; sin embargo, se considera poco



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

práctico emplear tal contenido ya que con éste se encarecen los costos de construcción de una obra vial.

Del estudio de dosificación se concluye que se puede emplear el cuatro por ciento en cemento del peso seco del material procedente de los cerros aledaños a la Urbanización Santa Rosalía (Martha Zúñiga), para conformar una base o subbase de pavimento.

Se considera que la energía de compactación próctor estándar es un método de compactación en laboratorio algo alejado de los pesos unitario que se pueden obtener en campo, por cuanto la metodología se considera poco representativa de los procesos de campo.

Con el próctor modificado y la vibrocompactación se obtienen resultados muy similares en cuanto a resistencias a compresión inconfiada, y además se alcanzan los valores de resistencia especificados cuando se emplean contenidos de cemento iguales o superiores al cuatro por ciento en peso seco de la muestra de suelo.

En cuanto a la propuesta de emplear un método alternativo de compactación en el laboratorio como lo es la vibrocompactación, se concluye que este método es adecuado para compactar mezclas de suelo – cemento en el laboratorio, y además el vibrado se asemeja más a los procesos de campo.

La vibrocompactación ofrece las siguientes ventajas:



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND, EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS**

---

- Compactación de probetas en tiempos cortos.
- Compactación por vibrado la cual se asemeja más a los procesos de campo.
- Pesos unitarios muy cercanos a los deseados.
- Conservación de humedades debido a cortos tiempos de ejecución del ensayo.
- Se alcanzan las resistencias a compresión especificadas con adecuados contenidos de cemento.

De esta investigación se concluye que una dosificación del cuatro por ciento para elaborar una mezcla de suelo – cemento es suficiente para conformar una base o subbase de pavimento, con lo que se mejoran las propiedades mecánicas del material Martha Zúñiga.

La vibrocompactación es un excelente método alternativo de compactación en laboratorio por las ventajas antes mencionadas.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

## **15. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda emplear el material procedente de los cerros aledaños a la Urbanización Santa Rosalía para conformar bases y subbases de pavimentos con un contenido mínimo del cuatro por ciento del peso seco de la muestra de suelo, siempre y cuando se aplique una adecuada energía de compactación
- Se recomienda emplear como método alternativo de compactación en laboratorio la compactación por vibrado, ya que ofrece resultados muy próximos a los deseados y/o especificados; además es muy práctico y se asemeja más a los procesos de compactación en campo.
- Se recomienda hacer estudios de humedecimiento y secado en los otros contenidos propuestos en esta investigación, los cuales no fueron estudiados debido a cuestión de limitantes.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

**BIBLIOGRAFIA**

- Suelo-cemento. Un material con muchas aplicaciones. Boletín ICPA N° 139. Enero de 1991.
- TABARES A. Jorge Andrés. Materiales Tratados con cemento para pavimentos.
- CRONEY, David y CRONEY, Paul. Design and performance of road pavements. Pág. 185.
- Dosificación De Mezclas De Suelo-Cemento. Nota Técnica No. 107. ICPC. Medellín, Febrero de 2004.
- TABARES A. Jorge Andrés. Materiales Tratados con cemento para pavimentos. Medellín, 1992.
- Normas INV del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

# **ANEXOS**



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

# **ANEXO A**

## **Formatos de ensayos de Laboratorio**



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

# **ANEXO B REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



*Foto 1. Máquina Vibratoria Vebe Test, empleada para compactar las probetas por vibrado.*

*Foto 2. Martillos de compactación Próctor Estándar, Próctor Modificado y molde de compactación.*





**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



Foto 3. Máquina de Compresión Inconfinada.



Foto 4. Horno.



Foto 5. Balanza Mecánica.



Foto 6. Balanza Digital.



Foto 7. Material Martha Zúñiga.



Foto 8. Material Río Gaira.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



Foto 9. Adición de agua a la mezcla de suelo-cemento.



Foto 10. Mezcla del suelo, cemento y agua.



Foto 11. Muestra compacta con próctor modificado.



Foto 12. Muestra para toma de humedad óptima secada al después de 24 horas.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



Foto 13. Espécimen para ensayo de durabilidad recién compactado.



Foto 14. Espécimen durante ensayos de durabilidad.



Foto 15. Especímenes durante ensayo de durabilidad.



Foto 16. Especímenes protegidos contra pérdida de humedad en cuarto húmedo.



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVE - 123**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN:

FECHA TOMA DE MUESTRA: Febrero 3 de 2005

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 4 de 2005

FUENTE: Río Gaira

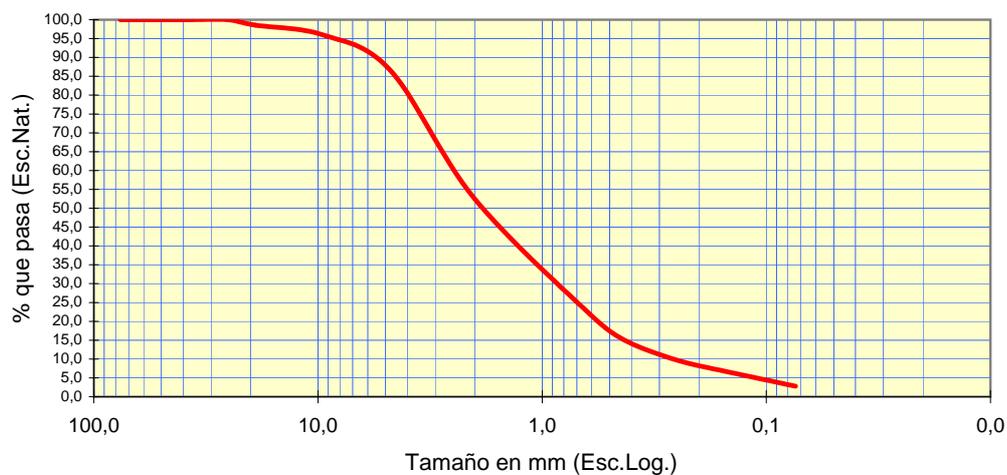
DESCRIPCIÓN: Arena limpia

WTMS (g) : 2174,0      WTLT 200 (g) : 1994,1      Error (%): 0,64

TAMIZ US ESTÁNDAR	TAMIZ (mm)	PESO SUELO RETENIDO (g)	PESO SUELO RETENIDO CORREGIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO %	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO %	PORCENTAJE QUE PASA %
3"	76,2	0	0,00	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0	0,00	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,10	0	0,00	0,0	0,0	100,0
1"	25,40	0	0,00	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	28,3	28,48	1,3	1,3	98,6
3/8"	9,52	84	84,53	3,9	5,2	96,0
No 4	4,760	146,1	147,03	6,8	12,0	86,6
No 10	2,000	306	307,95	14,2	26,1	52,5
No 30	0,590	875,8	881,38	40,5	66,7	21,0
No 40	0,420	131,6	132,44	6,1	72,8	14,7
No 60	0,25	309,00	310,97	14,3	87,1	9,7
No 100	0,149	63,30	63,70	2,9	90,0	6,6
No 200	0,074	32,40	32,61	1,5	91,5	2,8
Fondo	---	4,9	4,93	0,2	91,7	0,5
Suma		1981,4	1994,02			

WTMS = Peso total muestra seca

WTLT200 = Peso total seco lavado sobre T200





**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO INVE - 123**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA TOMA DE MUESTRA: Enero 29 de 2005

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 5 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

**WTMS (g) : 2095,5**

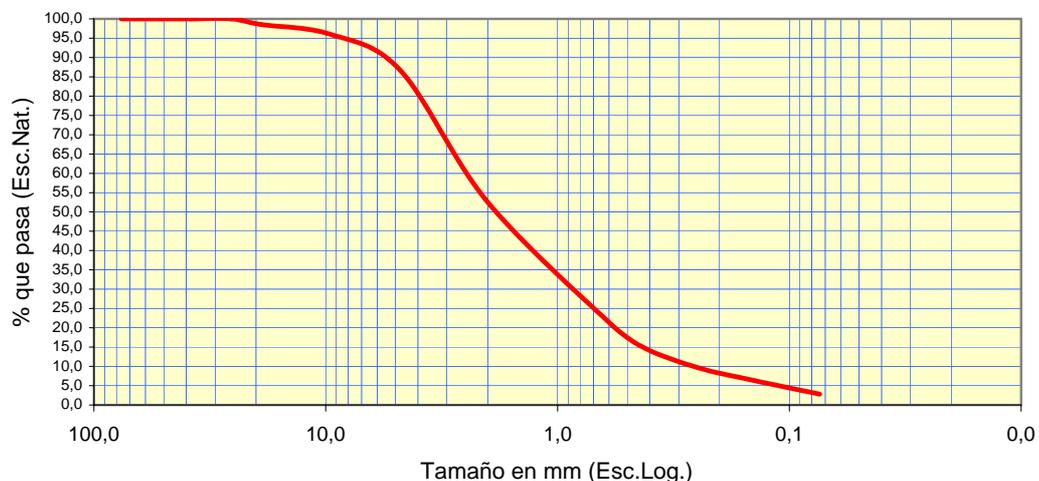
**WTLT 200 (g) : 2003,8**

**Error (%) : 0,63**

TAMIZ US ESTÁNDAR	TAMIZ (mm)	PESO SUELO RETENIDO (g)	PESO SUELO RETENIDO CORREGIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO %	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO %	PORCENTAJE QUE PASA %
3"	76,2	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
2"	50,8	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	38,10	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
1"	25,40	0,0	0,00	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	28,9	29,08	1,4	1,4	98,6
3/8"	9,52	51,3	51,62	2,5	3,9	96,0
No 4	4,760	187,8	188,98	9,0	12,9	86,6
No 10	2,000	682,8	687,09	32,8	45,7	52,5
No 30	0,590	634,8	638,79	30,5	76,1	21,0
No 40	0,420	120,6	121,36	5,8	81,9	14,7
No 60	0,25	101,1	101,74	4,9	86,8	9,7
No 100	0,149	61,1	61,48	2,9	89,7	6,6
No 200	0,074	76,6	77,08	3,7	93,4	2,8
Fondo	---	46,2	46,49	2,2	95,6	0,5
<b>Suma</b>		<b>1991,2</b>	<b>2003,72</b>			

**WTMS =** Peso total muestra seca

**WTLT200 =** Peso total seco lavado sobre T200





**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA INV E 125 - INV E - 126**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
 PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
 LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
 SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN:  
 FECHA TOMA DE MUESTRA: Febrero 3 de 2005  
 FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 10 de 2005  
 FUENTE: Río Gaira  
 DESCRIPCIÓN: Arena limpia

LIMITE LIQUIDO			
Número de golpes			
Wrec.+muet.húm.			
Wrec.+muet.seca.			
Wagua			
Wrec.			
Wmuest.seca			
% Humedad			

Nota: todos los pesos están en gramos (gr)

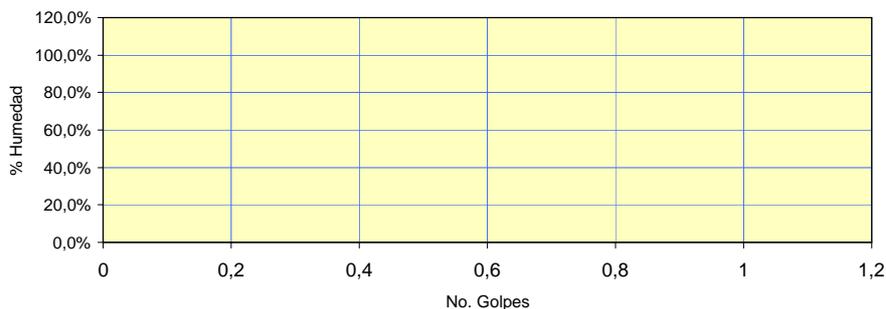
RESULTADOS	
Límite Líquido:	NL
Límite Plástico:	-
Índice de Plasticidad:	NP
Humedad natural:	1,3%
AASHTO:	A-1-b

LIMITE PLASTICO			
Recipiente No.			
Pr + Ph			
Pr + Ps			
P Agua			
Pr			
Ps			
% Humedad			

Nota: todos los pesos están en gramos (gr)

ESPECIFICACIONES	NORMA DEL ENSAYO
IP ≤ 3%, Para bases	I.N.V E-125
IP ≤ 6%, Para subbases	I.N.V E-126

**LIMITE LÍQUIDO**





**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA INV E 125 - INV E - 126**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
 PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
 LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
 SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía  
 FECHA TOMA DE MUESTRA: Febrero 3 de 2005  
 FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 10 de 2005  
 FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía  
 DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

LIMITE LIQUIDO			
Número de golpes			
Wrec.+muet.húm.			
Wrec.+muet.seca.			
Wagua			
Wrec.			
Wmuest.seca			
% Humedad			

Nota: todos los pesos están en gramos (gr)

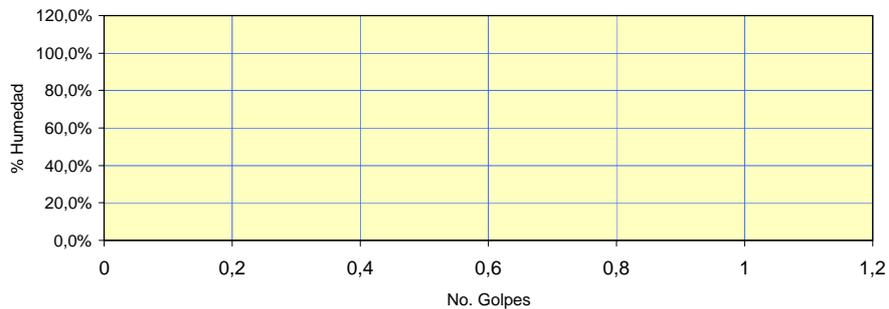
RESULTADOS	
Límite Líquido:	NL
Límite Plástico:	-
Índice de Plasticidad:	NP
Humedad natural:	2%
AASHTO:	A-1-b

LIMITE PLASTICO			
Recipiente No.			
Pr + Ph			
Pr + Ps			
P Agua			
Pr			
Ps			
% Humedad			

Nota: todos los pesos están en gramos (gr)

ESPECIFICACIONES	NORMA DEL ENSAYO
IP ≤ 3%, Para bases	I.N.V E-125
IP ≤ 6%, Para subases	I.N.V E-126

**LIMITE LÍQUIDO**

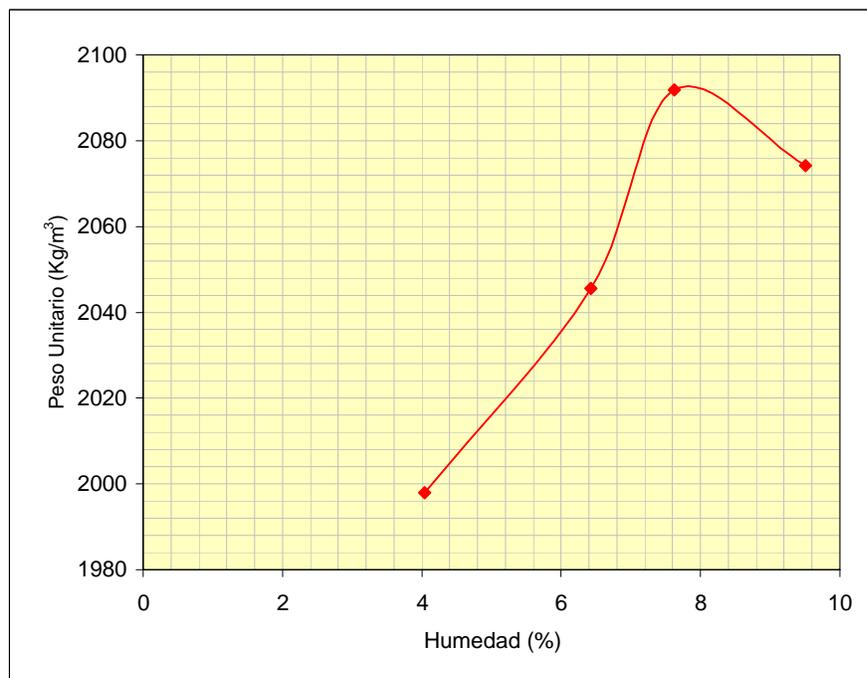




## ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO INV E 142

**FECHA:** FEBRERO 04 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DEL ENSAYO:** ENSAYO DE CARACTERIZACION (SIN CEMENTO)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	
Humedad adicional (%)	4,30	6,30	7,30	8,30	
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	
Agua adicionada (cc)	165,00	220,00	247,50	275,00	
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3927,00	4020,00	4090,00	40109,00	
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	
Peso recipiente para muestra humedad	18,50	19,00	19,20	18,90	
Peso del la muestra humeda (gr)	121,50	108,40	123,70	126,00	
Peso de la muestra seca (gr)	118,30	103,00	116,30	116,70	
% Humedad	4,00	6,40	7,60	9,50	
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1998,00	2046,00	2092,00	2074,00	



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg  
**ALTURA DE CAIDA:** 45,72 cm  
**NUMERO DE CAPAS:** 5  
**GOLPES POR CAPA:** 25  
**PASA TAMIZ:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIMA:** 7,80%  
**DENSIDAD MAXIMA:** 2095Kg/m<sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

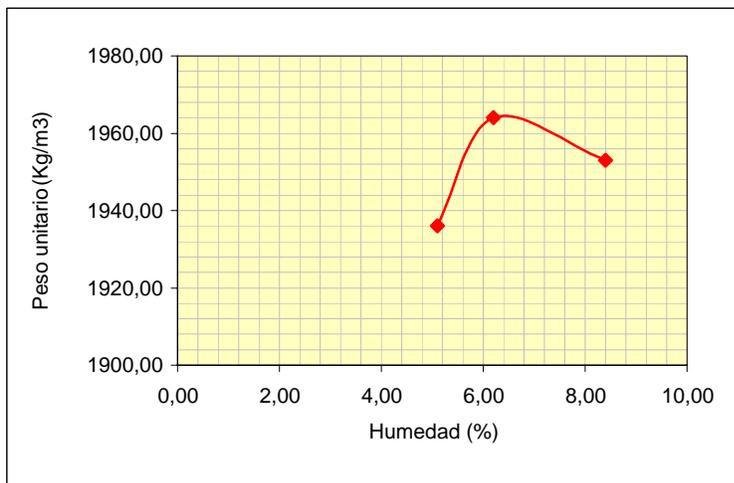
**NORMA DEL ENSAYO**  
I.N.V E-142



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACIÓN SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO (6%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	
Humedad adicional (%)	4,30	6,30	7,30	8,30	
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	
Cantidad de cemento a adicionar	165,00	165,00	165,00	165,00	
Agua adicionada (cc)	174,90	233,20	262,35	291,50	
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3885,00	3934,00	3964,00	3830,00	
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	
Peso recipiente para muestra humedad	18,00	17,70	18,10	19,40	
Peso del la muestra humeda (gr)	124,00	109,70	122,50	126,80	
Peso de la muestra seca (gr)	118,90	104,30	114,40	117,90	
% Humedad	5,10	6,20	8,40	9,00	
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1936,00	1964,00	1953,00	1812,00	



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5 Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 30,5 cm

**NUMERO DE CAPAS:** 3

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No. 4

**HUMEDAD OPTIMA:** 7,80%

**DENSIDAD MAXIMA:** 2095Kg/m3

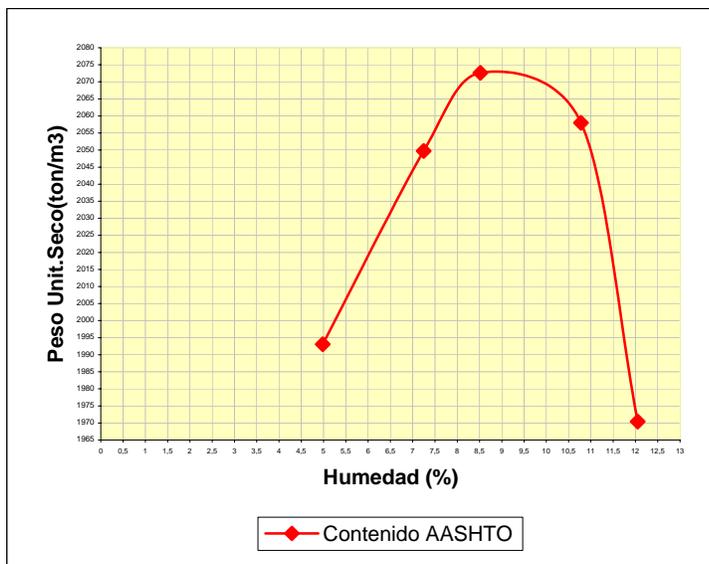
**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO (6%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4	5	6
Numero de Golpes	25	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Humedad adicional (%)	4,30	6,30	7,30	8,30	10,30	12,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00	165,00
Agua adicionada (cc)	174,90	233,20	262,35	291,50	349,80	408,10
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3940,00	4040,00	4088,00	4115,00	4117,00	4049,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	19,00	19,10	18,20	19,10	18,10	18,20
Peso del la muestra humeda (gr)	107,50	128,60	121,40	128,90	129,10	127,00
Peso de la muestra seca (gr)	103,30	121,20	113,30	119,20	118,30	115,30
% Humedad	5,00	7,20	8,50	9,70	10,80	12,00
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1993,00	2050,00	2073,00	2077,00	2058,00	1970,00



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 45,72

**NUMERO DE CAPAS:** 5

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIMA:** 9,70%

**DENSIDAD MAXIMA:** 2077Kg/m<sup>3</sup>

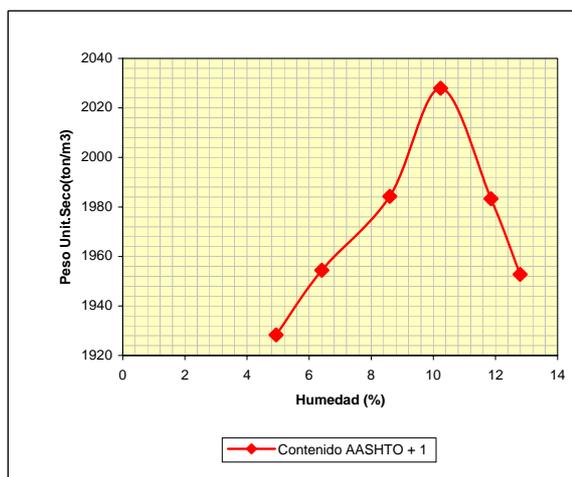
**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO + 1 (7%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4	5	6
Numero de Golpes	25	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Humedad adicional (%)	4,30	6,30	7,30	8,30	10,33	12,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	192,50	192,50	192,50	192,50	192,50	192,50
Agua adicionada (cc)	176,55	235,40	264,83	294,25	353,10	411,95
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3875,00	3928,00	3999,00	4075,00	4059,00	4044,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,50	18,00	17,70	18,00	19,00	18,90
Peso de la muestra humeda (gr)	120,50	119,30	113,70	127,90	140,70	145,00
Peso de la muestra seca (gr)	115,70	113,20	106,10	117,70	127,80	130,70
% Humedad	4,90	6,40	8,60	10,20	11,90	12,80
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1928,00	1954,00	1984,00	2028,00	1983,00	1953,00



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO** 2,5 Kg

**ALTURA DE CAID.** 30,5 cm

**NUMERO DE CAP.** 3

**GOLPES POR CAI** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD ÓPT** 10,20%

**DENSIDAD MAX** 2028Kg/m<sup>3</sup>

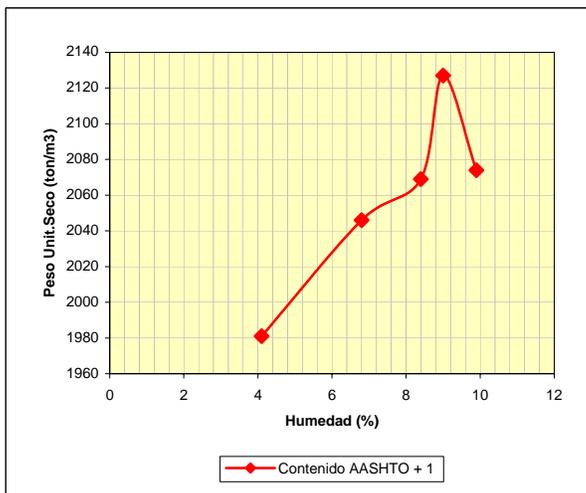
**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 201  
**PROCEDENCIA:** CANtera MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO + 1 (7%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Humedad adicional (%)	2,30	6,30	7,30	8,30	10,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	192,50	192,50	192,50	192,50	192,50
Agua adicionada (cc)	117,70	235,40	264,83	294,25	353,10
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3911,00	4028,00	4082,00	4154,00	4116,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,00	18,60	16,80	18,50	18,10
Peso del la muestra humeda (gr)	127,30	112,70	125,10	123,50	116,00
Peso de la muestra seca (gr)	123,00	106,70	116,70	114,80	107,20
% Humedad	4,10	6,80	8,40	9,00	9,90
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1981,00	2046,00	2069,00	2127,00	2074,00



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 45,72

**NUMERO DE CAPAS:** 5

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIM** 9,00%

**DENSIDAD MAXII** 2127Kg/m<sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<b>NORMA DEL ENSAYO</b>
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONT. DE CEMENTO AASHTO-2(4%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Humedad adicional (%)	2,30	4,30	8,30	10,30	12,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
Agua adicionada (cc)	171,60	171,60	286,00	343,20	353,10
Peso del muestra humeda + molde (gr)	3793,00	3905,00	3898,00	3890,00	3882,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,00	17,90	18,00	18,40	19,30
Peso del la muestra humeda (gr)	141,80	128,90	129,40	122,40	127,80
Peso de la muestra seca (gr)	138,20	123,60	120,60	112,50	116,60
% Humedad	4,90	7,40	8,60	10,20	11,90
Dendidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1910,00	1957,00	1920,00	1878,00	1838,00

### DATO DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5 Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 30,5 cm

**NUMERO DE CAPAS:** 3

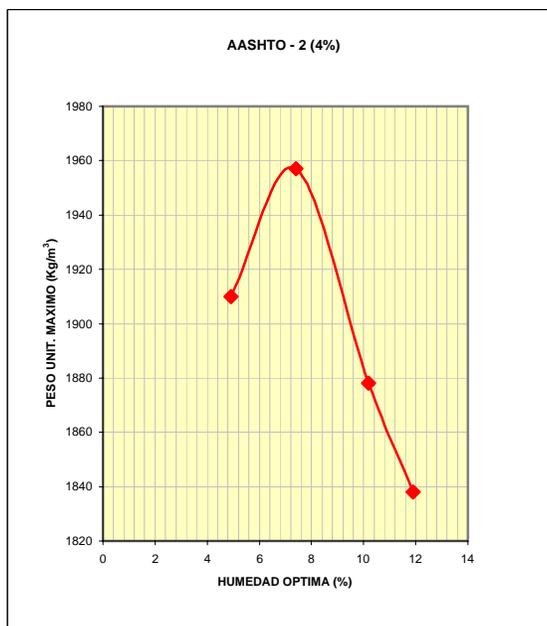
**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ No:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIMA:** 10,20%

**DENSIDAD MAXIMA:** 028Kg/m

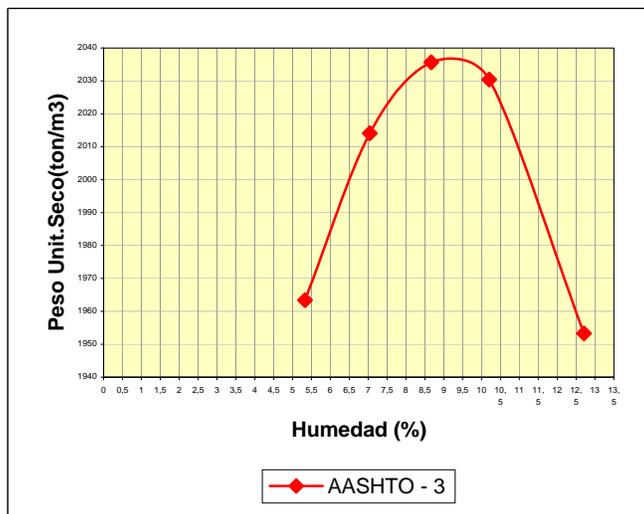




## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO -2 (4%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Humedad adicional (%)	2,30	6,30	8,30	10,30	12,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
Agua adicionada (cc)	114,40	228,80	286,00	343,20	343,20
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3917,00	4000,00	4053,00	4077,00	4043,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	16,80	18,50	19,20	19,20	18,90
Peso del la muestra humeda (gr)	119,60	132,50	117,00	129,40	141,30
Peso de la muestra seca (gr)	114,40	125,00	109,20	119,20	127,50
% Humedad	5,30	7,00	8,70	10,20	12,70
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1963,00	2014,00	2036,00	2030,00	1953,00



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 45,72

**NUMERO DE CAPAS:** 5

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIMA:** 9,20%

**DENSIDAD MAXIMA:** 2037Kg/m<sup>3</sup>

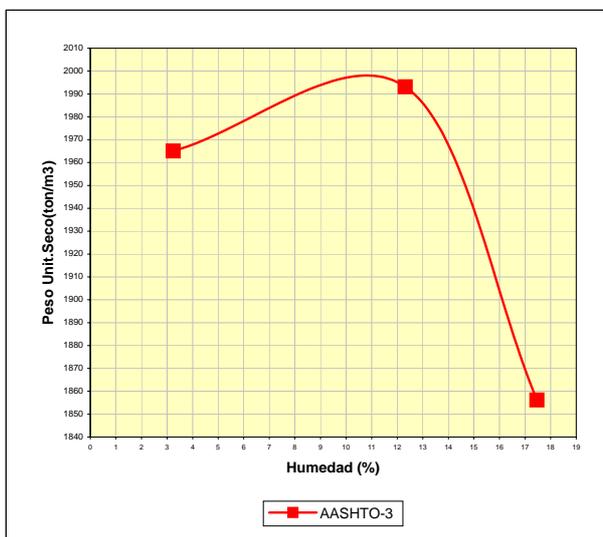
**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 200  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO-3(3%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3
Numero de Golpes	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70
Humedad adicional (%)	4,30	12,30	14,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	82,50	82,50	192,50
Agua adicionada (cc)	169,95	396,55	470,80
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3880,00	4078,00	4023,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	17,80	19,00	18,50
Peso del la muestra humeda (gr)	135,60	140,30	163,80
Peso de la muestra seca (gr)	131,90	127,00	142,20
% Humedad	3,20	12,30	17,50
Dendidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1965,00	1993,00	1856,00



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5 Kg  
**ALTURA DE CAIDA:** 30,5 cm  
**NUMERO DE CAPAS:** 3  
**GOLPES POR CAPA:** 25  
**PASA TAMIZ No:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIMA:** 10,20%  
**DENSIDAD MAXIMA:** 1998Kg/m<sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

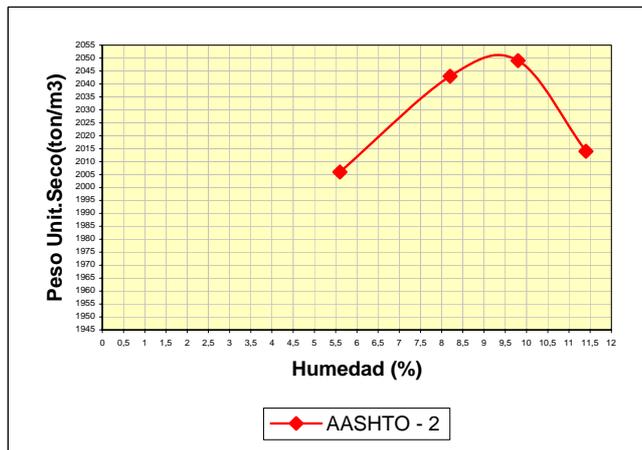
<b>NORMA DEL ENSAYO</b> <b>INVE-806</b>
--



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** FEBRERO 18 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** CANTERA MARTHA ZUÑIGA  
**MATERIAL:** SW  
**LOCALIZACION:** URBANIZACION SANTA ROSALIA  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO -3 (4%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Humedad adicional (%)	4,30	6,30	8,30	10,30	12,30
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
Agua adicionada (cc)	169,95	226,60	283,25	339,90	339,90
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3885,00	3965,00	4051,00	4088,00	4082,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,90	17,90	18,50	17,90	17,90
Peso del la muestra humeda (gr)	133,50	124,60	125,80	130,10	136,50
Peso de la muestra seca (gr)	128,80	118,90	117,70	120,10	124,40
% Humedad	4,30	5,60	8,20	9,80	11,40
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1951,00	2006,00	2043,00	2049,00	2014,00



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 45,72

**NUMERO DE CAPAS:** 5

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

### INFORMACION DEL ENSAYO

**HUMEDAD OPTIMA:** 9,00%

**DENSIDAD MAXIMA:** 2127Kg/m3

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

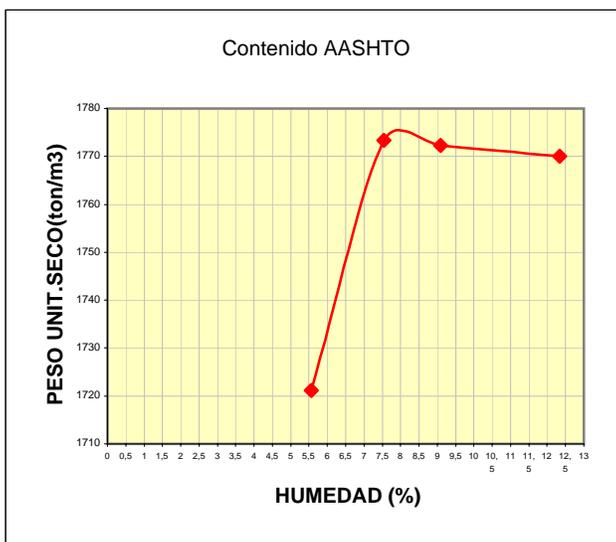
<b>NORMA DEL ENSAYO</b>
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** MARZO 14 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO (6%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4
Numero de Golpes	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,30	1,30	1,30	1,30
Humedad adicional (%)	6,70	8,70	10,70	12,70
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	165,00	165,00	165,00	165,00
Agua adicionada (cc)	174,90	291,50	349,80	408,10
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3680,00	3765,00	3790,00	3842,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,00	19,20	17,90	18,20
Peso del la muestra humeda (gr)	128,10	130,50	133,10	142,00
Peso de la muestra seca (gr)	122,30	122,70	123,50	128,40
% Humedad	5,60	7,50	9,10	12,30
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1721,00	1773,00	1772,00	1770,00



### DATOS ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5 Kg  
**ALTURA DE CAIDA:** 30,5 cm  
**NUMERO DE CAPAS:** 3  
**GOLPES POR CAPA:** 25  
**PASA TAMIZ:** No 4  
**HUMEDAD OPTIMA:** 8,00%  
**DENSIDAD MAXIMA:** 1777Kg/m<sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:**

---

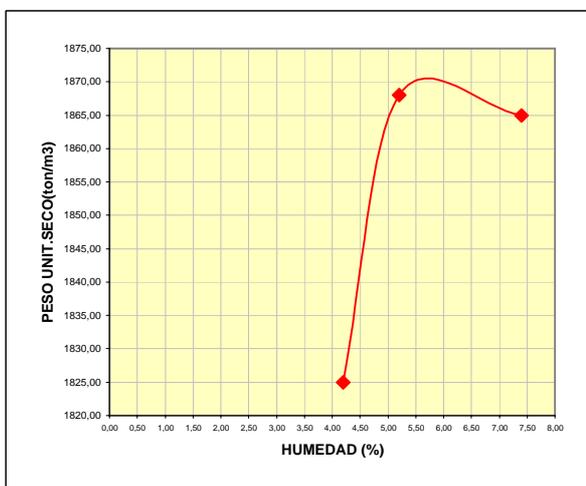
<b>NORMA DEL ENSAYO</b>
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** MARZO 14 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO (6%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3
Numero de Golpes	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,30	1,30	1,30
Humedad adicional (%)	4,70	6,70	8,70
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	165,00	165,00	165,00
Agua adicionada (cc)	174,90	233,20	291,50
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3760,00	3820,00	3855,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,90	17,90	18,50
Peso del la muestra humeda (gr)	128,10	125,40	139,40
Peso de la muestra seca (gr)	123,70	120,10	131,10
% Humedad	4,20	5,20	7,40
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1825,00	1868,00	1865,00



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg  
**ALTURA DE CAIDA:** 45,72  
**NUMERO DE CAPAS:** 5  
**GOLPES POR CAPA:** 25  
**PASA TAMIZ:** No 4  
**HUMEDAD OPTIMA:** 5,70%  
**PASO UNIT. MAXIMO:** 1870,5Kg/r

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

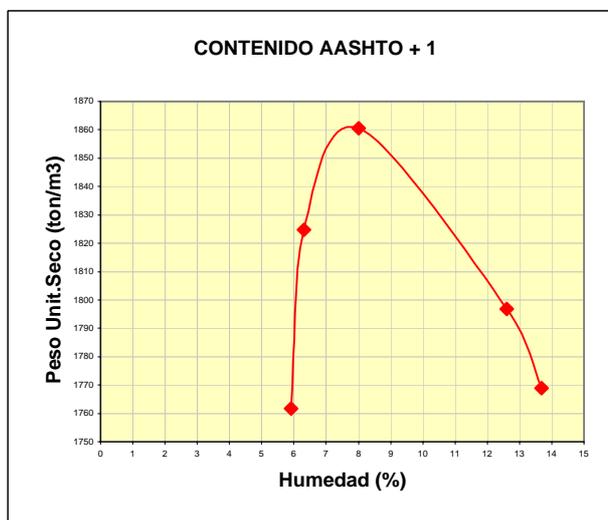
<b>NORMA DEL ENSAYO</b>
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** MARZO 29 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO +1 (7%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Humedad adicional (%)	6,7	8,7	10,7	12,7	14,7
Peso de la muestra (gr)	2750	2750,0	2750,0	2750	2750
Cantidad de cemento a adicionar	192,5	192,5	192,5	192,5	192,5
Agua adicionada (cc)	176,6	294,3	353,1	412,0	470,8
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3726	3796,0	3862,0	3875,0	3863
Peso del molde (grs)	1965	1965,0	1965,0	1965,0	1965
Peso recipiente para muestra humedad	18,5	17,9	18,0	18,4	18,3
Peso del la muestra humeda (gr)	129,7	127,4	123,1	157,7	143,0
Peso de la muestra seca (gr)	123,5	120,90	115,30	142,10	128,00
% Humedad	5,9	6,3	8,0	12,6	13,7
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1762,0	1825,0	1861,0	1797,0	1769,0



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5

**ALTURA DE CAIDA:** 30,5

**NUMERO DE CAPAS:** 3

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

**HUMEDAD OPTIMA:** 7,70%

**DENSIDAD MAXIMA:** 1862Kg/m<sup>3</sup>

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**NORMA DEL ENSAYO**

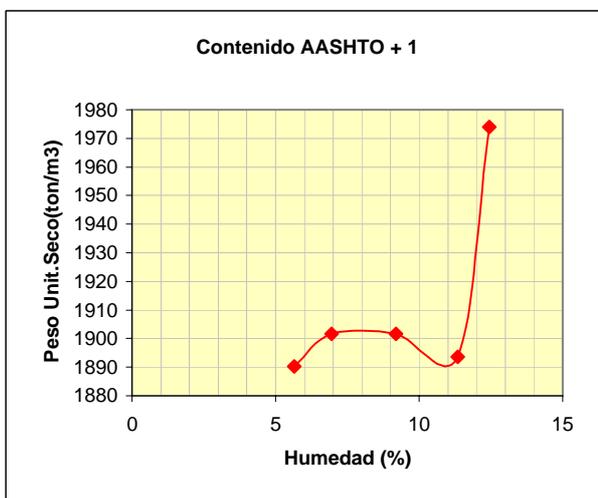
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** MARZO 29 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO+1 (7%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Humedad adicional (%)	6,7	8,7	10,7	12,7	14,7
Peso de la muestra (gr)	2750	2750,0	2750,0	2750	2750
Cantidad de cemento a adicionar	192,5	192,5	192,5	192,5	192,5
Agua adicionada (cc)	176,6	294,3	353,1	412,0	470,8
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3850	3885,0	3925,0	3955,0	4060
Peso del molde (grs)	1965	1965,0	1965,0	1965,0	1965
Peso recipiente para muestra humedad	18,3	18,0	17,9	18,0	18
Peso del la muestra humeda (gr)	132,5	130,2	139,0	147,6	140,9
Peso de la muestra seca (gr)	126,4	122,90	128,80	134,40	127,30
% Humedad	5,6	7,0	9,2	11,3	12,4
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1890,0	1902,0	1902,0	1894,0	1974,0



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5 Kg  
**ALTURA DE CAIDA:** 45,72 cm  
**NUMERO DE CAPAS:** 5  
**GOLPES POR CAPA:** 25  
**PASA TAMIZ:** No 4

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

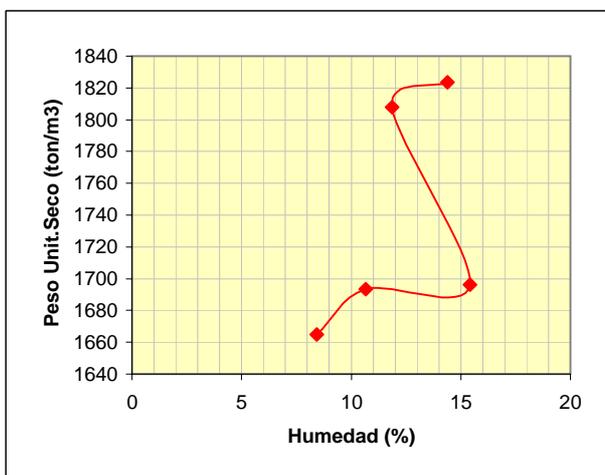
<b>NORMA DEL ENSAYO</b>
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** MARZO 7 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO - 2 (4%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Humedad de la Muestra (%)	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Humedad adicional (%)	6,70	8,70	10,70	12,70	14,70
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
Agua adicionada (cc)	171,60	286,00	343,20	400,40	457,60
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3669,00	3734,00	3813,00	3874,00	3934,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	17,90	18,30	17,70	18,50	19,40
Peso del la muestra humeda (gr)	120,70	115,80	128,50	121,20	128,30
Peso de la muestra seca (gr)	112,70	106,40	113,70	110,30	114,60
% Humedad	8,40	10,70	15,40	11,90	14,40
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1665,00	1693,00	1696,00	1808,00	1824,00



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5  
**ALTURA DE CAIDA:** 30,5  
**NUMERO DE CAPAS:** 3  
**GOLPES POR CAPA:** 25  
**PASA TAMIZ:** No 4

<b>NORMA DEL ENSAYO</b>
I.N.V E-806

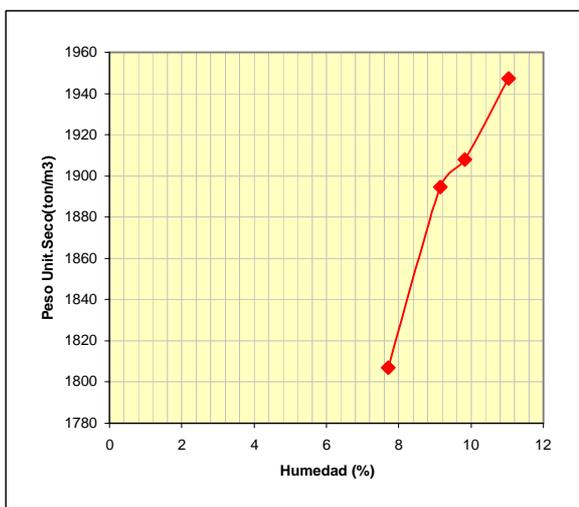
**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

FECHA: ABRIL 7 DE 2005  
 PROCEDENCIA: RIO GAIRA  
 MATERIAL: SW  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA: CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO-2 (4%)  
 TIPO DE ENSAYO: PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4
Numero de Golpes	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,3	1,3	1,3	1,3
Humedad adicional (%)	6,7	8,7	10,7	12,7
Peso de la muestra (gr)	2750	2750,0	2750,0	2750
Cantidad de cemento a adicionar	110	110,0	110	110
Agua adicionada (cc)	171,6	286,0	343,2	400,4
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3802	3917,0	3943,0	4006,0
Peso del molde (grs)	1965	1965,0	1965,0	1965,0
Peso recipiente para muestra humedad	18,0	17,9	18,3	18,5
Peso del la muestra humeda (gr)	124,2	119,2	130,0	130,1
Peso de la muestra seca (gr)	116,6	110,70	120,00	119,00
% Humedad	7,7	9,2	9,8	11,0
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1807,0	1894,0	1908,0	1947,0



### DATOS DEL ENSAYO

PESO MARTILLO : 4,5 Kg

ALTURA DE CAIDA: 45,72

NUMERO DE CAPAS: 5

GOLPES POR CAPA: 25

PASA TAMIZ: No 4

<b>NORMA DEL ENSAYO</b> I.N.V E-806
--

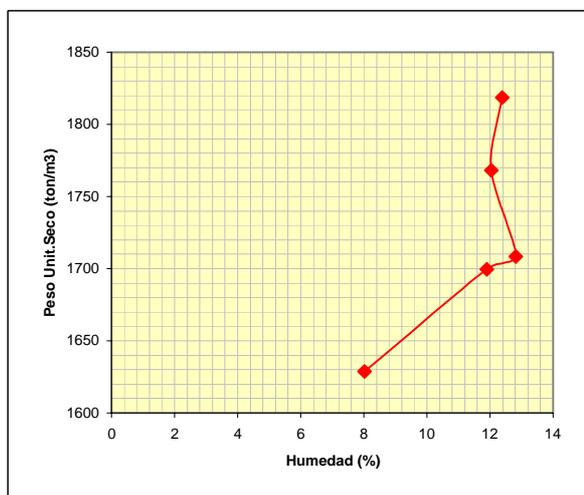
OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR

**FECHA:** ABRIL 15 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO - 3 (3%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR ESTANDAR

PRUEBA No.	1	2	3	4	5
Numero de Golpes	25	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Humedad adicional (%)	6,70	8,70	10,70	12,70	14,70
Peso de la muestra (gr)	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00
Cantidad de cemento a adicionar	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
Agua adicionada (cc)	169,95	283,25	339,90	396,55	453,20
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3626,00	3760,00	3784,00	3835,00	3894,00
Peso del molde (grs)	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00	1965,00
Peso recipiente para muestra humedad	18,10	17,90	18,50	19,30	17,90
Peso del la muestra humeda (gr)	121,70	126,00	135,60	128,20	127,70
Peso de la muestra seca (gr)	114,00	114,50	122,30	116,50	115,60
% Humedad	8,00	11,90	12,80	12,00	12,40
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1629,00	1699,00	1708,00	1768,00	1818,00



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 2,5Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 30,5cm

**NUMERO DE CAPAS:** 3

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

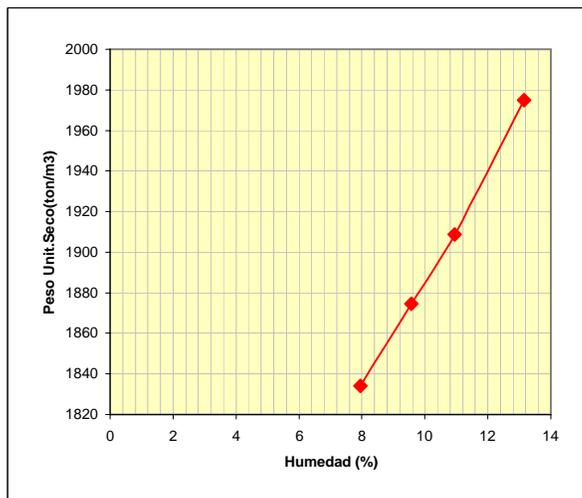
**NORMA DEL ENSAYO**  
I.N.V E-806



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

**FECHA:** ABRIL 7 DE 2005  
**PROCEDENCIA:** RIO GAIRA  
**MATERIAL:** SW  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** CONTENIDO DE CEMENTO AASHTO - 3 (3%)  
**TIPO DE ENSAYO:** PROCTOR MODIFICADO

PRUEBA No.	1	2	3	4
Numero de Golpes	25	25	25	25
Humedad de la Muestra (%)	1,3	1,3	1,3	1,3
Humedad adicional (%)	6,7	8,7	10,7	12,7
Peso de la muestra (gr)	2750	2750,0	2750,0	2750
Cantidad de cemento a adicionar	82,5	82,5	82,5	82,5
Agua adicionada (cc)	170,0	283,3	339,9	396,6
Peso del muestra humeda + molde (grs)	3834	3904,0	3964,0	4074,0
Peso del molde (grs)	1965	1965,0	1965,0	1965,0
Peso recipiente para muestra humedad	18,6	18,2	17,7	18,4
Peso del la muestra humeda (gr)	131,3	124,6	121,1	132,9
Peso de la muestra seca (gr)	123,0	115,30	110,90	119,60
% Humedad	8	9,6	10,9	13,1
Densidad de la muestra seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1834,0	1875,0	1909,0	1975,0



### DATOS DEL ENSAYO

**PESO MARTILLO :** 4,5Kg

**ALTURA DE CAIDA:** 45,72cm

**NUMERO DE CAPAS:** 5

**GOLPES POR CAPA:** 25

**PASA TAMIZ:** No 4

### OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**NORMA DEL ENSAYO**

I.N.V E-806



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ENSAYO DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**  
**PROCTOR ESTANDAR**  
**CONTENIDO AASHTO - 3 (3%)**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
 PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
 LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
 SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 12 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

Peso unitario maximo deseado (Kg/m<sup>3</sup>): 1998  
 Peso unitario maximo Obtenido (Kg/m<sup>3</sup>): 1993  
 Humedad Optima de diseño (%): 10,2  
 W inicial del especimen No 1(gr): 3295  
 W inicial del especimen No 2(gr): 3287  
 Humedad Medida (%): 9,98  
 Diametro Inicial (cm): 10  
 Altura h inicial (cm): 20  
 Volumen inicial (cm<sup>2</sup>): 1571

Fecha salida del la camara humeda y entrada al horno Septiembre 19 2005

<b>ESPECIMEN No. 1</b>						
<b>Ciclo</b>	<b>Etapa</b>	<b>Fecha</b>	<b>Ø(cm)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>V(cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cambio de Volumen (%)</b>
1	salida del horno	Sep. 22 2005	10	20	1570,8	0,012730745
	salida del agua	Sep 22 2005	9,9	19,9	1531,843375	2,492465016
2	salida del horno	Sep 26 2005	9,8	19,8	1493,510357	4,932504341
	salida del agua	Sep 26 2005	9,8	19,9	1501,053338	4,452365474
3	salida del horno	Sep 29 2005	9,9	19,9	1531,843375	2,492465016
	salida del agua	Sep 29 2005	9,8	19,9	1501,053338	4,452365474

<b>ESPECIMEN No. 2</b>					
<b>Ciclo</b>	<b>Etapa</b>	<b>Fecha</b>	<b>W. ant escarific.</b>	<b>Wdesp. escarif.</b>	<b>Perdida Al final del ciclo (%)</b>
1	salida del horno	Sep. 22 2005	3201	2955	10,1003955
2	salida del horno	Sep 26 2005	2967	2910	11,46942501
3	salida del horno	Sep 29 2005	2895	2780	15,42439915



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ENSAYO DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**  
**PROCTOR MODIFICADO**  
**CONTENIDO AASHTO - 3 (3%)**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 12 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

Peso unitario maximo deseado ( $\text{Kg/m}^3$ ): 2037  
Peso unitario maximo Obtenido ( $\text{Kg/m}^3$ ): 2015  
Humedad Optima de diseño (%): 9,2  
W inicial del especimen No 1(gr): 3425  
W inicial del especimen No 2(gr): 3432  
Humedad Medida (%): 9,15  
Diametro Inicial (cm): 10  
Altura h inicial (cm): 20  
Volumen inicial ( $\text{cm}^2$ ): 1571  
Fecha salida del la camara humeda y entrada al horno: Septiembre 19 2005

<b>ESPECIMEN No. 1</b>						
Ciclo	Etapas	Fecha	$\phi$ (cm)	h(cm)	V( $\text{cm}^3$ )	Cambio de Volumen (%)
1	salida del horno	Sep. 22 2005	9,8	20	1508,59632	3,972226607
	salida del agua	Sep 22 2005	10	20	1570,8	0,012730745
2	salida del horno	Sep 26 2005	9,9	19,8	1524,145669	2,982452629
	salida del agua	Sep 26 2005	10	20	1570,8	0,012730745
3	salida del horno	Sep 29 2005	9,8	19,9	1501,053338	4,452365474
	salida del agua	Sep 29 2005	9,9	20	1539,54108	2,002477403

<b>ESPECIMEN No. 2</b>					
Ciclo	Etapas	Fecha	W ant escarfic.	W desp. Escarif.	Perdida Al final del ciclo (%)
1	salida del horno	Sep. 22 2005	3243	3200	6,75990676
2	salida del horno	Sep 26 2005	3160	3110	14,91108071
3	salida del horno	Sep 29 2005	3115	3087	15,54035568



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ENSAYO DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**

**COMPACTACIÓN POR VIBRADO**  
**CONTENIDO AASHTO - 3 (3%)**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Octubre 14 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

Peso unitario maximo deseado (Kg/m<sup>3</sup>): 2037

Peso unitario maximo Obtenido (Kg/m<sup>3</sup>): 2025

Humedad Optima de diseño (%): 9,2

W inicial del especimen No 1(gr): 3615

W inicial del especimen No 2(gr): 3655

Humedad Medida (%): 9,15

Diametro Inicial (cm): 10

Altura h inicial (cm): 20

Volumen inicial (cm<sup>2</sup>): 1571

Fecha salida del la camara humeda y entrada al horno: Octubre 21 2005

<b>ESPECIMEN No. 1</b>						
<b>Ciclo</b>	<b>Etapas</b>	<b>Fecha</b>	<b>Ø(cm)</b>	<b>h(cm)</b>	<b>V(cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cambio de Volumen (%)</b>
1	salida del horno	Oct.24 2005	9,8	20	1508,59632	3,972226607
	salida del agua	Oct.24 2005	10	20	1570,8	0,012730745
2	salida del horno	Oct.27 2005	9,9	19,8	1524,145669	2,982452629
	salida del agua	Oct. 27 2005	10	20	1570,8	0,012730745
3	salida del horno	Oct. 31 2005	9,8	19,9	1501,053338	4,452365474
	salida del agua	Oct. 31 2005	9,9	20	1539,54108	2,002477403
4	salida del horno	Nov. 3 2005	9,8	19,8	1493,510357	4,932504341
	salida del agua	Nov. 3 2005	9,9	20	1539,54108	2,002477403
5	salida del horno	Nov. 8 2005	9,8	19,8	1493,510357	4,932504341
	salida del agua	Nov. 8 2005	9,85	20	1524,02943	2,989851687

<b>ESPECIMEN No. 2</b>					
<b>Ciclo</b>	<b>Etapas</b>	<b>Fecha</b>	<b>W ant escarfic.</b>	<b>W desp. Escarif.</b>	<b>Perdida Al final del ciclo (%)</b>
1	salida del horno	Oct.24 2005	3442	3380	7,523939808
2	salida del horno	Oct.27 2005	3395	3290	9,986320109
3	salida del horno	Oct. 31 2005	3298	3215	12,03830369
4	salida del horno	Nov. 3 2005	3225	3155	13,67989056
5	salida del horno	Nov. 8 2005	3160	3089	15,48563611



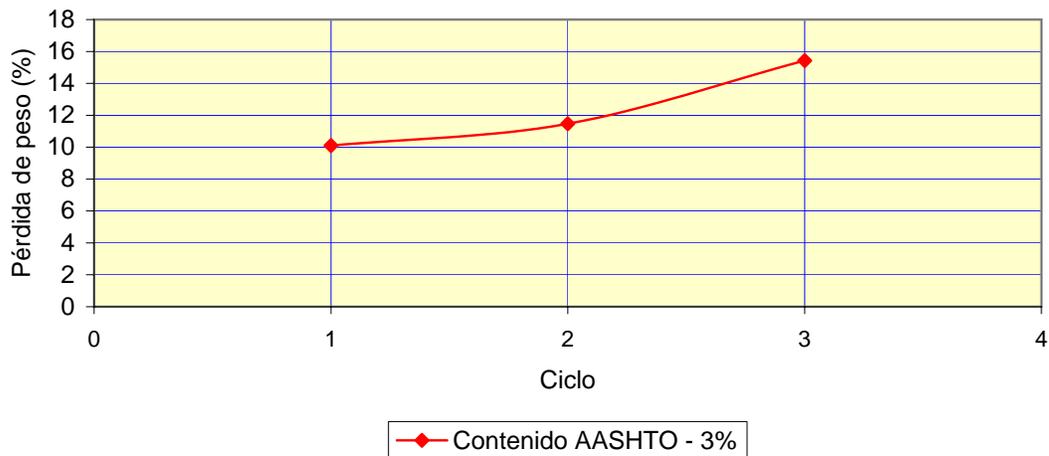
**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía  
FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía  
CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO - 3%): 3%  
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN: Próctor Estándar

Pérdidas de peso del Especimen de Suelo - Cemento





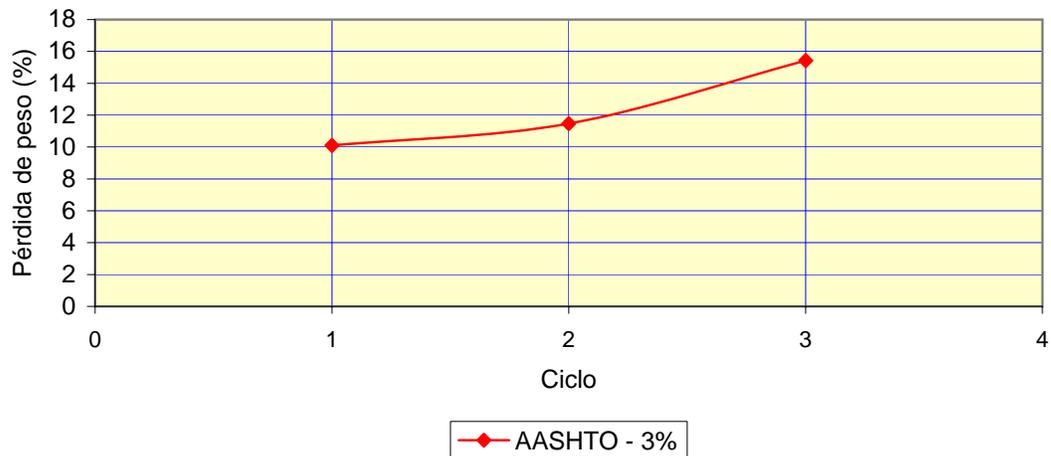
**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía  
FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía  
CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO - 3%): 3%  
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN: Próctor Modificado

Pérdidas de Peso del Especimen de Suelo - Cemento





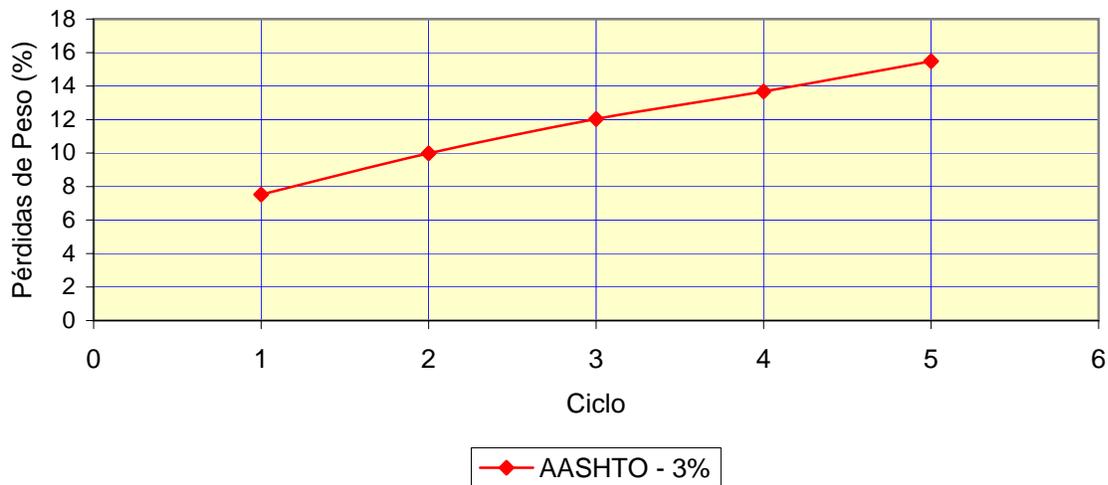
**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía  
FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía  
CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO - 3%): 3%  
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN: Vibrocompactación

Pérdidas de Peso del Especimen de Suelo - Cemento





**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO**

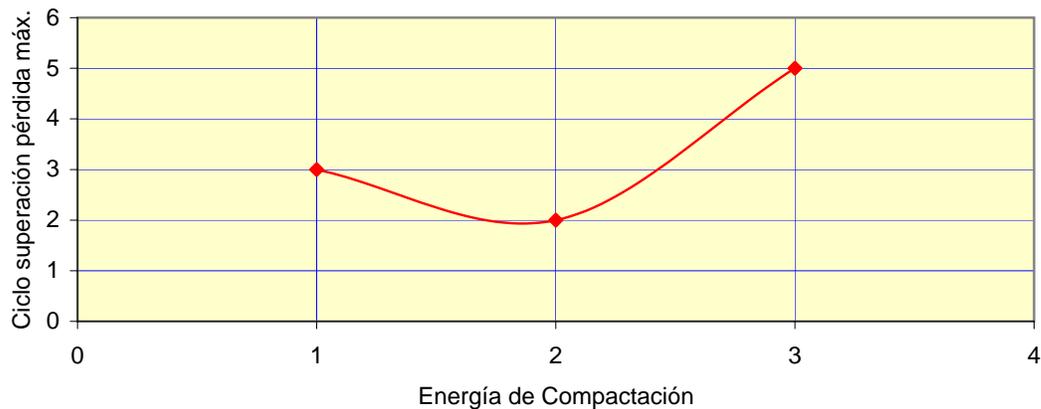
PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía  
 FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía  
 CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO - 3%): 3%

<i>Convenciones</i>	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

Energía	Ciclo en que superó la pérdida máx. especificada de peso
1	3
2	2
3	5

Curva de Comparación Ensayo Durabilidad





**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 6 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO - 3%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor estándar	próctor estándar	próctor estándar
Diámetro del espécimen (mm)	100	100	100
Altura del espécimen (mm)	198	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3142,30	3142,30	3142,30
Wcemento (gr)	97,20	97,20	97,20
Vagua (cm <sup>3</sup> )	340,40	340,40	340,40
Wrecipiente (gr)	18,40	18,60	18,40
Wrec. + muestra seca (gr)	109,20	110,10	109,80
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,40	118,60	118,40
Humedad deseada (%)	10,20	10,20	10,20
Humedad obtenida (%)	10,13	9,29	9,41
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,66	7,66	7,66
Wespecimen (kg)	3,33	3,33	3,33
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	1998,00	1998,00	1998,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	1985,00	1977,00	1980,00
Resistencia del espécimen (KN)	6,70	6,50	6,50
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	0,85	0,83	0,83
Resistencia requerida (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	No Cumple	No Cumple	No Cumple



FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO  
PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A  
LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y  
SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 6 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO - 3%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor modificado	próctor modificado	próctor modificado
Diámetro del espécimen (mm)	100	100	100
Altura del espécimen (mm)	199	199	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3201,00	3201,00	3201,00
Wcemento (gr)	99,00	99,00	99,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	312,70	312,70	312,70
Wrecipiente (gr)	18,40	18,40	18,40
Wrec. + muestra seca (gr)	110,30	110,50	110,80
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,40	118,40	118,40
Humedad deseada (%)	9,20	9,20	9,20
Humedad obtenida (%)	8,81	8,58	8,23
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,90	7,89	7,89
Wespecimen (kg)	3,57	3,57	3,56
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2037,00	2037,00	2037,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2025,00	2013,00	2011,00
Resistencia del espécimen (KN)	11,7	11,8	10,6
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	1,49	1,50	1,35
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	No Cumple	No Cumple	No Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 9 de 2006

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO - 3%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	vibrado	vibrado	vibrado
Diámetro del espécimen (mm)	100	100	100
Altura del espécimen (mm)	200	200	198
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3201,00	3201,00	3201,00
Wcemento (gr)	99,00	99,00	99,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	312,70	312,70	312,70
Wrecipiente (gr)	105,40	106,30	105,30
Wrec. + muestra seca (gr)	196,90	197,70	197,50
Wrec. + muestra húmeda (gr)	205,40	206,30	205,30
Humedad deseada (%)	9,20	9,20	9,20
Humedad obtenida (%)	9,29	9,41	8,46
Wmolde de compactación (kg)	2,60	2,60	2,60
Wmuestra + molde (kg)	5,91	5,93	5,91
Wespecimen (kg)	3,31	3,33	3,32
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2037,00	2037,00	2037,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2012,00	2018,00	2004,00
Resistencia del espécimen (KN)	11,90	12,10	11,50
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	1,52	1,54	1,46
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	No Cumple	No Cumple	No Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 23 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO - 2%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor estándar	próctor estándar	próctor estándar
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	198	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3142,30	3142,30	3142,30
Wcemento (gr)	97,20	97,20	97,20
Vagua (cm <sup>3</sup> )	340,40	340,40	340,40
Wrecipiente (gr)	18,40	18,60	18,40
Wrec. + muestra seca (gr)	109,20	110,10	109,80
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,40	118,60	118,40
Humedad deseada (%)	10,20	10,20	10,20
Humedad obtenida (%)	10,13	9,29	9,41
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,66	7,66	7,66
Wespecimen (kg)	3,33	3,33	3,33
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	1998,00	1998,00	1998,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	1985,00	1977,00	1980,00
Resistencia del especimen (KN)	7,20	7,90	8,00
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	0,92	1,01	1,02
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	No Cumple	No Cumple	No Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 22 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO - 2%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor modificado	próctor modificado	próctor modificado
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	200	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3322,00	3322,00	3322,00
Wcemento (gr)	133,00	133,00	133,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	311,00	311,00	311,00
Wrecipiente (gr)	18,10	18,20	18,50
Wrec. + muestra seca (gr)	109,30	109,20	109,50
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,10	118,20	118,50
Humedad deseada (%)	9,30	9,30	9,30
Humedad obtenida (%)	9,65	9,89	9,89
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,90	7,89	7,89
Wespecimen (kg)	3,57	3,57	3,56
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2051,00	2051,00	2051,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2042,00	2053,00	2037,00
Resistencia del especimen (KN)	14,7	15,8	14,9
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	1,87	2,01	1,90
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	No Cumple	Cumple	Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 9 de 2006

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO - 2%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	vibrado	vibrado	vibrado
Diámetro del espécimen (mm)	100	100	100
Altura del espécimen (mm)	200	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3322,00	3322,00	3322,00
Wcemento (gr)	133,00	133,00	133,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	311,00	311,00	311,00
Wrecipiente (gr)	103,90	101,80	103,00
Wrec. + muestra seca (gr)	195,10	193,10	194,10
Wrec. + muestra húmeda (gr)	203,90	201,80	203,00
Humedad deseada (%)	9,30	9,30	9,30
Humedad obtenida (%)	9,65	9,53	9,77
Wmolde de compactación (kg)	2,60	2,60	2,60
Wmuestra + molde (kg)	5,98	5,97	5,98
Wespecimen (kg)	3,38	3,37	3,38
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2051,00	2051,00	2051,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2040,00	2049,00	2033,00
Resistencia del espécimen (KN)	15,3	15,5	15
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	1,95	1,97	1,91
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 30 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor estándar	próctor estándar	próctor estándar
Diámetro del espécimen (mm)	100	100	100
Altura del espécimen (mm)	199	198	198
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3191,00	3191,00	3191,00
Wcemento (gr)	186,00	186,00	186,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	341,00	341,00	341,00
Wrecipiente (gr)	18,50	19,10	19,30
Wrec. + muestra seca (gr)	109,20	109,40	110,20
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,50	119,10	119,30
Humedad deseada (%)	10,20	10,20	10,20
Humedad obtenida (%)	10,25	10,74	10,01
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,81	7,81	7,75
Wespecimen (kg)	3,48	3,48	3,42
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	1969,00	1969,00	1969,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	1975,00	1972,00	1962,00
Resistencia del espécimen (KN)	15,5	15	14,3
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	1,97	1,91	1,82
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	No Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Septiembre 30 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor modificado	próctor modificado	próctor modificado
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	200	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3361,00	3361,00	3361,00
Wcemento (gr)	196,00	196,00	196,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	345,00	345,00	345,00
Wrecipiente (gr)	18,50	19,10	19,30
Wrec. + muestra seca (gr)	109,20	109,40	110,20
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,50	119,10	119,30
Humedad deseada (%)	9,30	9,30	9,30
Humedad obtenida (%)	10,25	10,74	10,01
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,81	7,81	7,75
Wespecimen (kg)	3,48	3,48	3,42
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2077,00	2077,00	2077,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2072,00	2051,00	2080,00
Resistencia del especimen (KN)	15,9	15,7	16
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	2,02	2,00	2,04
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 9 de 2006

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	vibrado	vibrado	vibrado
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	200	199	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3361,00	3361,00	3361,00
Wcemento (gr)	196,00	196,00	196,00
Vagua (cm <sup>3</sup> )	345,00	345,00	345,00
Wrecipiente (gr)	104,70	102,50	103,00
Wrec. + muestra seca (gr)	196,00	193,70	194,80
Wrec. + muestra húmeda (gr)	203,90	201,80	203,00
Humedad deseada (%)	9,30	9,30	9,30
Humedad obtenida (%)	8,65	8,88	8,93
Wmolde de compactación (kg)	2,60	2,60	2,60
Wmuestra + molde (kg)	6,15	6,16	6,16
Wespecimen (kg)	3,55	3,56	3,56
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2051,00	2051,00	2051,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2030,00	2038,00	2054,00
Resistencia del especimen (KN)	15,8	15,4	15
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	2,01	1,96	1,91
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Octubre 10 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO + 1%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor estándar	próctor estándar	próctor estándar
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	200	200	198
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	3185,57	3185,57	3185,57
Wcemento (gr)	222,99	222,99	222,99
Vagua (cm <sup>3</sup> )	347,67	347,67	347,67
Wrecipiente (gr)	18,30	19,10	19,30
Wrec. + muestra seca (gr)	109,50	109,70	109,80
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,30	119,10	119,30
Humedad deseada (%)	10,20	10,20	10,20
Humedad obtenida (%)	9,65	10,38	10,50
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,70	7,54	7,30
Wespecimen (kg)	3,37	3,21	2,97
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2028,00	2028,00	2028,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	1992,00	2010,00	1991,00
Resistencia del especimen (KN)	14,8	15,1	14,8
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	1,88	1,92	1,88
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Octubre 10 de 2005

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO + 1%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	próctor modificado	próctor modificado	próctor modificado
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	199	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	4387,00	4387,00	4387,00
Wcemento (gr)	307,10	307,10	307,10
Vagua (cm <sup>3</sup> )	455,35	455,35	455,35
Wrecipiente (gr)	18,30	18,00	18,30
Wrec. + muestra seca (gr)	109,50	109,60	109,40
Wrec. + muestra húmeda (gr)	118,30	118,00	118,30
Humedad deseada (%)	9,70	9,70	9,70
Humedad obtenida (%)	9,65	9,17	9,77
Wmolde de compactación (kg)	4,33	4,33	4,33
Wmuestra + molde (kg)	7,84	7,79	7,96
Wespecimen (kg)	3,51	3,46	3,63
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2793,00	2793,00	2793,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2781,00	2770,00	2784,00
Resistencia del especimen (KN)	16,2	16,1	16,2
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	2,06	2,05	2,06
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	Cumple



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN INCONFINADA INV E 809**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urbanización Santa Rosalía

FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO: Febrero 9 de 2006

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

DESCRIPCIÓN: Material de escarpe

DOSIFICACIÓN EVALUADA: AASHTO + 1%

Especimen	1	2	3
Energía de compactación	vibrado	vibrado	vibrado
Diámetro del especimen (mm)	100	100	100
Altura del especimen (mm)	200	200	200
Área de la sec. Transversal (mm <sup>2</sup> )	7853,98	7853,98	7853,98
Wmaterial sin cemento (gr)	4387,00	4387,00	4387,00
Wcemento (gr)	307,10	307,10	307,10
Vagua (cm <sup>3</sup> )	455,35	455,35	455,35
Wrecipiente (gr)	105,80	105,40	104,70
Wrec. + muestra seca (gr)	197,00	196,80	196,20
Wrec. + muestra húmeda (gr)	205,80	205,40	204,70
Humedad deseada (%)	9,70	9,70	9,70
Humedad obtenida (%)	9,65	9,41	9,29
Wmolde de compactación (kg)	2,60	2,60	2,60
Wmuestra + molde (kg)	6,18	6,30	6,25
Wespecimen (kg)	3,58	3,70	3,65
Peso unitario deseado (kg/m <sup>3</sup> )	2782,00	2782,00	2782,00
Peso unitario obtenido (kg/m <sup>3</sup> )	2791,00	2777,00	2783,00
Resistencia del especimen (KN)	15,8	15,2	15,7
Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )	2,01	1,94	2,00
Resistencia especificada (N/mm <sup>2</sup> )	2	2	2
	Cumple	Cumple	Cumple



UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

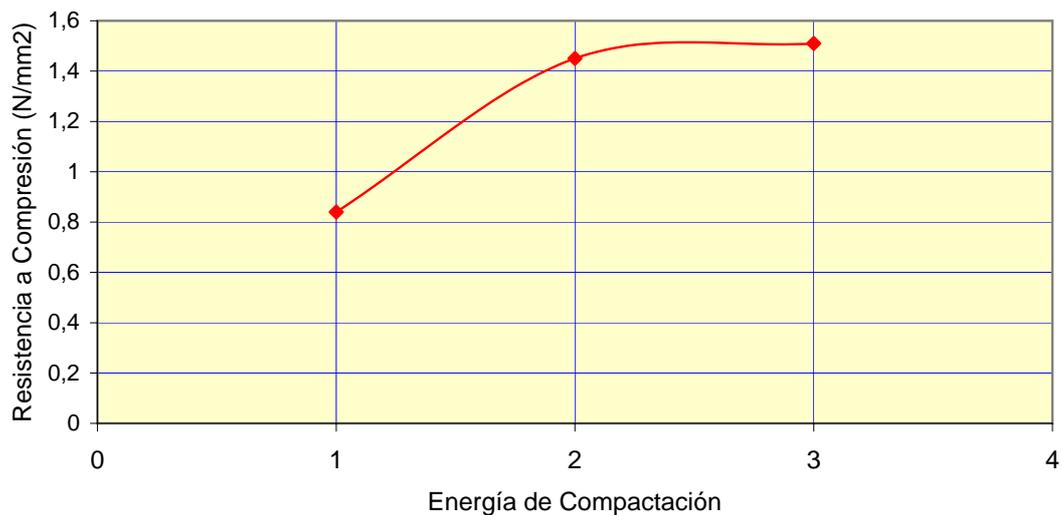
LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO - 3%): 3%

Convenciones	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

Energía de Compactación	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
1	0,84
2	1,45
3	1,51





UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

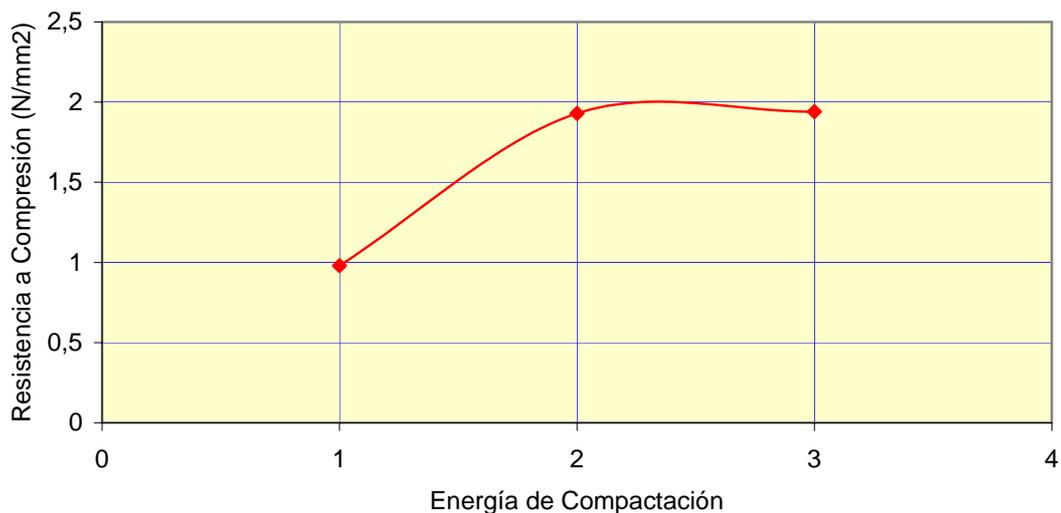
LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO - 2%): 4%

Convenciones	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

Energía de Compactación	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
1	0,98
2	1,93
3	1,94





UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

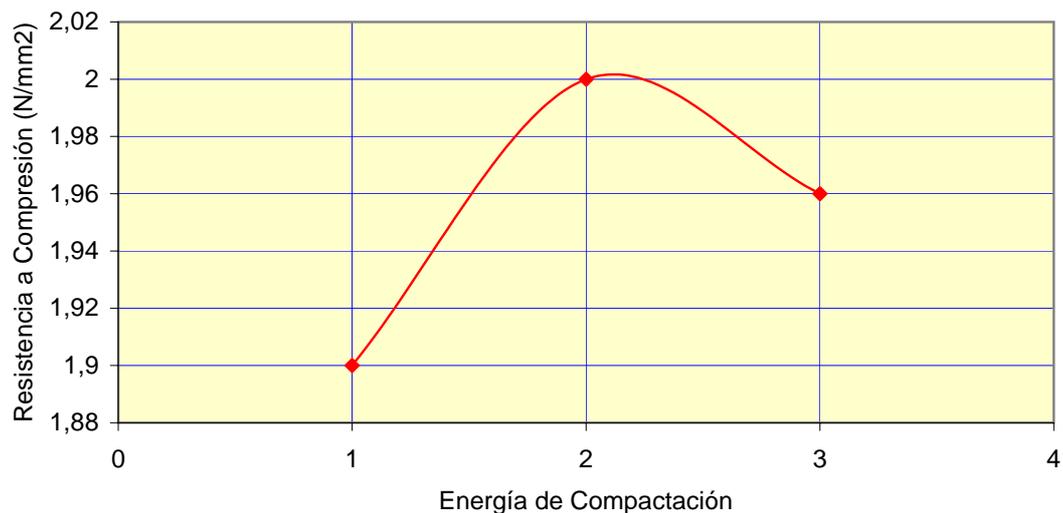
LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO): 6%

Convenciones	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

Energía de Compactación	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
1	1,90
2	2,00
3	1,96





UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

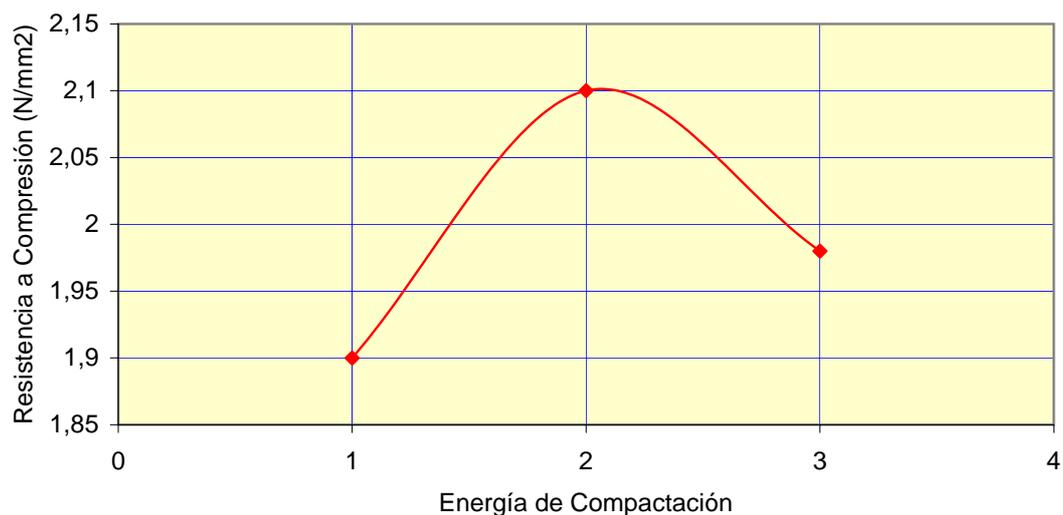
LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

CONTENIDO DE CEMENTO (AASHTO +1 ): 7%

Convenciones	
1	Energía Próctor Estándar
2	Energía Próctor Modificado
3	Vibrocompactación

Energía de Compactación	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
1	1,90
2	2,10
3	1,98





UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

ENERGIA DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR

Contenido de Cemento	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
3	0,84
4	0,98
6	1,90
7	1,90





UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS  
LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

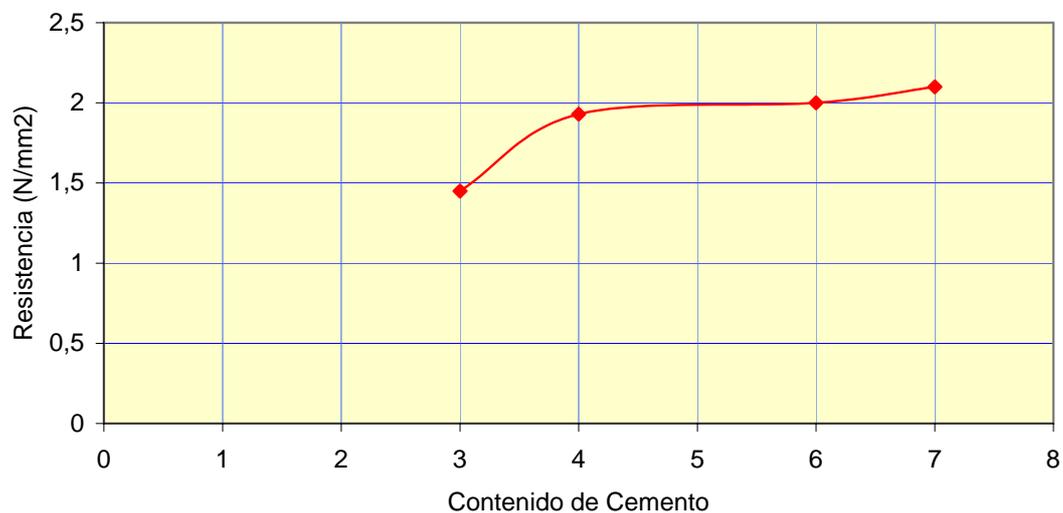
PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

ENERGIA DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO

Contenido de Cemento	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
3	1,45
4	1,93
6	2,00
7	2,10





**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ÁREA DE GEOTECNIA Y PAVIMENTOS**  
**LABORATORIO INTEGRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CURVAS COMPARATIVAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

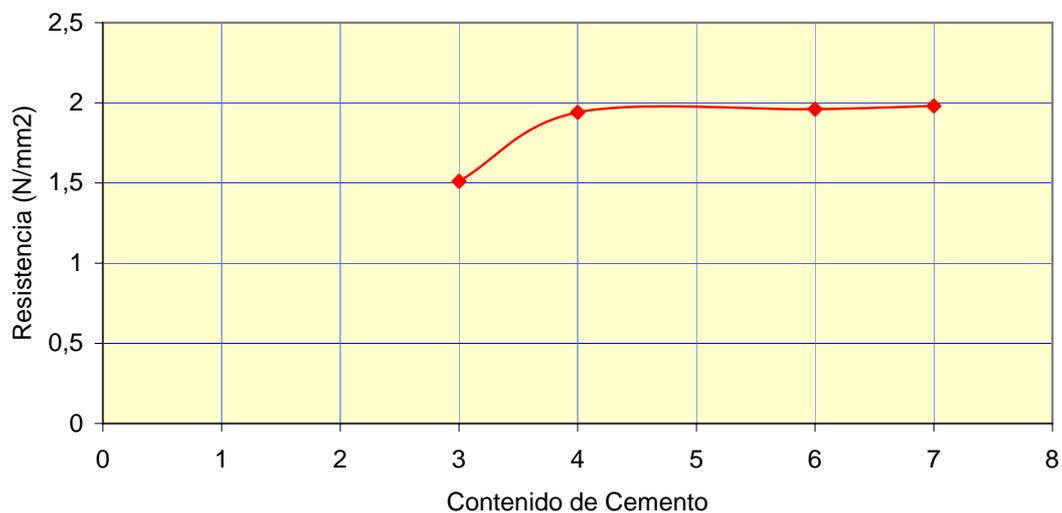
PROYECTO: ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PÓRTLAND, EMPLEANDO COMO FUENTES LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB. SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

LOCALIZACIÓN: Urb. Santa Rosalía

FUENTE: Cortes Urb. Santa Rosalía

ENERGIA DE COMPACTACION VIBROCOMPACTACIÓN

Contenido de Cemento	Resistencia a Compresión Inconfinada (N/mm <sup>2</sup> )
3	1,51
4	1,94
6	1,96
7	1,98





**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---

# **ANEXO B REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



*Foto 1. Máquina Vibratoria Vebe Test, empleada para compactar las probetas por vibrado.*

*Foto 2. Martillos de compactación Próctor Estándar, Próctor Modificado y molde de compactación.*





**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



Foto 3. Máquina de Compresión Inconfinada.



Foto 4. Horno.



Foto 5. Balanza Mecánica.



Foto 6. Balanza Digital.



Foto 7. Material Martha Zúñiga.



Foto 8. Material Río Gaira.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROSALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



Foto 9. Adición de agua a la mezcla de suelo-cemento.



Foto 10. Mezcla del suelo, cemento y agua.



Foto 11. Muestra compacta con próctor modificado.



Foto 12. Muestra para toma de humedad óptima secada al después de 24 horas.



**ESTUDIO DE DOSIFICACIÓN EN MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO PORTLAND,  
EMPLEANDO LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LOS CERROS ALEDAÑOS A LA URB.  
SANTA ROSALÍA Y EL RÍO GAIRA, PARA CONFORMAR BASES Y SUBBASES DE  
PAVIMENTOS**

---

---



Foto 13. Especímen para ensayo de durabilidad recién compactado.



Foto 14. Especímen durante ensayos de durabilidad.



Foto 15. Especímenes durante ensayo de durabilidad.



Foto 16. Especímenes protegidos contra pérdida de humedad en cuarto húmedo.