
**EFFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCIÓN DE FRAGUADO
EN BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO.**

**MAIFER DIAZ ROJAS
NEYER BAREÑO LEON**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

**EFFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCIÓN DE FRAGUADO
EN BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO.**

**MAIFER DIAZ ROJAS
NEYER BAREÑO LEON**

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor, que nos ha dado la vida y la salud necesaria para realizar este proyecto.

A nuestros padres, por el apoyo a lo largo de todos estos años en nuestra formación como profesionales.

A nuestros compañeros y amigos por brindarnos momentos de alegría y compromiso en la universidad y fuera de ella.

Al Ing. **EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON**, por su dirección, coordinación, colaboración e interés en el desarrollo de este proyecto y por sus orientaciones y sus consejos para nuestro crecimiento y desarrollo profesional.

A los laboratorista Germán, Jaime y Jairo por sus orientaciones y su entera disposición de colaboración.

A la Escuela de Ingeniería Civil de la **Universidad Industrial de Santander**, por formar ingenieros preocupados por el ámbito social, motivo para fortalecer los lazos con la comunidad que es el motor fundamental de la sociedad.

CONTENIDO

	Pág
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Bases estabilizadas con cemento	3
3.1.1. Definición	3
3.1.2. Estructura del suelo cemento	3
3.1.3. Ventajas y limitaciones	5
3.1.4. Normatividad para suelo-cemento	8
3.1.4.1. Normativa nacional	8
3.1.4.2. Normativa internacional	11
4. RETRACCIÓN	14
4.1. Definición	14
4.2. Tipos de retracción	14
4.2.1. Retracción capilar	15
4.2.2. Retracción química	16
4.2.3. Retracción de secado	17
4.3. Factores que influyen sobre la retracción	18
4.3.1. Factores relacionados con la dosificación de la mezcla	18

4.3.2.	Factores relacionados con el ambiente	22
4.3.3.	Factores relacionados con el método de ejecución	22
4.4.	Modelo de cálculo de la retracción	24
4.4.1.	Modelo de cálculo de retracción según el ACI 209R-92	24
4.4.1.1.	ACI 209R-92	25
5.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
6.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN.	31
6.1.	Selección de la materia prima	31
6.1.1.	Suelo para base granular	31
6.1.2.	Ligante bituminoso	31
6.2.	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA BASES GRANULARES	31
6.2.1.	Ensayo de análisis granulométrico	32
6.2.2.	Ensayo de límites líquidos y plásticos	35
6.2.3.	Ensayo de abrasión de agregados en la máquina de los ángeles	35
6.2.4.	Ensayo de índices de aplanamiento y alargamiento	37
6.2.5.	Ensayo de caras fracturadas	38
6.2.6.	Ensayo de compactación.	38
6.3.	Preparación de probetas	41
6.3.1.	Procedimiento de la preparación de la mezcla	42
6.4.	Análisis de retracción	46
6.4.1.	Recolección de datos de la retracción	46

6.4.2. Retracción de fraguado utilizando el modelo ACI 209R-92	48
6.5. Resultado de la retracción	49
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ensayo de Análisis Granulométrico	60
Anexo B. Ensayo de límites Líquido y plástico.....	61
Anexo C. Ensayo de Abrasión de agregados.....	62
Anexo D. Ensayo de Índices de aplanamiento y alargamiento.....	63
Anexo E. Ensayo de Caras Fracturadas.....	64
Anexo F.1. Ensayo de Compactación con 3% cemento.....	65
Anexo F.2. Ensayo de Compactación con 4% cemento.....	66
Anexo F.3. Ensayo de Compactación con 5% cemento.....	67
Anexo F.4. Ensayo de Compactación con 3% cemento+5% Bitumen.....	68
Anexo F.5. Ensayo de Compactación con 4% cemento+5% Bitumen.....	69
Anexo F.6. Ensayo de Compactación con 5% cemento+5% Bitumen.....	70
Anexo G. Retracción experimental.....	71
Anexo H. Retracción Modelo ACI 209R-92.....	77

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Perdida máxima de peso en la mezcla	11
Tabla 2. Requerimientos de cemento para varios tipos de suelos.	12
Tabla 3. Factor corrector para el curado inicial (Tabla 2.5.3 del ACI 209)	26
Tabla 4. Factor corrector para la humedad relativa (Tabla 2.5.4 del ACI209).	27
Tabla 5. Factor corrector para la relación volumen/superficie. (Tabla 2.5.5.2 de la ACI 209)	28
Tabla 6. Factor corrector para el contenido de cemento	29
Tabla 7. Tipos de suelos. Clasificación AASHTO	34
Tabla 8. Carga Abrasiva	36
Tabla 9. Dosificación de materiales	42

LISTA DE FIGURAS

	Pág
FIGURA 1. Estructura del suelo-cemento y hormigón	5
FIGURA 2. La retracción plástica en pastas, morteros y hormigones (Neville, 1995)	15
FIGURA 3. Relación entre la pérdida de humedad y la retracción en pastas de cemento (Mindess y Young, 1981)	17
FIGURA 4. Influencia de la cantidad de áridos de diferentes naturalezas sobre la retracción (Delibes, 1993).	19
FIGURA 5. Influencia de la relación agua/cemento y el contenido de árido sobre la retracción del hormigón.	21
FIGURA 6. Relación entre el contenido de agua, contenido de cemento y relación agua/cemento con la retracción de hormigón curado en humedad durante 28 días y secado a 450 días (Neville, 1995).	21
FIGURA 7. Efecto de la relación volumen/superficie sobre la retracción última del hormigón.	23
FIGURA 8. Material de base granular	32
FIGURA 9. Tamices utilizados para el ensayo de granulometría	33
FIGURA 10. Equipos utilizados para el ensayo de resistencia al desgaste	36
FIGURA 11. Equipos utilizados para el ensayo de índices de aplanamiento y alargamiento.	37
FIGURA 12. Clasificación de material con caras fracturadas	38
FIGURA 13. Procedimiento y equipos utilizados para el ensayo de compactación.	39

FIGURA 14. Preparación de la mezcla 1.	42
FIGURA 15. Preparación de la mezcla 2.	43
FIGURA 16. Especificaciones del molde de probetas.	44
FIGURA 17. Características de la probeta	44
FIGURA 18. Montaje para la medición de las probetas	46
FIGURA 19. Características de retracción de fraguado mezcla 1	47
FIGURA 20. Características de retracción de fraguado mezcla 2.	47
FIGURA 21. Retracción de suelo estabilizado con 3% de cemento	49
FIGURA 22. Retracción de suelo estabilizado con 3% de cemento+5% de Bitumen.	49
FIGURA 23. Modelo ACI 209R-92 3% Cemento.	50
FIGURA 24. Modelo ACI 209R-92 10000 días.	51
FIGURA 25. Retracción de suelo estabilizado con 5% de cemento	52
FIGURA 26. Retracción de suelo estabilizado con 5% de cemento+5% de Bitumen.	52
FIGURA 27. Modelo ACI 209R-92 5% cemento.	53
FIGURA 28. Modelo ACI 209R-92 10000 días.	54
FIGURA 29. Retracción de suelo estabilizado con 7% de cemento	55
FIGURA 30. Retracción de suelo estabilizado con 7% de cemento+5% de Bitumen.	55
FIGURA 31. Modelo ACI 209R-92 7% Cemento	56
FIGURA 32. Modelo ACI 209R-92 Hasta 10000 días	56

RESUMEN

TÍTULO: EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE GRANURAL ESTABILIZADA CON CEMENTO*

AUTORES: Bareño León, Neyer, Díaz Rojas Maifer. **

PALABRAS CLAVES: Bases estabilizadas con cemento, Ligante bituminoso, Retracción de fraguado.

DESCRIPCIÓN

Actualmente las técnicas que se utilizan en la estabilización de suelo están bastante adelantadas en muchos países, La estabilización de suelo con cemento portland, es la más ampliamente usada en el mundo. Es muy sencilla de hacer y no se necesita equipo especial de construcción, en nuestro país el uso del cemento es uno de los principales materiales que se utiliza al estabilizar bases granulares para la construcción de vías terrestres.

Una de las más importantes limitaciones que tiene el suelo cemento es su retracción, un fenómeno físico que limita la eficacia del empleo de este material en algunas aplicaciones donde la retracción tiene efectos Inadmisibles. Es por esta razón que se hace necesario confirmar que con la adición de un liante bituminoso al suelo cemento la retracción disminuye en porcentajes considerables.

La presente investigación recopila información y resultados producto de ensayos y pruebas en laboratorio, analizando el comportamiento en la retracción de una base estabilizada con cemento, antes y después de adicionarle el ligante bituminoso, confirmando el beneficio que proporciona este material al disminuir la retracción en porcentajes considerables; para lo que se hace necesaria una investigación previa acerca de las bases estabilizadas con cemento y sus respectivos ensayos a tener en cuenta basados en la normatividad.

* Trabajo de Investigación

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.
Director Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón.

ABSTRACT

TITLE: EFFECT OF BITUMINOUS BINDER IN DRYING SHRINKAGE AT GRANULAR BASE STABILIZED WITH CEMENT.

AUTHORS: Bareño León, Neyer, Díaz Rojas Maifer. **

KEYWORDS: stabilized with cement, bituminous binder, drying shrinkage

DESCRIPTION

Techniques currently used in soil stabilization are well advanced in many countries; soil stabilization with Portland cement is the most widely used in the world. Soil stabilization with portland cement is the most widely used in the world. It is very easy to do and no special equipment needed for construction, in our country the use of cement is one of the main materials used to stabilize granular bases for the construction of roads.

One of the major limitations of the soil- cement is to retract, a physical phenomenon that limits the effectiveness of using this material in some applications where retraction is unacceptable effects. It is for this reason, it is necessary to confirm that with the addition of a bituminous binder, soil shrinkage Substantial decreases in numbers.

This research gathers information and product test results and laboratory testing, analyzing the behavior in the retraction of a granular base stabilized with cement, before and after added the bituminous binder, confirming the benefit provided by this material to reduce shrinkage in percentage considerable, for what is needed prior research on, cement-stabilized soils and their trials to be considered based on the regulations.

* Research Work.

** Faculty of Mechanical Engineering Physics. School of Civil Engineering
Director: Eduardo Alberto Castañeda Pinzon.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo previo en la ejecución de un proyecto de investigación tiene en su estructura diversas actividades que asociadas, con fines similares y encaminadas a una buena gestión técnica y un buen proceso administrativo conducen a obtener resultados satisfactorios.

Los actuales niveles de tráfico en cuanto a volúmenes y peso obligan a utilizar estructuras de pavimento de alta calidad. Al utilizar bases estabilizadas con cemento existe la posibilidad de reducir espesores sin que con esto se reduzca la capacidad estructural, además mejora propiedades como la resistencia a la compresión y durabilidad en los materiales, pero a la vez se presentan factores en contra como la generación de fisuras debido a la retracción de fraguado, por lo que surge la necesidad de realizar una investigación para tratar este problema.

La retracción es un fenómeno que se debe principalmente a la pérdida de humedad durante el fraguado y el endurecimiento siendo un proceso que está influenciado por la calidad y las formas de los áridos.

Los resultados de la investigación incluyen los valores calculados del efecto de ligante bituminoso en la retracción de fraguado a través de los procedimientos realizados en laboratorio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

Estudio del efecto de la retracción de fraguado en una base estabilizada con cemento con presencia de un ligante bituminoso.

2.2. Objetivos específicos.

- ✓ Estudio de retracción en material estabilizado con cemento

- ✓ Estudio de la variación de la retracción de fraguado en bases estabilizadas donde se emplea material reciclado de capas asfálticas.

3. MARCO TEORICO

Con el propósito de elaborar un documento completo se recopila suficiente información basada en las características y normativas de las bases estabilizadas con cemento. A continuación se menciona estas características:

3.1 BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO

Existen diversas razones que actualmente determinan un mayor uso del suelo-cemento en la construcción de estructuras de pavimentos. Tanto consultores como entidades encargadas de la administración vial coinciden en que la demanda de un transporte de calidad requiere una mayor durabilidad de los materiales, estructuras de pavimentos y subrasante.

3.1.1 DEFINICION

Base granular tratada con cemento⁶

La PCA la define como una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, que endurece después de ser compactada y curada para formar un material de pavimento durable. Se usa como capa de base en estructuras de pavimentos, siendo necesaria una capa de rodadura bituminosa o de concreto hidráulico.

3.1.2 ESTRUCTURA DEL SUELO CEMENTO ⁷

Tener conocimiento de la micro estructura del suelo cemento es necesario para poder entender y explicar los fenómenos de la retracción en el fraguado, se

considera que para este tipo de mezclas el mecanismo de acción entre el cemento y el suelo tiene el mismo comportamiento que en el hormigón.

Se considera que la estructura de las bases estabilizadas con cemento está compuesta por tres fases: la pasta de cemento hidratado, el árido, y la zona de transición entre la pasta y el árido. La pasta de cemento hidratado contiene una distribución no homogénea de diferentes tipos de sólidos, poros y microgrietas. Se pueden considerar cuatro fases sólidas principales en la pasta de cemento hidratado: hidrato de silicato de calcio (C-S-H), también llamado gel de sílice, que representa entre el 50 al 60% del volumen de la pasta, hidróxido de calcio que constituye el 20-25 % de volumen de pasta, cristales de sulfoaluminato de calcio, que ocupan entre el 15-20% de volumen, y los granos de clinker no hidratados. Se puede considerar que la pasta consiste en una continua matriz de C-S-H que rodea grandes cristales de hidróxido de calcio, y de sulfoaluminato de calcio con forma de agujas, y a granos de cemento no hidratados.

La resistencia del suelo-cemento es atribuida principalmente a las fuerzas de Van Der Waals entre las capas del gel. Los fenómenos de la retracción están relacionados con el movimiento de agua capilar y agua adherida entre las capas de gel, debido al secado o a las tensiones externas aplicadas. (Whittman, 1982).

La fase del árido constituye entre el 80-90% de la mezcla y es la principalmente responsable de la estabilidad dimensional del mismo. En relación con la micro estructura de la mezcla suelo-cemento, su importancia está en su influencia sobre la zona de transición. La zona de transición es la zona límite entre los áridos y la pasta, y su espesor está entre 10-50 μm . Esta fase es la más débil de las tres fases, por lo cual tiene mayor influencia en el comportamiento mecánico (Mehta y Montero, 1993).

Las características de las tres fases y la interacción entre ellas son las que determinan las propiedades mecánicas del suelo-cemento.

La porosidad del hormigón es una de las características más importante en relación con la micro estructura. Los parámetros que caracterizan la porosidad

son el tamaño, la forma y la continuidad de los poros. Existen dos tipos de poros: los microporos y los macroporos. Los microporos son los espacios entre las capas del gel de sílice (C-S-H) y su tamaño varía entre 0,5 nm – 10 nm, Estos espacios son muy pequeños y no afectan la permeabilidad de la mezcla. Los macroporos, también llamados poros capilares, son los espacios no llenados por los productos de la hidratación. Estos poros son los que determinan el grado de permeabilidad; y por consiguiente su durabilidad. Se considera que los macroporos tienen un diámetro con tamaño entre 10 nm y 10 µm. Hay que tener en cuenta que el tamaño y distribución de los poros capilares depende del grado de hidratación y la relación agua/cemento. Cuanta más alta es la relación agua/cemento, la cantidad y el tamaño de los poros aumenta.³

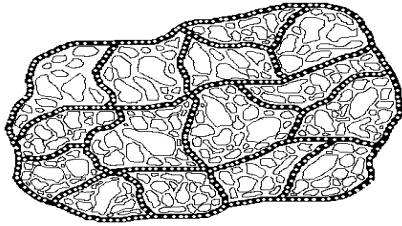
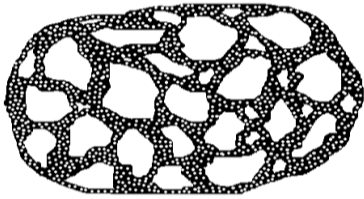
SUELO-CEMENTO	HORMIGÓN
 <p data-bbox="384 1245 705 1279">FIGURA 1 Suelo-Cemento</p>	 <p data-bbox="1015 1223 1241 1256">FIGURA 2 hormigón.</p>
<p data-bbox="233 1368 855 1473">Casi cualquier tipo de suelo/agregado; Granulometría sin restricción; Insuficiente pasta para formar una capa sobre todas las partículas.</p>	<p data-bbox="922 1368 1337 1473">Agregados seleccionados; Granulometría específica; Pasta sobre todas las partículas.</p>

Figura 1. Estructura del suelo-cemento y hormigón
Fuente: Instituto colombiano productores de cemento.

3.1.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES

Cuando se hace una estabilización de suelo con la adición de cemento se busca el mejoramiento de algunas de las propiedades del material. Entre las

⁶ <http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm>. Suelo-cemento 1ª parte

⁷ INSTITUTO COLOMBIANO PRODUCTORES DE CEMENTO. Estabilizaciones con cemento aplicados a pavimentos; Propiedades de las mezcla.

más significativas para el diseño de bases para pavimentos están la resistencia a la compresión y la durabilidad entre otras.

➤ Resistencia a la compresión

Es una de las propiedades más ampliamente discutidas; la escuela británica la toma como criterio básico para el diseño de la mezcla. La escuela americana prefiere partir de ensayos de durabilidad para el diseño del suelo-cemento. Los suelos granulares alcanzan resistencia a la compresión, con menores cantidades de cemento que los suelos arcillosos o limosos. El cemento utilizado en mezcla, no debe tener más de 90 días de almacenados o 120 de fabricación, ya que la resistencia se ve afectada por este factor y otros como el tipo de suelo, el porcentaje de cemento, la edad, y curado.

Para ensayos, se sigue la norma ASTM D1635-63.

El comportamiento elástico del suelo-cemento, está influenciado por:

- Compactación relativa.
- Porcentaje de cemento.
- Contenido de agua.
- Porcentaje de arcilla en el suelo.

Se pueden tomar como valores medios.

$$E = 100000 \text{ kg/cm}^2 \quad \mu = 0.13$$

Suelos granulares con porcentajes de cemento entre 3- 14% y edades entre 7 y 90 días, presentan valores entre 55000 y 300000 kg/cm²; y suelos limosos y arcillosos, presentan valores menores entre 50000 a 175000 kg/cm².

➤ Durabilidad

Numerosos registros de comportamiento indican que el suelo-cemento tiene mayor durabilidad que otros materiales de pavimentos de similar

costo inicial. La mezcla suelo-cemento, debe resistir las acciones naturales, para que las propiedades que aseguran el buen funcionamiento de esta, no presente grandes variaciones con el paso del tiempo.

➤ Mayor uso de materiales locales

El suelo-cemento permite el uso de gran cantidad de tipos de suelo para su elaboración, con lo que se consiguen reducir considerablemente los costos de transporte de material de aporte y aumentar los rendimientos de construcción.

➤ Reducido impacto ambiental

Pues existe menor necesidad de explotación de bancos de material. Mayor rigidez y mejor distribución de las cargas aplicadas al pavimento:

Las propiedades de las mezclas de suelo-cemento permiten que la carga aplicada se distribuya en un área mayor que en el caso de una capa granular; por tanto, a igualdad de capacidad de soporte es posible contar con estructuras de pavimentos de menor espesor robustas o con un menor número de capas.

➤ Resistencia a los agentes atmosféricos

Es notable su prolongada durabilidad bajo condiciones adversas. Por ello se ha usado en lugares con condiciones climáticas muy desfavorables.

Las limitaciones que presenta el suelo-cemento son:

- Es un material en el que se producen grietas de contracción, las cuales pueden reflejarse en las capas superiores de un pavimento.
- Sin embargo, es posible controlar los efectos de dicha contracción mediante uso de cementos adecuados, mezclas de cal, cemento y/o técnicas de prefisuración.
- Se debe seleccionar el tipo de cemento adecuado y realizar el número de pruebas necesarias antes de pretender construir capas de suelo-cemento con suelos de mediana alta plasticidad.
- El tiempo para ejecutar el mezclado, conformación y compactación está limitado por el del fraguado del cemento.
- Tiene una reducida resistencia al desgaste. Por ello, las bases de suelo-cemento precisan capas de rodadura de concreto asfáltico, tratamientos superficiales o capas de rodadura de concreto hidráulico.

3.1.4 NORMATIVIDAD PARA SUELO-CEMENTO

3.1.4.1 Normativa nacional. El INVIAS es la entidad encargada del control y normatividad para todo lo relacionado a diseño y construcción de vías; en base a normativas internacionales dicha entidad publicó un artículo donde se establecen las especificaciones de una base estabilizada con cemento.

Artículo 341

Construcción de una capa de base, constituida por material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o mezcla de ambos, estabilizándolos con cemento portland.

➤ Suelo.

- Proveniente de la escarificación de la capa superficial existente.
- Suelo natural proveniente de excavaciones o zonas de préstamo.
Agregados locales de baja calidad.
- Escorias o mezclas de cualquiera de ellos, libres de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar el correcto fraguado del cemento.

➤ Granulometría

- La granulometría del material por estabilizar no podrá contener más de 50% en peso, de partículas retenidas en el tamiz N° 4; ni más de 50% en peso, de partículas que pasen el tamiz N° 200.
- El tamaño máximo no podrá ser mayor de 75 mm, ni superior a la $\frac{1}{2}$ del espesor de la capa compactada.

➤ Plasticidad.

- La fracción inferior al tamiz N° 40, deberá presentar un LL inferior a 35 y un IP menor de 15, determinados según norma de ensayo INV E-126.

➤ Composición química.

- La proporción de sulfatos no podrá exceder de 0.5%, en peso, al ser determinada según la norma de ensayo INV E-233.

➤ Cemento.

- El cemento para estabilización será de tipo Portland, el cual deberá cumplir lo especificado en las normas ICONTEC 121 y 321.

➤ Agua.

- Deberá ser limpia y estará libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas.
- El pH, medido según la norma ASTM D-1293, deberá estar comprendido entre 5,5-8,0.
- El contenido de sulfatos, determinado según norma ASTM D-516, no podrá ser superior a 1 g/l.

➤ Diseño de la mezcla.

Se deberá diseñar mediante los siguientes parámetros:

- Humedecimiento-secado (INV E-807) en donde el contenido de cemento deberá ser tal, que la pérdida de peso de la mezcla compactada no supere los siguientes límites

<i>SUELO POR ESTABILIZAR</i>	<i>PERDIDA MAXIMA (%)</i>
A-1; A-2-4; A-2-5; A3	14
A-2-6; A-2-7; A-4; A5	10
A-6; A-7	7

Tabla 1: Perdida máxima de peso en la mezcla
FUENTE: Artículo 341. Base estabilizada con cemento. INVIAS.

- Resistencia a la compresión inconfiada (INV E-809) garantizando una resistencia mínima de 21 kg/cm², luego de 7 días de curado húmedo.
- Si se requiere, se añadirá el agua faltante y se continuara mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La humedad de la mezcla deberá ser la optima en el ensayo proctor normal (INV E-806), con una tolerancia de ± 1%

3.1.4.2 Normativa internacional. En la normativa española, según las características finales establecen tres tipos de suelos estabilizados in situ, denominados respectivamente:

- S-EST1. Cemento y cal
- S-EST1. Cemento y cal
- S-EST1. *Cemento*

➤ Cemento.

- No se emplearan cementos de aluminato de calcio.
- La dosificación de cemento será igual o superior al tres por ciento (3%).

REQUERIMIENTOS DE CEMENTO PARA VARIOS TIPOS DE SUELOS				
Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos ASTM	Contenido de cemento % en peso	Contenido de cemento prueba de humedad % en peso	Contenido de cemento prueba de durabilidad % en peso
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

TABLA 2. Requerimientos de cemento para varios tipos de suelos.

FUENTE: Normas ASSHTO.

➤ Granulometría.

- Los materiales a estabilizar con cemento tendrán un tamaño máximo inferior a $\frac{1}{2}$ del espesor de la capa compactada, sin exceder el espesor de 80 mm.
- No contendrá más de un 80% en peso de elementos retenidos en el tamiz 2 ni más de un 50%, en peso, de elementos que pasen por el tamiz 0,080.

➤ Plasticidad.

- Limite liquido $LL < 35$ e índice de plasticidad $IP < 15$.

➤ Humedad del suelo.

- La humedad del suelo disgregado, inmediatamente antes de su mezcla con cemento, deberá ser tal, que permita una subsiguiente mezcla uniforme e íntima de ambos.
- Previamente será necesario humedecer la mezcla para facilitar dicha mezcla

➤ Curado de la mezcla.

- La mezcla se mantendrá húmeda, por lo menos, durante los 7 días que sigan a su terminación.

4. RETRACCIÓN

4.1 Definición.

La retracción es la deformación del suelo- cemento en estado fresco o endurecido, la cual no depende de la carga externa aplicada y se manifiesta mediante la disminución del volumen de la mezcla durante el proceso de fraguado en sus primeras horas, o cuando se encuentra ya endurecido días o meses después y se produce por un hecho muy sencillo que es la simple pérdida de agua.

Al perder agua y perder volumen se producen tensiones internas de tracción que dan lugar a las fisuras de retracción, aunque dependiendo de la cantidad de finos, la cantidad de cemento, el tipo de cemento, relación agua-cemento, espesor del elemento estructural, de si es hormigón armado o no y de la temperatura ambiental, la retracción puede ser variable y por ende las fisuras variarán en su cantidad y magnitud.

Para una evaluación detallada en el valor de la retracción hay que tomar en cuenta las diversas variables que influyen en este fenómeno, en especial: el grado de humedad del medio ambiente, el espesor y dimensión de la pieza, composición de la mezcla y tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca el inicio del fenómeno.

4.2 Tipos de Retracción

Varios especialistas han realizado ensayos del comportamiento del hormigón, los cuales hacemos referencia ya que se considera que para este tipo de mezclas la acción entre el cemento y el suelo tiene el mismo comportamiento que en el hormigón. Se determinaron tres tipos de retracción: retracción capilar, retracción química y retracción de secado.

4.2.1 Retracción Capilar: Llamada también como retracción plástica, se refiere a la deformación de la mezcla antes del fraguado final. Es provocada por una evaporación demasiado rápida del agua en la superficie durante las primeras 12 horas de colocado, y también por la succión de agua por parte del encofrado, esto provoca una gran contracción de la pasta de cemento y hace fisurar la superficie externa. Hay que entender por evaporación muy rápida cuando la tasa de evaporación superficial excederá la tasa por la cual el agua emerge desde el interior del hormigón, también conocida como velocidad de exudación. La retracción plástica del hormigón se asocia a un curado no acorde a las condiciones climáticas. La retracción plástica es menor en el suelo-cemento que en la pasta (cemento-agua), debido a la presencia de los áridos, como se podrá observar en la figura 2 donde existen curvas típicas de retracción para pasta, mortero y hormigón.

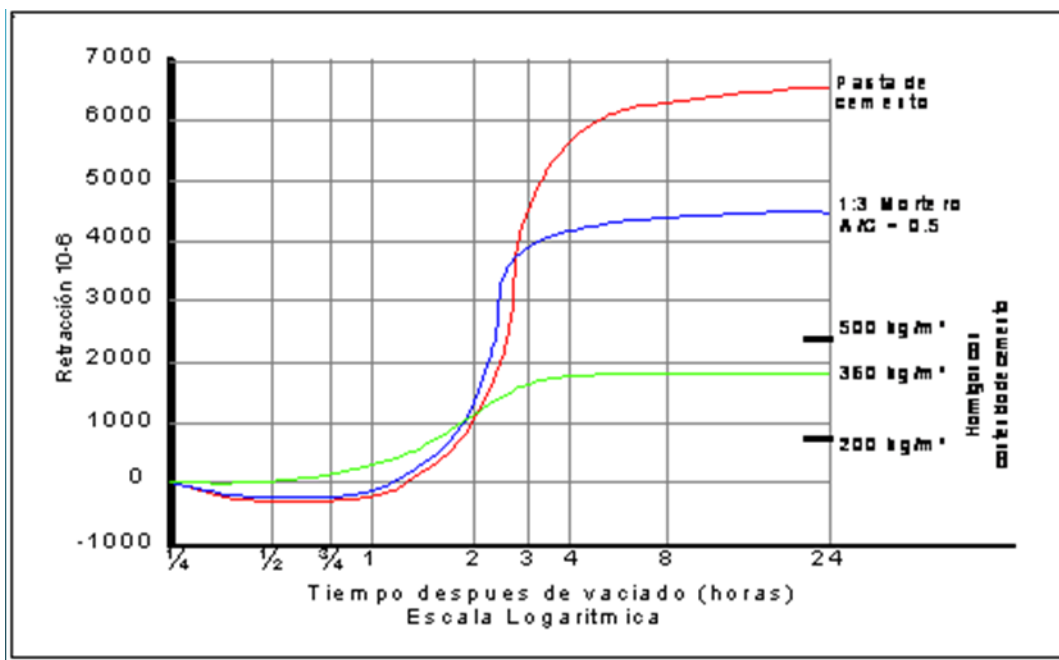


Figura 2. La retracción plástica en pastas, morteros y hormigones (Neville, 1995)

Por la experiencia de las pruebas de laboratorio se ha determinado que los factores de la mezcla que la afectan son:

- La relación agua-cemento
- El volumen de pasta
- El contenido de cemento

Se llega a la conclusión que existe mayor retracción a mayor contenido de cemento, mayor volumen de pasta y disminución de relación agua-cemento, existiendo algunas investigaciones que indican que con el aumento de superplastificantes aumentaría la retracción plástica. Las altas temperaturas, el viento y una humedad relativa baja serian factores externos que agravarían la retracción plástica.

4.2.2 Retracción Química (Autógena): Al tener un hormigón con baja relación agua-cemento puede ocurrir que no haya suficiente agua para el proceso de hidratación, bajo estas condiciones la mezcla consumirá el agua libre que se encuentra en los poros capilares para poder seguir con la hidratación dándose un consumo interno de agua conocido como autosecado que viene a ser la causa de la retracción autógena del hormigón. En hormigones con resistencias normales la retracción autógena es pequeña (100×10^{-6}) siendo incluida en los valores de la retracción de secado pero cuando se tiene el caso de hormigones de alta resistencia estos valores podrían ser significativos (700×10^{-6}).

Al tener temperaturas elevadas, un alto contenido de cemento, cementos más finos o cementos con alto contenido de C₃A y C₄AF los valores de retracción autógena tenderán a incrementarse así como el proceso de hidratación se acelerará. La utilización de adiciones como la ceniza volante, tiende a disminuir la retracción autógena.

4.2.3 Retracción de Secado: también llamada retracción hidráulica, se da en el hormigón endurecido y tiene que ver con la pérdida de humedad de este, ante la existencia de un gradiente de humedad entre el hormigón y el ambiente al que está expuesto; este movimiento de agua hacia el exterior es lo que causa la retracción, siendo la forma más común y visible de las retracciones. En la figura 3 se puede ver como la retracción se desarrolla en función de humedad relativa.

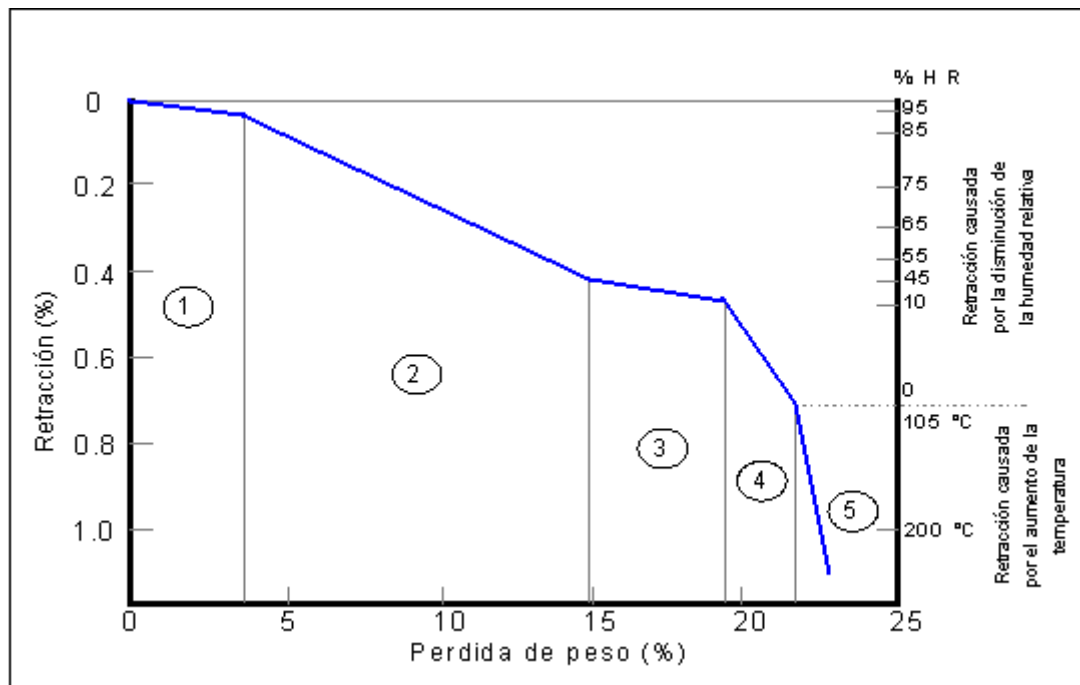


Figura 3. Relación entre la pérdida de humedad y la retracción en pastas de cemento (Mindess y Young, 1981)

De acuerdo a la figura 3 la retracción aumenta con la disminución de la humedad relativa, también se da un aumento del gradiente de humedad entre la pasta y el ambiente, lo que acelera la pérdida de agua hacia el exterior.

El proceso de secado se da de la siguiente manera: el agua libre que se encuentra en los poros capilares comienza a perderse (fases 1 y 2 de la figura),

en estas etapas la retracción aun no es visible aunque ya se va formando un gradiente

interno de humedad por el cual el agua absorbida al gel de sílice se desplaza hacia los poros; si se da el caso de que la humedad relativa baje del 45%, la pérdida de agua seguirá dándose y el agua absorbida a la superficie de gel de sílice C-S-H (C=CaO ; S=SiO₂ ; H= H₂O) comenzara a verse afectada (fase 3), luego de esto se perderá el agua interna del gel C-S-H (fase 4) y para culminar tendrá lugar la descomposición del gel (fase 5).

4.3 Factores que influyen sobre la retracción.

Los factores que afectan la magnitud y velocidad de desarrollo de la retracción son numerosos, siendo separados en tres grupos: factores relacionados con la dosificación de la mezcla, factores relacionados con el ambiente y factores relacionados con el método de ejecución.

4.3.1 Factores relacionados con la dosificación de la mezcla

Entre los factores relacionados con la dosificación de la mezcla que tienen influencia en la retracción vale mencionar: el contenido de árido, tamaño y distribución de los áridos, contenido de agua y cemento, aditivos y adiciones; siendo el factor más importante el contenido del árido ya que aunque la retracción es un fenómeno que se da en la pasta, el árido tiene la propiedad de reducir estas deformaciones ya que a mayor volumen de árido menor volumen de pasta pudiéndose cuantificar esta influencia con la siguiente expresión:

$$S_o = S_p(1 - a)^n$$

Donde:

S_c = retracción del hormigón

S_p = retracción de la pasta

a = contenido de árido en la mezcla de hormigón.

n = valor experimental, cuyos valores varían entre 1.2 y 1.7

De acuerdo a esta ecuación, el aumentar el contenido de áridos contribuirá a disminuir la retracción; en la figura 4 se verá la relación directa entre el contenido de árido y la retracción del hormigón.

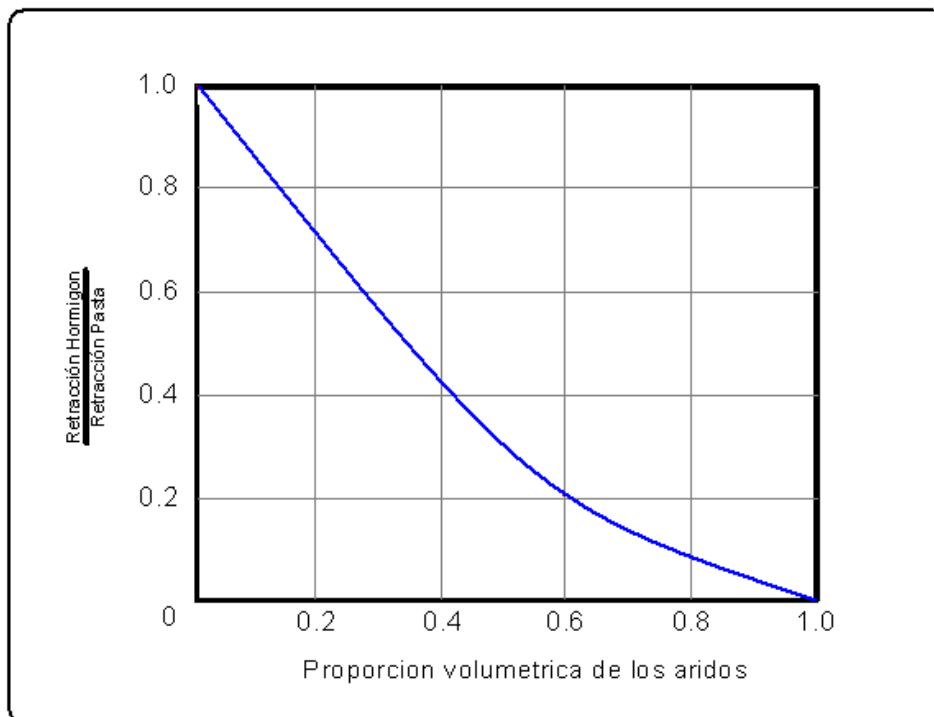


FIGURA 4. Influencia de la cantidad de áridos de diferentes naturalezas sobre la retracción (Delibes, 1993).

Bissonnette, *et al.* (1999) confirma que en pastas y morteros, la magnitud de la retracción es proporcional al volumen de pasta. La forma de la curva, si es cóncava o convexa, depende de los valores relativos del módulo de elasticidad de la pasta y los áridos.

Como la relación entre el contenido de árido y la retracción es lineal, el ACI 209-92 incluye la siguiente expresión para dos mezclas de hormigón hechas con la misma pasta, pero diferente contenido de árido.

$$\frac{(\varepsilon_{sh})_{u1}}{(\varepsilon_{sh})_{u2}} = \frac{1 - (V_1)^{\frac{1}{3}}}{1 - (V_2)^{\frac{1}{3}}}$$

Donde v_1 y v_2 son el volumen total de árido por unidad de volumen del hormigón para la mezcla 1 y 2 mientras que $(\varepsilon_{sh})_{u1}$ y $(\varepsilon_{sh})_{u2}$ son la retracción de las mezclas 1 y 2.

En relación con el tamaño y la distribución del árido, a mayor tamaño máximo, mayor es el contenido de árido debido a su distribución. Esto disminuye el volumen de pasta, que a su vez, reduce la retracción (Neville, 1995).

El incremento de los tres parámetros: contenido de agua, contenido de cemento y relación/agua cemento, están relacionados con un aumento en el contenido de pasta y en consecuencia, en el aumento de la retracción. En la Grafica 2.2-6 se observa que, aunque la retracción aumenta con el incremento en la relación agua/cemento, la influencia del contenido de árido sobre la magnitud de la retracción es más significativa.

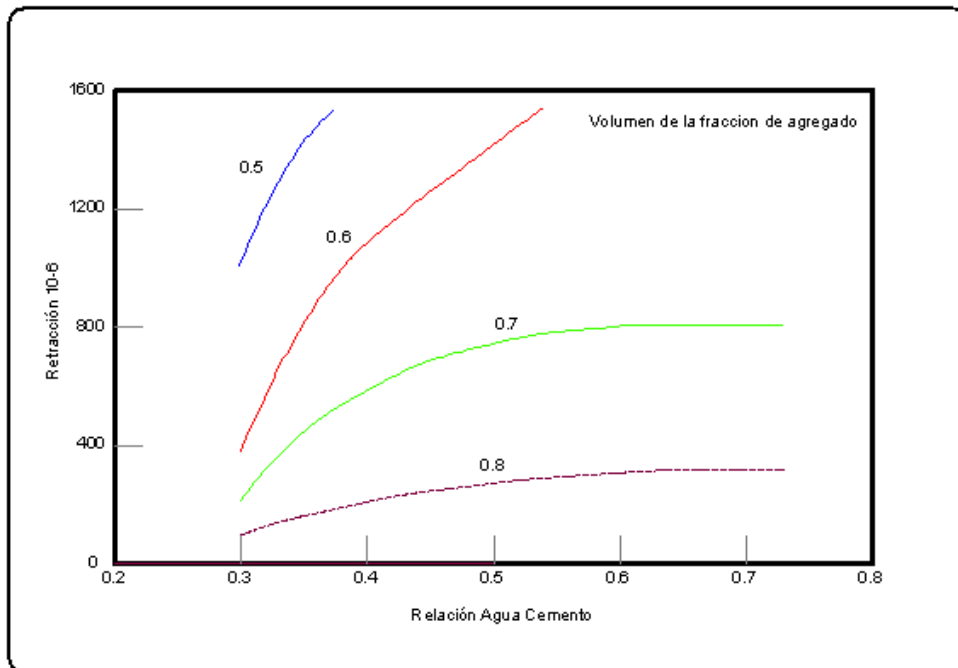


FIGURA 5. Influencia de la relación agua/cemento y el contenido de árido sobre la retracción del hormigón.

La influencia conjunta del contenido de agua, contenido de cemento y relación agua/cemento sobre la retracción aparece en la Grafica 2.2-7.

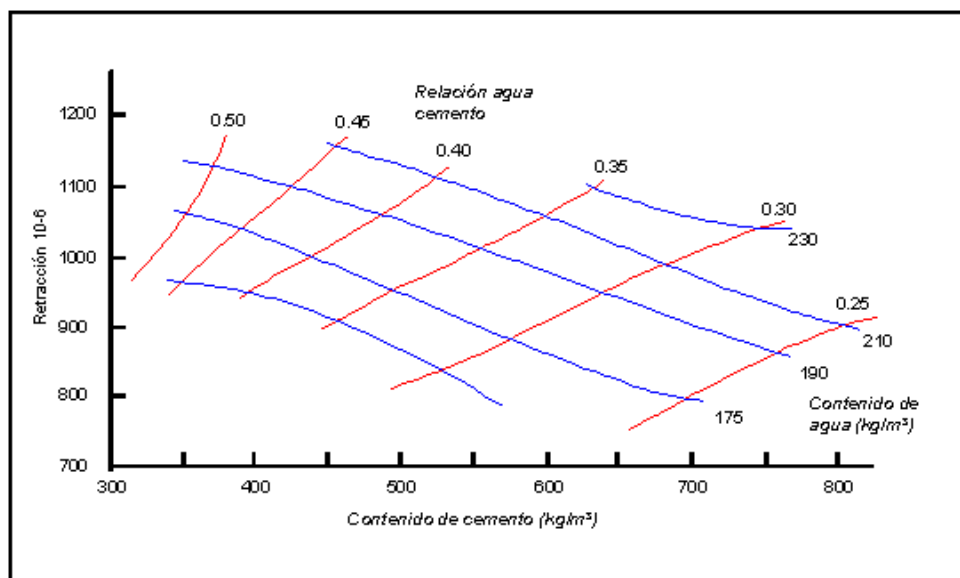


FIGURA 6. Relación entre el contenido de agua, contenido de cemento y relación agua/cemento con la retracción de hormigón curado en humedad durante 28 días y secado a 450 días (Neville, 1995).

Vale mencionar que según el estudio de Bissonnette (1999), al contrario de lo generalmente creído, la relación a/c influye poco sobre la retracción, en caso de pastas con relación agua/cemento entre 0.35 y 0.55; siendo determinante únicamente el contenido de pasta.

Según Neville (1995), las propiedades químicas del cemento influyen poco sobre la retracción ya que la finura del cemento influye sólo en caso de partículas mayores que 75µm, que también contribuyen a restringir la retracción.

4.3.2 Factores relacionados con el ambiente.

El factor ambiental que más influye en la retracción es la pérdida de humedad, además condiciones atmosféricas con elevada temperatura, humedad relativa bajas o vientos importantes pueden favorecer fisuras superficiales por un excesivo contenido en agua del hormigón y acabados de pasta de cemento en superficie.

4.3.3 Factores relacionados con el método de ejecución.

Entre estos factores se tiene: el periodo de curado, tipo de curado, tamaño y forma del elemento. De acuerdo a Neville (1995), los resultados de varias investigaciones sobre este aspecto se contradicen pero en general se manifiesta que el periodo de curado no es un factor importante en la retracción. El tamaño del elemento influye en el último valor de retracción a obtener, ya que en elementos pequeños la velocidad de desarrollo de la retracción es mayor que en elementos grandes, de forma general se asumirá que la retracción es inversamente proporcional a la relación Volumen/superficie del elemento.

$$retraccion \propto \frac{1}{(V/S)^2}$$

Según Mindess y Young (1981), en elementos grandes la velocidad de retracción es menor pero el valor último de retracción será mayor que en elementos pequeños; esta relación inversa entre la velocidad de desarrollo y la retracción última está relacionada con la retracción diferencial en el interior del elemento (ver figura 7).

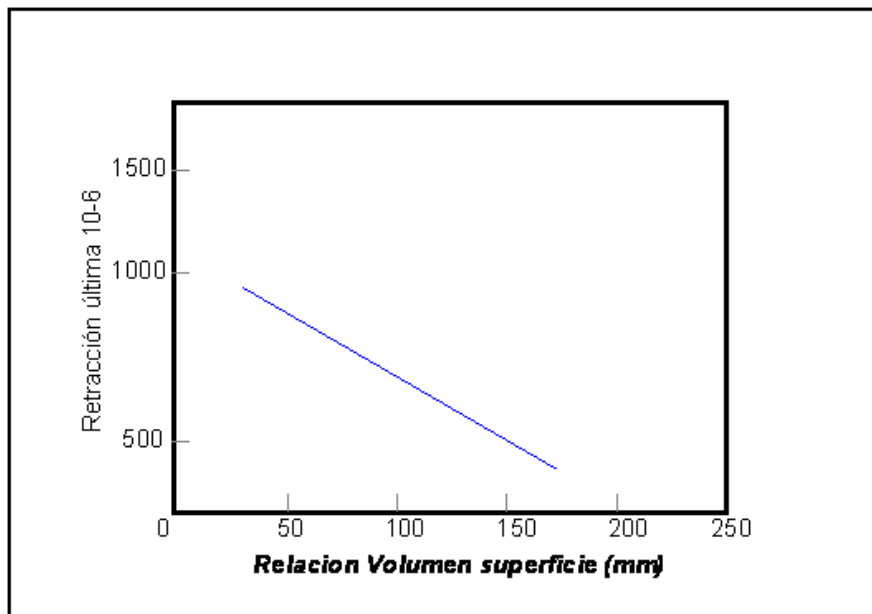


FIGURA 7. Efecto de la relación volumen/superficie sobre la retracción última del hormigón

El efecto de la forma del elemento estructural también influye sobre la retracción, pero según Neville (1995), su influencia es secundaria. Piezas con la misma relación volumen/superficie, pero en forma de I, manifiestan menor retracción que piezas cilíndricas. Estas diferencias están relacionadas con la distancia que el agua tiene que recorrer hasta la superficie.

4.4 MODELO DE CÁLCULO DE LA RETRACCION

Aunque es difícil estimar a ciencia cierta las deformaciones que el material tendrá, ya que este fenómeno es el resultado varios procesos físicos que dependen de otras variables, con el pasar de los años se desarrollaron algunos modelos para calcular la retracción del hormigón, los cuales son empíricos y solo reflejan algunos de los procesos físicos de este fenómeno, por lo que consecuentemente, al pronosticar la retracción a largo plazo es viable esperar un coeficiente de variación de 20% o más.

En el desarrollo de esta práctica el modelo que se utilizo esta calibrado para hormigones y existen diferencias con las bases estabilizadas con cemento, estas diferencias son parte de los factores de corrección aplicados en el modelo , los cuales fueron modificados para ajustarlo a el cálculo de las retracciones en el suelo- cemento.

Las diferencias con un hormigón convencional y las bases estabilizadas son:

- Consistencia de la mezcla.
- Contenido de material fino y granular
- Contenido de agua; En las bases estabilizadas el contenido de agua es muy bajo debido a que se trabajo con la humedad óptima de compactación.
- Contenido de aire; bajo debido a la compactación en las probetas.

4.4.1 Modelo de Cálculo de Retracción según el ACI 209R-92

Este modelo está basado en el trabajo de Branson y Christianson (1971), con algunas modificaciones que se introdujeron en el ACI 209R-82, este modelo se ha convertido con el pasar de los años en el modelo de referencia para hormigones en EEUU aunque en un principio se aplicaba solo para la industria de los prefabricados, se utiliza también en Canadá, Australia y parte de América Latina.

Es empírico y se basa en resultados experimentales anteriores al año 1968 (Al-Manaseer, 2005). Se aplica a hormigones normales y hormigones ligeros con cemento tipo I y III, ya sea curado en condiciones húmedas o con vapor. Los parámetros necesarios para este modelo son:

- Edad cuando comienza la retracción.
- Edad de puesta en carga
- Método de curado.
- Humedad Relativa, expresada en decimales.
- Relación Volumen/Superficie, o espesor medio, mm

Se pueden utilizar factores correctores que consideran el contenido de árido fino, el contenido de aire, contenido de cemento y consistencia de la mezcla.

4.4.1.1 ACI 209R-92

Para calcular la retracción $\epsilon_{sh,t}$ después de 7 días de curado húmedo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$(\epsilon_{sh})_t = \frac{t}{35 + t} (\epsilon_{sh})_u$$

La retracción, $(\epsilon_{sh})_t$ después de 1 a 3 días de curado al vapor es:

$$(\epsilon_{sh})_t = \frac{t}{55 + t} (\epsilon_{sh})_u$$

Donde:

t Es la edad del hormigón después del curado inicial del hormigón.

$$(\epsilon_{sh})_u = 780\gamma_{sh} \times 10^{-6} [m/m]$$

El coeficiente γ_{sh} representa el producto de todos los factores de corrección aplicables, definidos en la siguiente ecuación.

$$\gamma_{sh} = \gamma_{cp} \times \gamma_{\lambda} \times \gamma_{vs} \times \gamma_s \times \gamma_{\psi} \times \gamma_c \times \gamma_{\alpha}$$

Donde:

γ_{cp} Es un factor corrector para periodos de curado húmedo diferentes a los 7 días.

γ_{λ} Es un factor corrector para la humedad relativa.

γ_{vs} Es un factor corrector para el tamaño de la pieza.

γ_s Es un factor corrector para la consistencia del hormigón.

γ_{ψ} Es un factor corrector para el contenido de árido fino.

γ_c Es un factor corrector para el contenido de cemento.

γ_{α} Es un factor corrector para el contenido de aire.

a. . Para determinar el valor del factor corrector para el curado inicial, γ_{cp}

Periodo de curado, días.	Factor corrector, γ_{cp}
1	1,2
3	1,1
7	1,0
14	0,93
28	0,86
90	0,75

Tabla 3. Factor corrector de la retracción para el curado inicial (Tabla 2.5.3 del ACI 209)

- b. Para determinar el valor del factor corrector para la humedad relativa, γ_λ se utilizan las siguientes expresiones:

$$\gamma_\lambda = 1,40 - 0,010\gamma \quad \text{para } 40 \leq \gamma \leq 80$$

$$\gamma_\lambda = 3,0 - 0,030\gamma \quad \text{para } 80 < \gamma \leq 100$$

Donde:

γ : Es la humedad relativa en porcentaje. Valores representativos de γ_λ están incluidos en la tabla.

Humedad relativa, %	γ_λ
<40	>1,00
40	1,00
50	0,90
60	0,80
70	0,70
80	0,60
90	0,30
100	0,00

Tabla 4. Factor corrector de la retracción para la humedad relativa (Tabla 2.5.4 del ACI 209).

- c. Según el ACI 209, el método del espesor medio ofrece valores mayores para el factor de corrección en comparación con el método basado en la relación volumen/superficie. En este trabajo se utiliza el método de la relación volumen/ superficie para estimar el coeficiente γ_{vs} .

$$\gamma_{vs} = 1,2^{(-0,00472 \cdot V/S)}$$

$$V/S \quad (\text{En mm})$$

Relación volumen/superficie, mm	Retracción, γ_{vs}
25	1,06
38	1,00
51	0,94
76	0,84
102	0,74
127	0,66
152	0,58
203	0,46
254	0,36

Tabla 5. Factor corrector para la relación volumen/superficie. (Tabla 2.5.5.2 de la ACI 209)

El valor de γ_{vs} no debe ser menor que 0,2.

- d. El modelo ACI 209-92 incluye factores correctores para la composición de la mezcla. Estos factores consideran el efecto de la consistencia, porcentaje de árido fino, contenido de cemento y aire. En caso de no tener estos datos, el ACI 209 indica que se puede prescindir de estos factores.

El factor corrector para la consistencia del hormigón, γ_s es:

$$\gamma_s = 0,89 + 0,0016 \cdot s$$

Donde s es el asiento del hormigón, en mm.

- e. El factor corrector para el porcentaje de árido fino, γ_ψ es:

$$\begin{aligned} \text{Para } \psi \leq 50\% & \quad \gamma_\psi = 0,30 + 0,014 \cdot \psi \\ \text{Para } \psi > 50\% & \quad \gamma_\psi = 0,90 + 0,002 \cdot \psi \end{aligned}$$

Donde ψ es la relación entre el árido fino y el total de los áridos en peso, expresado en porcentaje.

f. El factor corrector para el contenido de cemento, γ_c es:

$$\gamma_c = 0,75 + 0,00061 \cdot c$$

Donde c es el contenido de cemento en kg/m³.

En la tabla están incluidos valores típicos para γ_c .

cemento, $\gamma_c = 0,75 + 0,00061 \cdot c$ kg/m ³	
100	0,84
150	0,81
200	0,87
250	0,90
300	0,93
350	0,96
400	0,99
450	1,02
500	1,06
550	1,09
600	1,12

Tabla 6. Factor corrector para el contenido de cemento

g. El factor corrector para el contenido de aire, γ_α es:

$$\gamma_\alpha = 0,95 + 0,008 \cdot \alpha$$

Donde α es el contenido de aire, en %.

5. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Esta investigación se realiza con el fin de establecer si el material reciclado de capas bituminosas existentes modifican la retracción de fraguado en las bases estabilizadas con cemento, planteando un conjunto de ensayos para verificar las especificaciones establecidas por INVIAS, cumpliendo a lo largo de la ejecución con los siguientes pasos:

- En primer lugar se documenta todo lo referente al proyecto de investigación, para esto se tienen en cuenta textos donde se habla sobre el tema, documentos, artículos publicados en internet y normas.
- Se adquiere la materia prima necesaria para la ejecución de los ensayos, la cual es el material de bases granulares junto con el bitumen.
- Luego se identifican los ensayos de laboratorio necesarios para el estudio de las características de bases granulares y combinaciones con bitumen.
- Una vez se identifican los ensayos a realizar a los materiales, se sigue con su ejecución, teniendo en cuenta que para desarrollar este paso es necesario hacer una previa preparación del material como lo indica cada una de las normas del Instituto Colombiano de Vías (INVIAS).
- Posterior a esto se hace un respectivo análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos.

Finalmente, se concluye de acuerdo a los resultados obtenidos.

6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

6.1.1 Suelo para Base Granular

Para el estudio de la investigación se utilizó material para base granular proveniente del río de oro que recorre parte del municipio de Girón (Santander) sitio de ubicación de la empresa Tecnopavimentos que fue la que suministró gran cantidad de dicho material para la ejecución de los ensayos necesarios para estudiar y analizar las características del suelo.

6.1.2 Ligante Bituminoso

Otro de los materiales utilizados en el proceso de laboratorio fue el ligante bituminoso 60-70, suministrado por la empresa santandereana Corasfaltos.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA BASES GRANULARES

Para llevar a cabo este proceso se realizan los siguientes ensayos de laboratorios:

- Ensayo de análisis granulométrico por tamizado del material.
- Ensayo de límites líquidos y plástico
- Ensayo de abrasión de agregado en la máquina de los ángeles
- Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.
- Ensayo de Caras fracturadas.
- Ensayo de compactación.

Como primera instancia antes de desarrollar cada uno de los ensayos se debe preparar el material secando las muestras hasta alcanzar una humedad inferior al 1%, para dar cumplimiento a las indicaciones dadas por las normas del Instituto Nacional de vías (INVIAS) en ensayos.



FIGURA 8. Material de base granular
Fuente: Los autores

6.2.1 Ensayo de análisis granulométrico. El presente ensayo tiene por objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de tamaño de partícula de suelo. Además este ensayo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasa por los distintos tamices empleados en el proyecto.

Para este caso, se realizó el proceso de tamizado del material, basado en las especificaciones dadas por las normas invías E-213.



FIGURA 9. Tamices utilizados para el ensayo de granulometría
Fuente: Los autores

- Al realizar el respectivo ensayo granulométrico se obtiene los siguientes porcentajes de suelo:
 - Gravas= 54.65 %
 - Arenas=40.28 %
 - Finos= 5.07%

Se realiza la clasificación del tipo de suelo basada en relación a especificaciones tomadas de la clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras conocida como la clasificación AASHTO que establece 7 grupos de suelos y agregados con base en la determinación en el laboratorio de granulometría, límite líquido y el límite plástico.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz de # 200)		
	A1	A3	A2
Clasificación de grupo	A1	A3	A2
Análisis de tamizado, % que pasa			
2,00 mm (# 10)
425 µm (# 40)	50 máx.	51 mín.	...
75 µm (# 200)	25 máx.	10 máx.	35 máx.
Límite líquido			B
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	B
Calificación general como subrasante	Excelente a bueno		
Tipos característicos de materiales del grupo	Cantos, grava y arena	Arena fina	Grava y arena limoacilosas

Tabla 7. Tipos de suelos. Clasificación AASHTO

- Por último después de hacer los respectivos análisis, arroja como resultado un suelo tipo A-1, caracterizado por ser una mezcla bien gradada de fragmentos de piedra o grava, e incluye aquellos materiales que consisten predominantemente de arena gruesa con o sin un ligante bien gradado de material fino.

Ver Granulometría ANEXO A

6.2.2 Ensayo de límites líquidos y plásticos. En límites líquidos se mide la humedad del suelo secado en horno mientras que en límites plásticos mide el contenido de agua más bajo de agua.

Por último el índice de plasticidad es la diferencia entre los límites líquidos y plásticos, estos ensayos junto con el granulométrico son los utilizados para la identificación del tipo de suelo.

Como resultado se tiene:

LL=30%

LP=25%

IP=5%

Ver Limites ANEXO B

6.2.3 Ensayo de Abrasión de agregados en la máquina de los ángeles. Es un método empleado para determinar la resistencia de las partículas y el porcentaje de degradación que presenta los agregados naturales o triturados, al ser sometidos al contacto con las cargas abrasivas bajo determinado número de revoluciones presentadas en un determinado tiempo. Este ensayo está regido por las norma INV E-218-07.



FIGURA 10. Equipos utilizados para el ensayo de resistencia al desgaste
Fuente: Los autores

- CARGA ABRASIVA

GRANULOMETRIA DE ENSAYO	NUMERO DE ESFERAS	MASA TOTAL (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 8. Carga Abrasiva

Carga abrasiva: La carga abrasiva consistirá en esferas de acero, de un diámetro aproximado de 46.8 mm (1 27/32”) y una masa comprendida entre 390 g y 445 g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica de acuerdo con la Tabla 8.

Se realiza los respectivos cálculos para este ensayo dando como resultado el siguiente informe:

$$\% \text{ Desgaste} = \left(\frac{5000 - 4370}{5000} \right) \times 100 = 13\%$$

Ver resistencia al desgaste ANEXO C.

6.2.4 Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.

Tiene por objeto conocer el índice de aplanamiento calculando el porcentaje de partículas retenidas en cada uno de los tamices con dimensión mínima (espesor) inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción, de forma similar para el índice de alargamiento pero aquellas partículas cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción. Siguiendo las especificaciones dadas por la norma de INVIAS E-230.

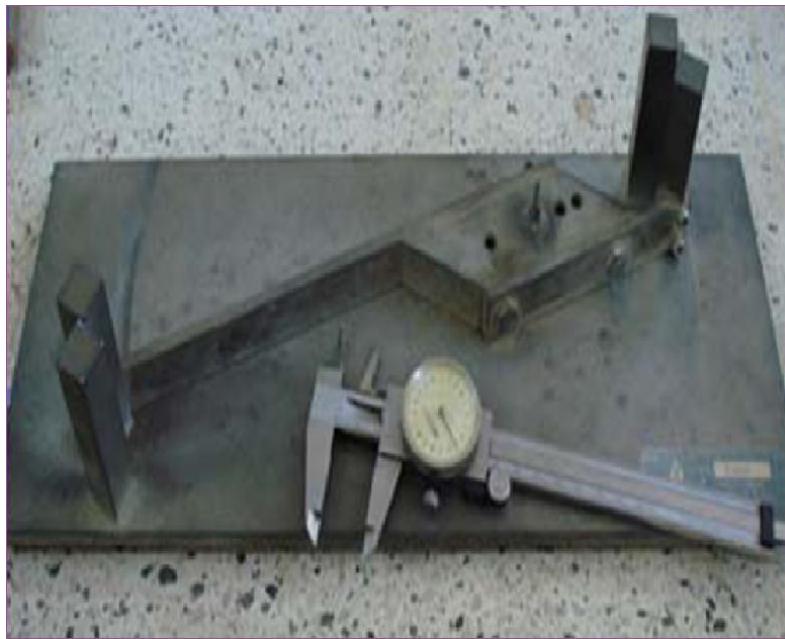


Figura 11. Equipos utilizados para el ensayo de índices de aplanamiento y alargamiento
Fuente: Los autores

Los resultados obtenidos fueron:

INDICE DE ALARGAMIENTO= 27.5%

INDICE DE APLANAMIENTO= 9.2%

Ver índices de aplanamiento y alargamiento ANEXO D.

6.2.5 Ensayo de caras fracturadas. Para este caso se determina el porcentaje, en masa o por conteo de una muestra de agregado grueso compuesta por partículas fracturadas que cumplan con los requisitos específicos.



Figure 12. Clasificación de material con caras fracturadas

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

% CARAS FRACTURADAS= 87%

Ver % Caras Fracturadas ANEXO E.

6.2.6 Ensayo de Compactación. Este ensayo se emplea para determinar la relación de peso unitario-humedad de los suelos compactados además se hace con el fin de calcular la humedad óptima de compactación del material y a la vez conocer la densidad seca máxima que presenta, compactando en 5 capas de igual grosor hasta llenar el molde aplicándole una energía de compactación de 55 golpes. EL molde es de un tamaño dado con un martillo de de 4540 gramos, que cae desde una altura aproximadamente de 45.7 cm.

Mediante el proceso de formación de cada uno de los moldes se tomaba pequeñas muestras de estos para medir la humedad, para así construir la gráfica de densidad seca en función de la humedad la cual indica la humedad óptima del material y la densidad máxima de este, dicho procedimiento se realiza teniendo en cuenta la norma del instituto nacional de vías I.N.V.E – 141

En este caso se implementó este tipo de ensayo aplicado a una base estabilizada con cemento y adición de bitumen. Se realiza las respectivas compactaciones para la base estabilizada con diferentes tipos de porcentaje de cemento (3%,5% y 7%), igualmente se desarrolla el mismo procedimiento con los diversos porcentajes de cemento con la diferencia de que ahora se le adiciona un porcentaje de bitumen contante del 5% para las muestras a realizar.



Figura 13. Procedimiento y equipos utilizados para el ensayo de compactación
Fuente: Los autores

Peso del molde: 6504 gr

Volumen del molde: 2032.22

Energía de compactación

Peso martillo (W) = 4432 gr

Altura de caída (H) = 50 cm

Los golpes fueron como lo indica la norma 5 capas cada una de 55 golpes; con una energía de compactación de:

$$E_e = \frac{N * n * W * H}{V} = \frac{55 * 5 * 4,432 * 45}{2032,22} = 26,98 \text{ Kcm/cm}^3$$

N = Numero de golpes

n = Numero de capas

El resultado de las humedades óptimas y densidades máximas para el tipo de suelo estudiado fue:

- **Suelo A1 con 3% de cemento**

Humedad optima = 5,2% *Densidad máxima = 2,27 gr/cm³*

- **Suelo A1 con 5% de cemento**

Humedad optima = 6,4% *Densidad máxima = 2,29 gr/cm³*

- **Suelo A1 con 7% de cemento**

Humedad optima = 7,6% *Densidad máxima = 2,25 gr/cm³*

- **Suelo A1 con 3% de cemento + 5% de Bitumen**

Humedad optima = 4,2% *Densidad máxima = 2,26 gr/cm³*

- Suelo A1 con 5% de cemento + 5% de Bitumen

Humedad óptima = 5,3%

Densidad máxima = 2,13 gr/cm³

- Suelo A1 con 7% de cemento + 5% de Bitumen

Humedad óptima = 6,20%

Densidad máxima = 2,16 gr/cm³

Ver Compactación ANEXO E.

6.3 PREPARACIÓN DE PROBETAS

Luego de realizados los respectivos ensayos de laboratorio para la identificación del tipo de suelo, los porcentajes de cemento permisibles y la humedad óptima requerida, se procede a la preparación de las probetas necesarias para la investigación.

Se definen dos clases de mezclas:

- *Mezcla 1: Combinación entre suelo más los respectivos porcentajes de cemento (3, 5 y 7%).*
- *Mezcla 2. Combinación de suelo más porcentajes de cemento (3, 5 y 7%), más un porcentaje de bitumen constante del 5%.*

Cabe anotar que para cada clase de mezcla se realiza dos probetas por cada porcentaje de cemento lo que nos indica que en total son 12 (doce) probetas especificadas a continuación.


Tipo de suelo	% Cemento	Probeta No.
 A1	3%	1
		2
	5%	3
		4
	7%	5
		6
	3% +Bitumen (5%)	7
		8
	5% +Bitumen (5%)	9
		10
	7% +Bitumen (5%)	11
		12

Tabla 9. Dosificación de materiales
Fuente: Los autores

6.3.1 Procedimiento de la preparación de la mezcla

- *Mezcla 1: Se realiza la combinación entre el material de base granular con los respectivos porcentajes de cemento mencionados en la tabla 9, para la posterior construcción de las probetas.*



Figura 14. Preparación de la mezcla 1.

- *Mezcla 2: Se realiza la combinación entre el suelo y el ligante bituminoso a una temperatura de 160 grados controlados por medio de un termómetro para la posterior formación de las probetas.*



Figure 15. Preparación de la mezcla 2.

El molde en que se realizó las probetas presenta las siguientes características:



Figura 16. Especificaciones del molde de probetas

Por lo tanto el volumen del suelo es: $V = \frac{\pi\phi^2}{4} \times h = \frac{\pi \times 7,0^2}{4} \times 11,62 = 447,19 \text{ cm}^3$



Figura 17. Características de la probeta.

Para lograr en cada una de las probetas una energía de compactación igual a la utilizada en la Prueba de Proctor, es necesario determinar el número de golpes que se deben dar por capa, ya que el molde utilizado para las probetas tiene dimensiones diferentes al molde utilizado en la prueba de compactación.

El nuevo número de golpes se determina usando el valor de energía específica, conociendo el volumen del molde y las características del martillo a utilizar.

Numero de golpes para el molde de la probeta.

Datos:

Volumen del molde: $447,19 \text{ cm}^3$

n: numero de capas: 5

Peso martillo (W) = 2633 gr

Altura de caída (H) = 47 cm

La energía específica en la prueba de Proctor fue igual a:

$$E_e = 26,98 \text{ Kcm/cm}^3$$

Número de golpes

$$N = \frac{E_e * V}{n * W * H} = \frac{26,98 * 447,19}{5 * 2,633 * 47} = 20 \text{ golpes}$$

6.4 ANÁLISIS DE RETRACCIÓN

La contracción en las mezclas de Suelo-cemento es el resultado de la pérdida de agua por secado y de las reacciones ocurridas durante la hidratación del cemento. Los factores que influyen en el grado de agrietamiento como consecuencia de la misma son numerosos y complejos, entre ellos están: el tipo y cantidad de cemento utilizado; el contenido de agua aplicado en el campo; las propiedades de los agregados; los procedimientos de curado realizados; las condiciones de clima; el tiempo de colocación y el rozamiento entre la capa de Suelo-cemento y la subyacente.

6.4.1 Recolección de datos de la retracción

La metodología utilizada para determinar la retracción del suelo de cada una de las probetas, consiste en medir el cambio de longitud o altura de cada una de estas.

La medición se hace diariamente utilizando un deformímetro cuya precisión es de 0.01 mm montada de forma fija sobre la estructura del molde.



Figura 18. Montaje para la medición de Retracción de las probetas

Para comprobar la retracción medida en el deformímetro se corroboró midiendo las probetas una vez retiradas del molde para determinar la retracción acumulada durante el tiempo medido. El calibrador utilizado tiene una precisión de 0.01mm igual que el deformímetro.



Figura 19. Características de Retracción de Fraguado mezcla 1.



Figura 20. Características de Retracción de Fraguado mezcla 2

Ver Retracción ANEXO G.

6.4.2 Retracción de fraguado utilizando el modelo ACI 209R-92

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t}{35 + t} (\varepsilon_{sh})_u$$

$$\gamma_{sh} = \gamma_{cp} \times \gamma_{\lambda} \times \gamma_{vs} \times \gamma_s \times \gamma_{\psi} \times \gamma_c \times \gamma_{\alpha}$$

$$(\varepsilon_{sh})_u = 780 \gamma_{sh} \times 10^{-6} \text{ [m/m]}$$

Al utilizar el modelo matemático para el cálculo de retracciones, se tuvieron en cuenta las características propias que se presentaron en los ensayos de laboratorio; ya que el modelo de cálculo presenta una serie de factores de gran importancia que influyen en el resultado final de la retracción.

- El factor corrector para periodos de curados de la mezcla se dispuso 1,2 que es el menor valor, debido que a ninguna mezcla estabilizada fue sometida a un proceso de curado; esto con el fin, de no disminuir la retracciones.
- La humedad relativa utilizada en los ensayos de retracción se establece menor del cuarenta por ciento (40%); dando el menor valor para el factor corrector de humedad relativa.
- Uno de los factores más influyentes en la retracción es el porcentaje de árido fino, en el suelo a estabilizar era un porcentaje muy pequeño.
- El factor que reúne las características como el contenido de cemento fue variado para cada mezcla.
- El factor de contenido de aire en la mezcla varia al adicionarle ligante bituminoso.

Ver Retracción ANEXO H.

6.5 RESULTADOS DE LA RETRACCION.

Los resultados de la retracción que se obtuvieron en el laboratorio son presentados a través de las siguientes gráficas:

- **Suelo estabilizado con 3% de cemento.**

Método experimental.

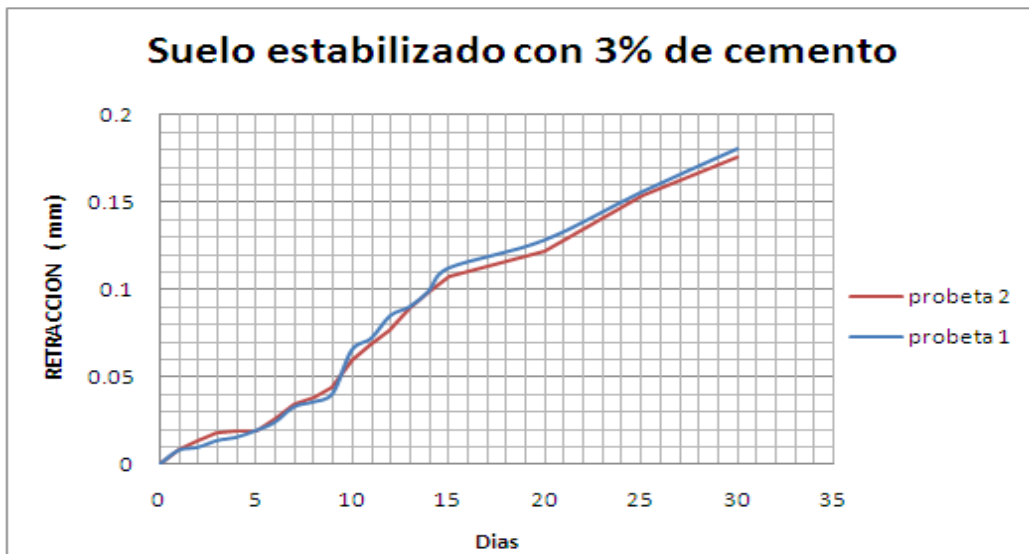


Figura 21. Retracción Suelo estabilizado con 3 % de cemento.

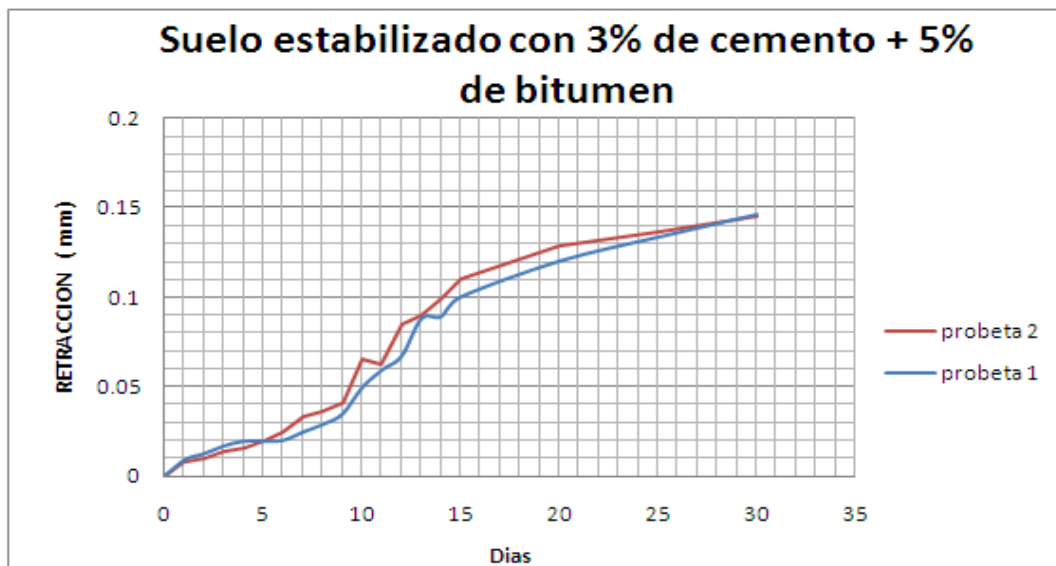


Figura 22. Retracción suelo estabilizado con 3% de cemento + 5% de bitumen.

Es importante mencionar que este método no es 100% confiable ya que el comportamiento de las probetas no fue igual en el periodo de tiempo.

La probeta con 3% de cemento alcanza una retracción de 0.18mm y con la adición de bitumen disminuye a 0.14mm. Comparando los valores anteriores se observa que al adicionarle ligante bituminoso existe una reducción del 20%.en la retracción del suelo.

Utilizando el Modelo ACI 209R-92

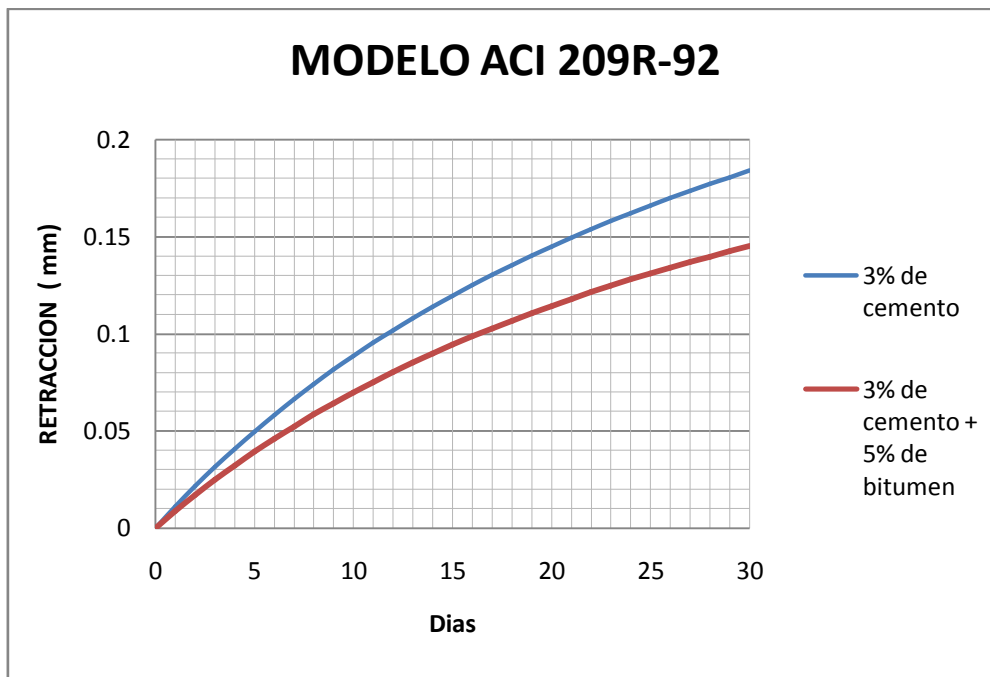


Figura 13. Modelo ACI 209R-92 3% Cemento.

Según el modelo ACI 209R-92 el suelo estabilizado con 3% de cemento alcanza un retracción de 0.185 y el mismo adicionándole 5% de bitumen alcanza una retracción de 0.145, con una disminución del 21.6% en la retracción.

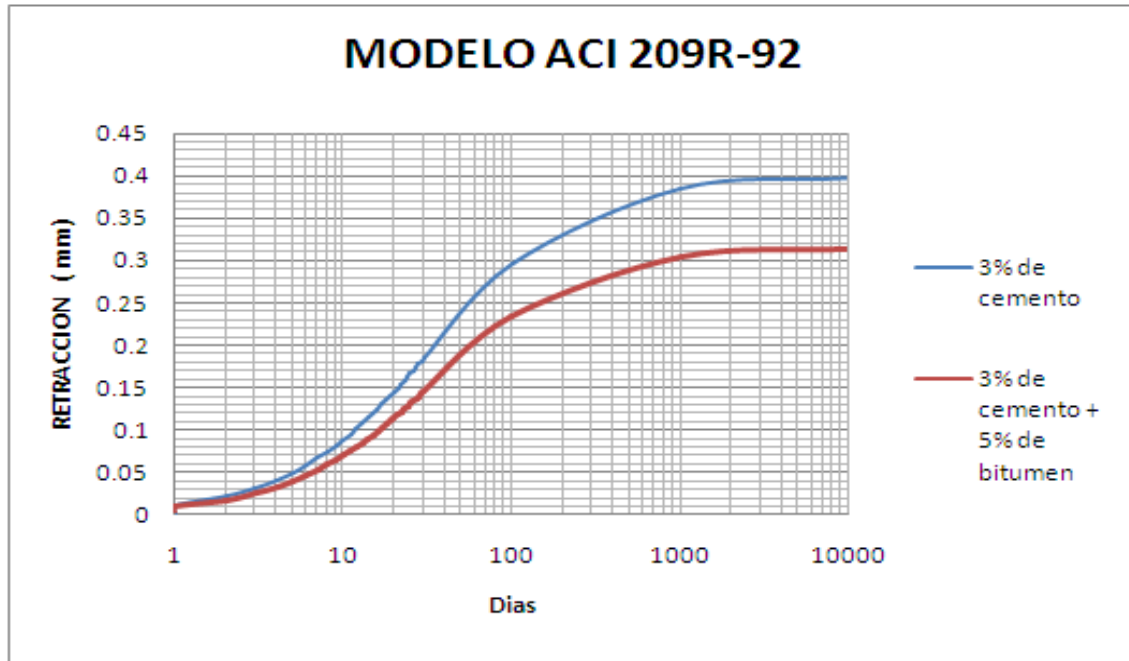


Figura 24. Modelo ACI 209R-92 10000 días.

El modelo permite valorar las retracciones máximas a las que puede llegar el material hasta los 10000 días. Para el suelo estabilizado con 3% de cemento alcanza una retracción de 0.4mm a los 10000 y adicionándole 5% de bitumen se reduce a 0.31mm a los 10000 días, Se afirma que la reducción en la retracción a largo plazo es del 22.5%.

- Suelo estabilizado con 5% de cemento.

Método experimental.

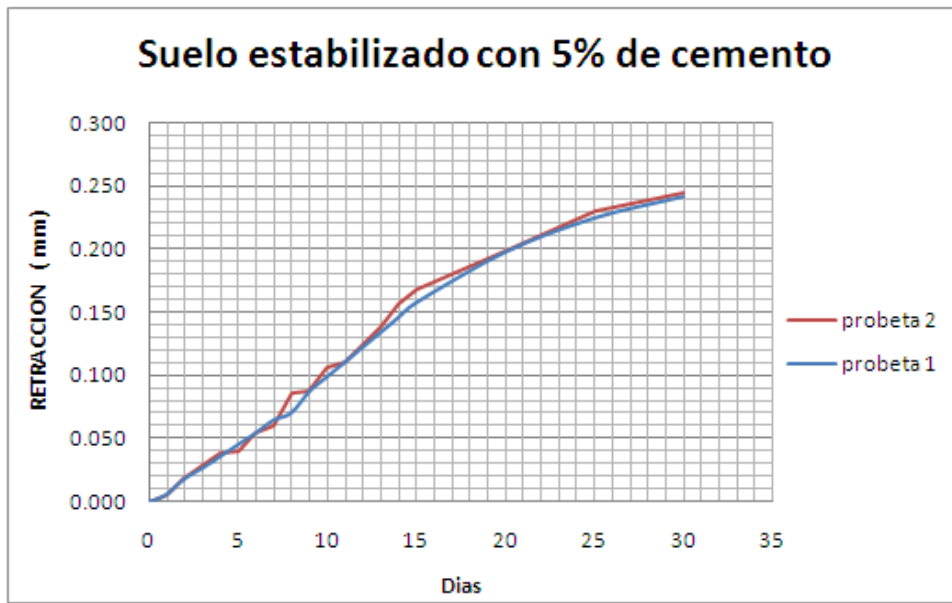


Figura 25. Retracción Suelo estabilizado con 5% de cemento.

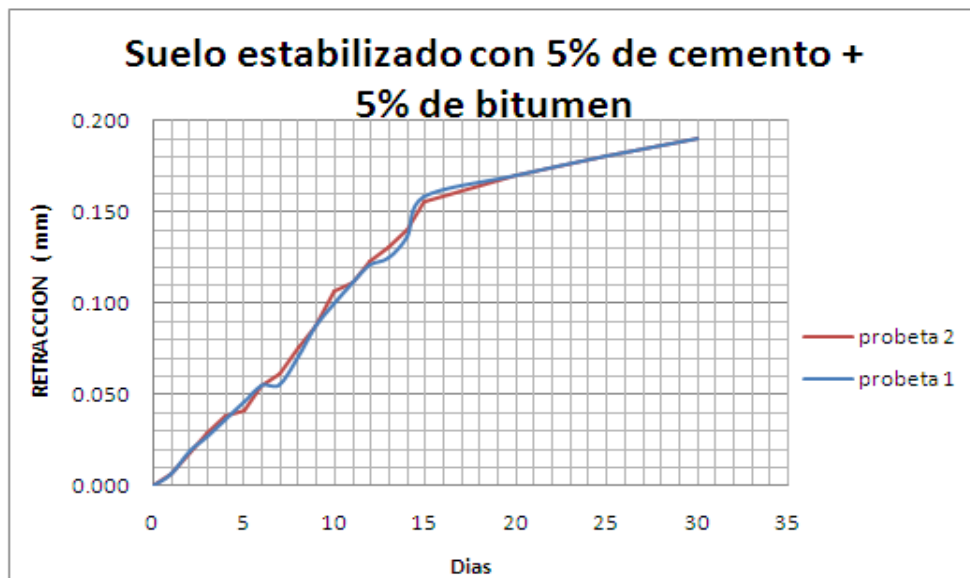


Figura 26. Retracción suelo estabilizado con 5% de cemento + 5% de Bitumen.

La probeta con 5% de cemento alcanza una retracción de 0.24mm y con la adición de bitumen disminuye a 0.19mm. Comparando las graficas anteriores

se observa que al adicionarle ligante bituminoso existe una reducción de el 21%.en la retracción del suelo.

Utilizando el Modelo ACI 209R-92

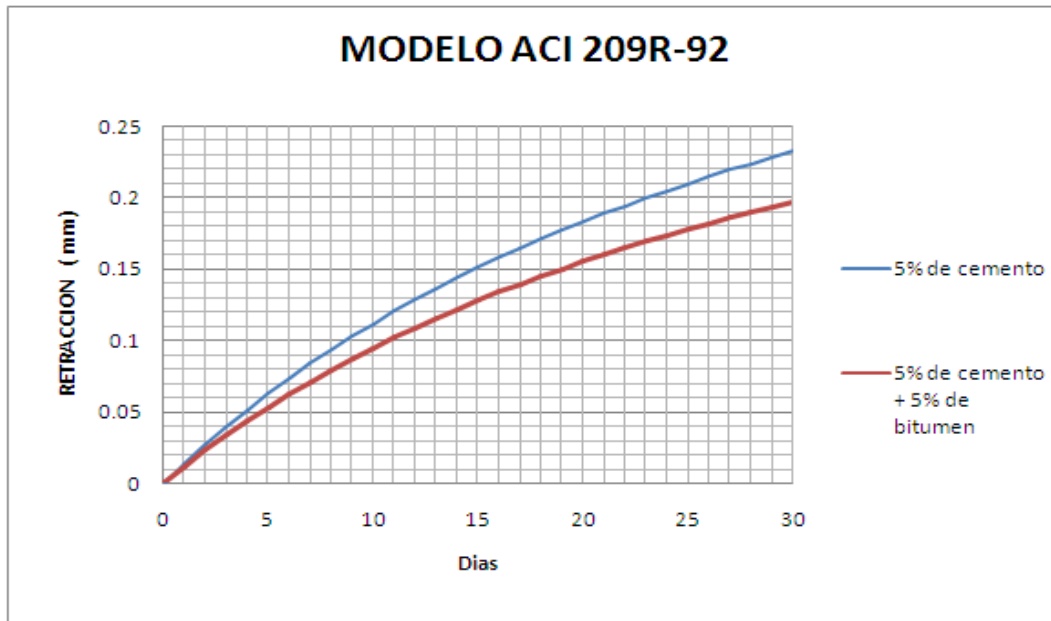


Figura 27. Modelo ACI 209R-92 5% Cemento

Según el modelo ACI 209R-92 el suelo estabilizado con 5% de cemento alcanzo una retracción de 0.23mm y el mismo adicionándole 5% de bitumen alcanzo una retracción de 0.195mm, lo cual afirma que existe una disminución del .15.5% en la retracción.

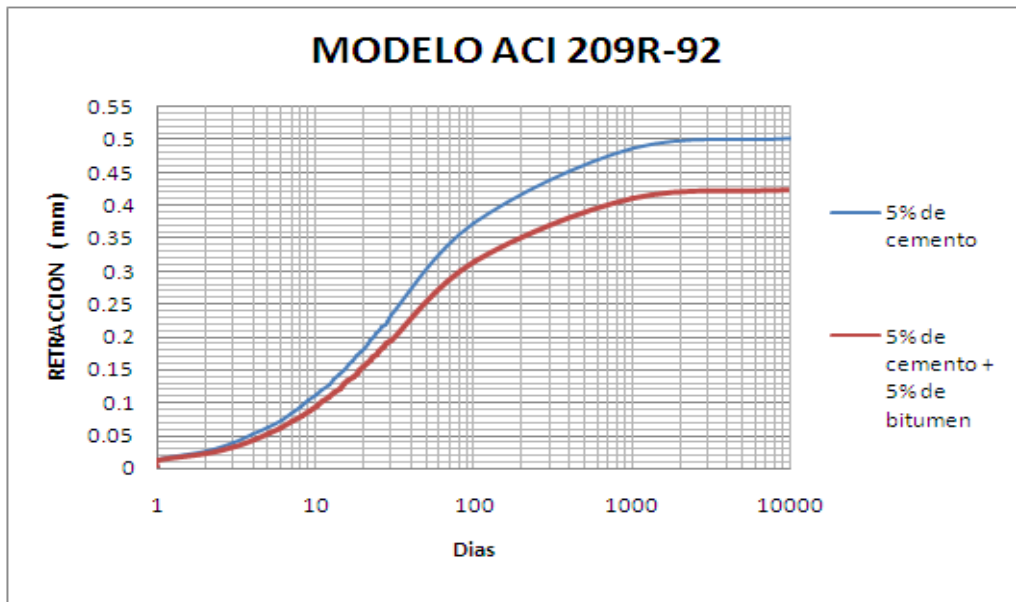


Figura 28. Modelo ACI 209R-92 10000 días.

Según el comportamiento del suelo a largo plazo se afirma que a los 10000 días la reducción en la retracción es del 17%.

- Suelo estabilizado con 7% de cemento.

Método experimental.

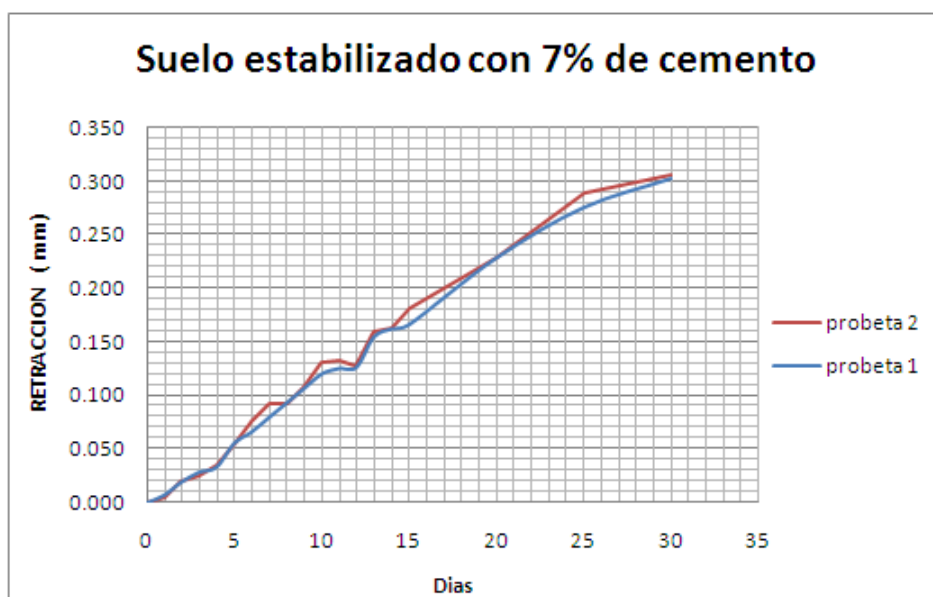


Figura 29. Retracción suelo estabilizado con 7%

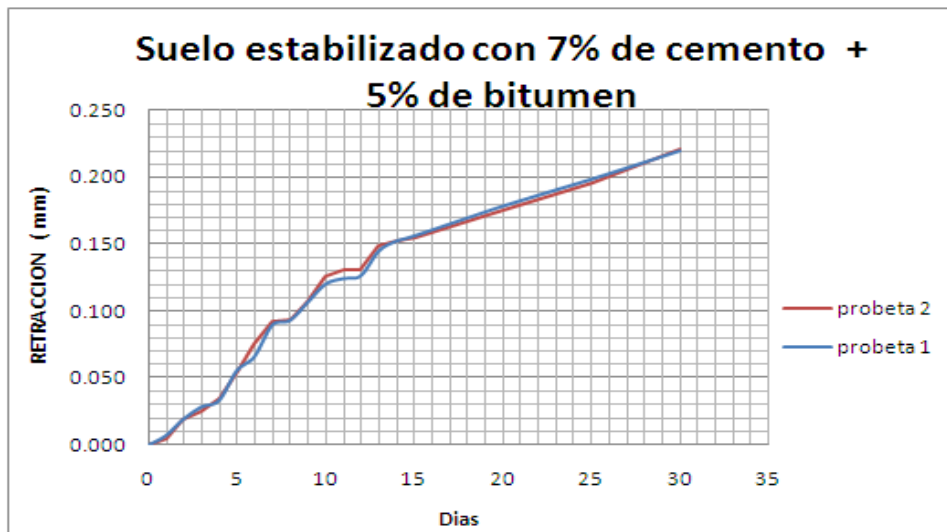


Figura 30. Retracción suelo estabilizado con 7% de cemento + 5% de bitumen.

La probeta con 7% de cemento alcanza una retracción de 0.30mm y con la adición de bitumen disminuye a 0.225mm. Comparando las graficas anteriores se observa que al adicionarle ligante bituminoso existe una reducción en la retracción del 25%.

Utilizando el Modelo ACI 209R-92

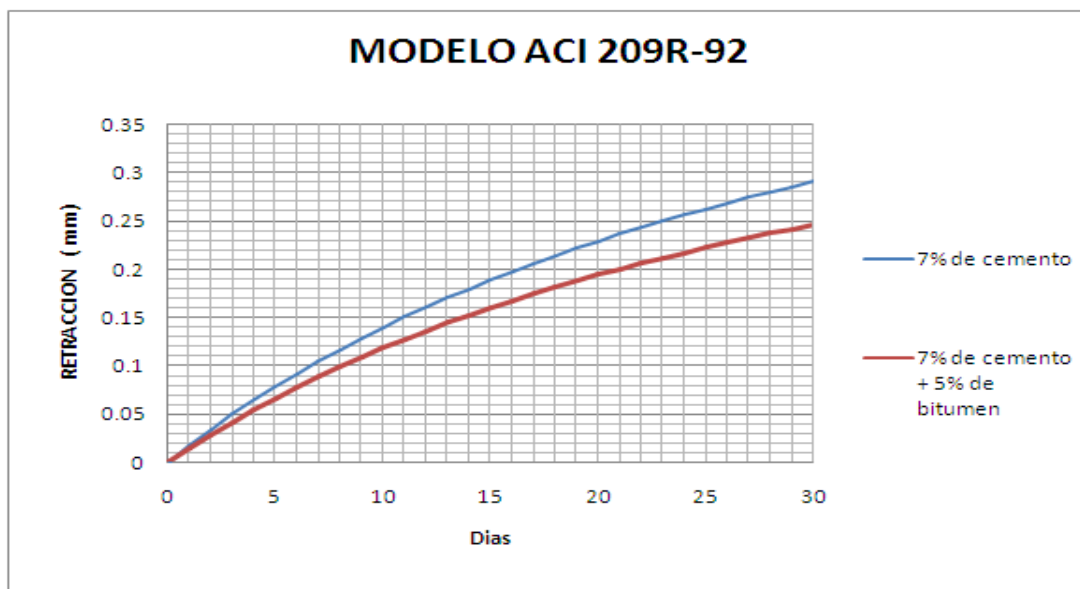


Figura 21. Modelo ACI 209R-92, 7 % Cemento.

Según el modelo ACI 209R-92 el suelo estabilizado con 7% de cemento alcanza una retracción de 0.29mm y el mismo adicionándole 5% de bitumen alcanza una retracción de 0.25mm, lo cual arroja una disminución del .13.5% en la retracción.

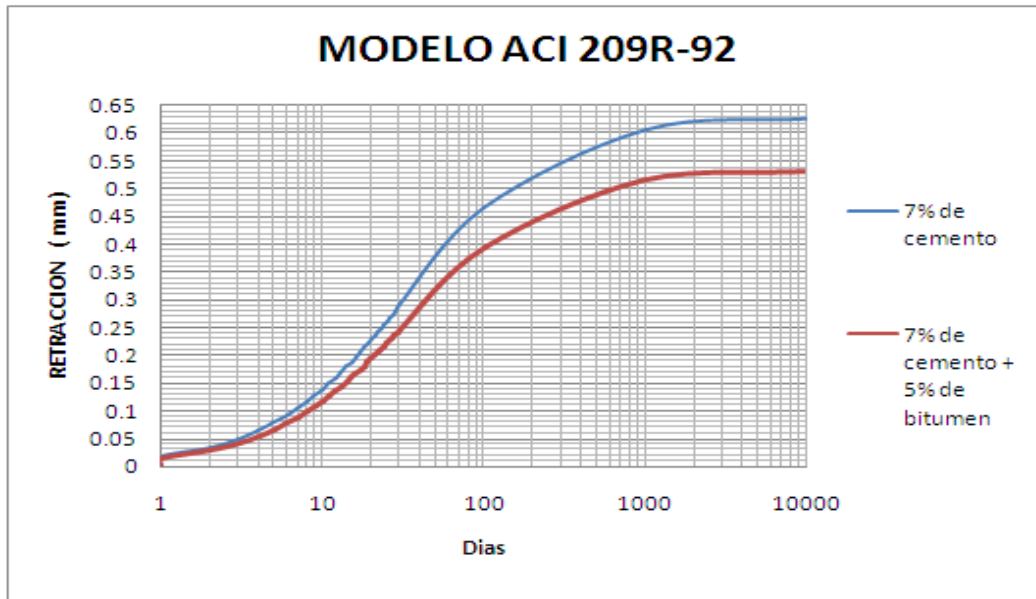


Figura 32. Modelo ACI 209R-92, 10000 días.

Según el comportamiento del suelo a largo plazo se afirma que a los 10000 días la reducción en la retracción es del 14%.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios realizados tienden a definir el cemento como una variable importante en el resultado final de la retracción. Esto se debe al comportamiento proporcional que se genera al adicionar una mayor cantidad de cemento al suelo que lleva respectivamente a un aumento en la retracción.

Al adicionarle el ligante bituminoso al suelo estabilizado con cemento se observa una disminución en la retracción final, lo que conlleva a la reducción de fisuras en las bases usadas en pavimentos.

Los resultados obtenidos son favorables confirmando que el ligante bituminosos reduce la retracción, al emplear este material se reducen costos y a la vez se hace un aporte al entorno ambiental reduciendo las explotaciones de canteras.

Es recomendable realizar varias probetas del mismo tipo de mezcla para garantizar más precisión a la hora de medir la retracción. Además realizar una comparación de la retracción de un mismo suelo utilizando probetas con diferentes dimensiones.

En el transcurso de la investigación observamos las ventajas que tiene trabajar en grupo de una forma organizada, sistematizada y proyectada a la elaboración de una buena investigación. Es indispensable llevar un reporte organizado de cada uno de los avances presentados en el proyecto que garanticen que a la hora de realizar el informe final se tenga información clara y concisa para la elaboración de este.

BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas de ensayos de materiales para carreteras.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de Tesis de Grado, NTC 1486 5^a actualización.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimento para carreteras. 2^a Edición. Bogotá. Universidad Católica de Colombia, 1998.

VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, calles y aeropistas; Principios generales de mecánica de suelos aplicados a la pavimentación. Buenos Aires. El Ateneo, 1976.

<http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm>. Suelo-cemento 1^a parte
INSTITUTO COLOMBIANO PRODUCTORES DE CEMENTO. Estabilizaciones con cemento aplicados a pavimentos; Propiedades de las mezcla.


ACI 209R-92, (1992). American Concrete Institute Committee 209, Prediction of Creep, Shrinkage and temperature effects in concrete structures.

Bissonnete, B., Pierre, P., Pigeon, M., (1999). Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials, Cement and Concrete Research, 25(5), pp. 1075-

Wittmann, F.H., (1982). Creep and shrinkage mechanisms, en *Creep and shrinkage in concrete structures*.

ANEXOS

ANEXO A. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del suelo a tratar.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO DE CARACTERIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA JULIO DEL 2009

PROYECTO _____

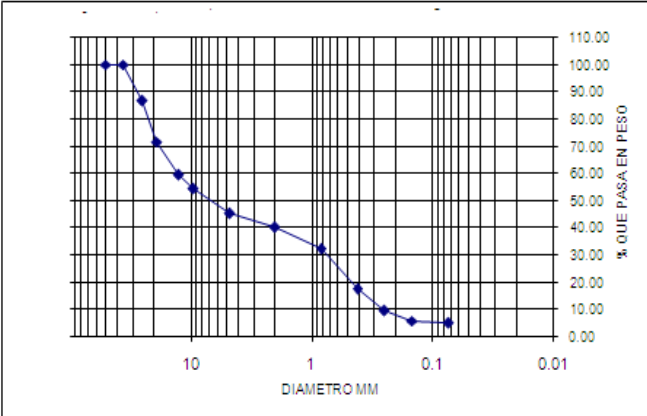
LOCALIZACION MATERIAL SUMINISTRAD DEL RIO DE ORO DE GIRON

PESO TARA (Kg)		
TARA-MUESTRA HUMEDA (Kg)		
TARA-MUESTRA SECA (Kg)		
PESO AGUA (Kg)		
PESO MUEST. SECA (Kg)		
HUMEDAD (%)		

PESO INICIAL DE LA MUESTRA kg: 135040.000

PORCENTAJE DE ERROR %: 0.99

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.0000	0.00	100.00	10	2	7058	5.23	40.12
1 1/2"	36.1	0.0000	0.00	100.00	20	0.84	10630	7.87	32.25
1"	25.4	18005	13.33	86.67	40	0.42	20060	14.85	17.39
3/4"	19.05	20250	15.00	71.67	60	0.25	10832	8.02	9.37
1/2"	12.7	16375	12.13	59.55	100	0.149	4818	3.57	5.80
3/8"	9.52	7090	5.25	54.30	200	0.074	992	0.73	5.07
No 4	4.75	12084	8.95	45.35	PASA 200	*****	5510		
SUMA	*****	73804.0000	54.65		SUMA	*****	59900.00	40.28	
					TOTAL		133704.00		




GRAVAS= 54.65 %

ARENAS = 40.28 %

FINOS= 5.07 %

ANEXO B. Ensayo de límite líquido y límite plástico.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO DE CARACTERIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA: JULIO DEL 2009

PROYECTO: EFEECTO DE LIGANTE BITUMINOSO DE LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO

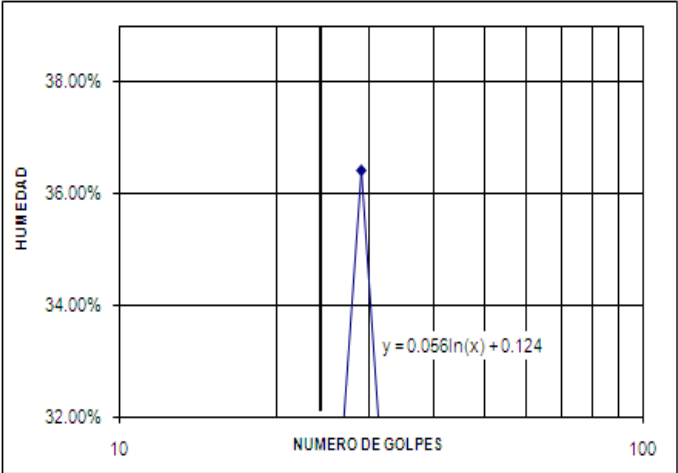
LOCALIZACION: MATERIAL SUMINISTRADO DEL RIO DE ORO

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO (g)	PESO CAPSULA + SUELO SECO (gr)	PESO DEL AGUA (gr)	PESO SUELO SECO (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	32	8.4	24.62	20.80	3.82	12.40	30.81%
2	29	8.1	18.10	15.43	2.67	7.33	36.43%
3	24	8.9	26.04	22.56	3.48	13.66	25.48%
4	10	8.5	48.10	39.90	8.20	31.40	26.11%

LIMITE PLASTICO

1	6.8300	26.6000	22.73	3.8700	15.9000	24.34%
2	7.0000	21.9000	18.80	3.1000	11.8000	26.27%




LIMITE LIQUIDO : 29.7%


LIM. PLASTICO : 25.3%

IND. DE PLASTI. : 4.4%


ANEXO C. Ensayo de abrasión de agregados en la máquina de los ángeles.

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER CENTRO DE CARACTERIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES INV E-218-219																																																																																																																					
FECHA	JULIO DE 2009																																																																																																																					
PROYECTO	EFEECTO DE LIGANTE BITUMINOSO DE LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMEN																																																																																																																					
LOCALIZACION	MATERIAL SUMINISTRADO DEL RIO DE ORO																																																																																																																					
DATOS SOBRE GRADACION , CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO</th> <th colspan="7">PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA</th> </tr> <tr> <th>PESO</th> <th>RETENIDO</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3"</td> <td>2 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2500</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 1/2"</td> <td>2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2500</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>1 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000</td> <td>5000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>1"</td> <td>1250</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000</td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td>1250</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>1250</td> <td>2500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>1250</td> <td>2500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>2500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3"</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>2500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4"</td> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">No de esferas</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>		TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA							PESO	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G	3"	2 1/2"					2500			2 1/2"	2"					2500			2"	1 1/2"					5000	5000		1 1/2"	1"	1250					5000	5000	1"	3/4"	1250						5000	3/4"	1/2"	1250	2500						1/2"	3/8"	1250	2500						3/8"	3			2500					3"	4			2500					4"	8				5000				No de esferas		12	11	8	6	12	12	12
TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA																																																																																																																				
PESO	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G																																																																																																														
3"	2 1/2"					2500																																																																																																																
2 1/2"	2"					2500																																																																																																																
2"	1 1/2"					5000	5000																																																																																																															
1 1/2"	1"	1250					5000	5000																																																																																																														
1"	3/4"	1250						5000																																																																																																														
3/4"	1/2"	1250	2500																																																																																																																			
1/2"	3/8"	1250	2500																																																																																																																			
3/8"	3			2500																																																																																																																		
3"	4			2500																																																																																																																		
4"	8				5000																																																																																																																	
No de esferas		12	11	8	6	12	12	12																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PRUEBAS</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gradación usada</td> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No de esferas</td> <td>11</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No de revoluciones</td> <td>500</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pa = muestra seca antes del ensayo (gr)</td> <td>5000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pb = peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12 (gr)</td> <td>4370</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pa-----Pb - perdida</td> <td>630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Desgaste = (Pa -Pb) / Pa *100</td> <td>13%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PRUEBAS	1	2	3	4	5	Gradación usada	B					No de esferas	11					No de revoluciones	500					Pa = muestra seca antes del ensayo (gr)	5000					Pb = peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12 (gr)	4370					Pa-----Pb - perdida	630					% Desgaste = (Pa -Pb) / Pa *100	13%																																																																									
PRUEBAS	1	2	3	4	5																																																																																																																	
Gradación usada	B																																																																																																																					
No de esferas	11																																																																																																																					
No de revoluciones	500																																																																																																																					
Pa = muestra seca antes del ensayo (gr)	5000																																																																																																																					
Pb = peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre tamiz No 12 (gr)	4370																																																																																																																					
Pa-----Pb - perdida	630																																																																																																																					
% Desgaste = (Pa -Pb) / Pa *100	13%																																																																																																																					

ANEXO D. Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento.

		<p>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL CENTRO DE CARACTERIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO INV E-230</p>				
FECHA	JULIO DEL 2009					
PROYECTO	EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO DE LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO					
LOCALIZACION	MATERIAL SUMINISTRADO DEL RIO DE ORO					
INDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL RETE.	% RETENIDO	% RETENIDO GRADACION	% RETENIDO CALIBRADR*
PASANTE	RETENIDO	GRAMOS	EN EL CALIBRADOR (gr)	EN EL CALIBRADROR	ORIGINAL	% RETENIDO GRAD. ORI.
1 1/2	1	3000	563	18.8	38.13	715.56
1"	3/4	1508	396	26.3	19.17	503.30
3/4"	1/2"	534	284	53.2	6.79	360.96
1/2"	3/8"	192	198	103.1	2.44	251.65
3/8	1/4"	2634				
SUMA =		7868	1441	201.34	66.52	1831.47
INDICE DE APLANAMIENTO						
TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL PASA.	% PASA	% RETENIDO GRADACION	% RETENIDO CALIBRADR*
PASANTE	RETENIDO	GRAMOS	EN EL CALIBRADOR (gr)	EN EL CALIBRADROR	ORIGINAL	% RETENIDO GRAD. ORI.
1 1/2	1	3000	188.0	6.3	38.13	238.94
1"	3/4	1508	132.0	8.8	19.17	167.77
3/4"	1/2"	534	95.0	17.8	6.79	120.74
1/2"	3/8"	192	66.0	34.4	2.44	83.88
3/8	1/4"	2634				
SUMA =		7868	481	67.19	66.52	611
Indice de Alargamiento =		27.5 %				
Indice de Aplanamiento =		9.2 %				

ANEXO E. Ensayo de Porcentaje de caras fracturadas.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO DE CARACTERIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS INV E-227

FECHA

JULIO DE 2009

PROYECTO

EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

LOCALIZACION


MATERIAL SUMINISTRAD DEL RIO DE ORO DE GIRON

TAMAÑO	A	B	C	D	E	F	G	H
	Peso Muestra	Peso Caras Fracturadas(gr)	peso de caras no fracturadas (gr)	peso caras cuestionables (gr)	%caras fracturadas	%caras no fracturadas	%caras cuestionables	% part con caras fracturadas
1 1/2" - 1"	3000	2482	290	228	82.7	9.7	7.6	86.53
1" - 3/4"	1500	1278	144	78	85.2	9.6	5.2	87.8
3/4" - 1/2"	500	408	56	36	81.6	11.2	7.2	85.2
1/2 - 3/8"	200	168	20	12	84.0	10	6	87
SUMA	5200	4336	510	364	333.5	40.5	26	

%CARAS FRACTURADAS 87 %

OBSERVACIONES : CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES REQUERIDAS

ANEXO F.1. Ensayo de compactación para el material estabilizado con 3% de cemento.



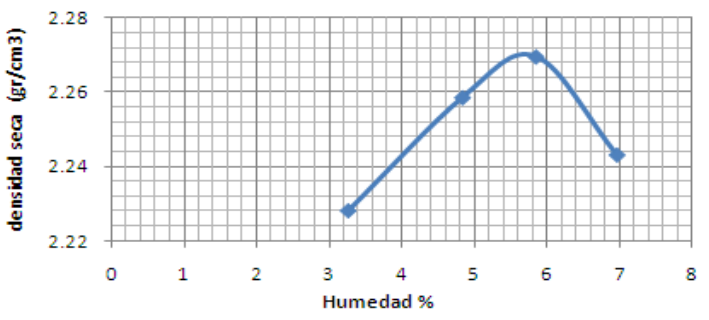
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION
INV E - 142

FECHA	: AGOSTO 2009							
PROYECTO	: EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CE							
LOCALIZACION	: MATERIAL RIO DE ORO							
MUESTRA	: 3% CEMENTO							
peso de la muestra	: 5500gr							

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO	
NUMERO DE CAPAS	5	
NUMERO DE GOLPES POR CARA	55	
MOLDE No	15	
DIAMETRO MOLDE (cm)	15.00	
ALTURA MOLDE (cm)	11.50	
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	2032.22	

PRUEBA NUMERO	1		2		3		4	
PESO TARA (gr)	70	70	70	70	100	100	120	120
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	482.0	480.0	427.0	428.0	480.0	480.0	550.0	550.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	470.0	466.0	412.0	410.0	458.0	460.0	522.0	522.0
PESO AGUA	12.0	14.0	15.0	18.0	22.0	20.0	28.0	28.0
PESO SOLIDO	400.0	396.0	342.0	340.0	358.0	360.0	402.0	402.0
HUMEDAD	3.0	3.5	4.4	5.3	6.1	5.6	7.0	7.0
PROMEDIO HUMEDAD %	3.27		4.84		5.85		6.97	


PESO MOLDE (gr)	6504	6504	6504	6504
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11180	11316	11386	11380
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4676	4812	4882	4876
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.301	2.368	2.402	2.399
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.23	2.26	2.27	2.24



The graph plots dry density (gr/cm³) on the y-axis (ranging from 2.22 to 2.28) against moisture (%) on the x-axis (ranging from 0 to 8). The data points from the table are plotted, showing a parabolic curve that reaches its maximum dry density of 2.27 gr/cm³ at an optimal moisture content of 5.2%.

DENSIDAD MAXIMA gr/cm ³	2.27
HUMEDAD OPTIMA %	5.2

ANEXO F.2. Ensayo de compactación para el material estabilizado con 5% de cemento



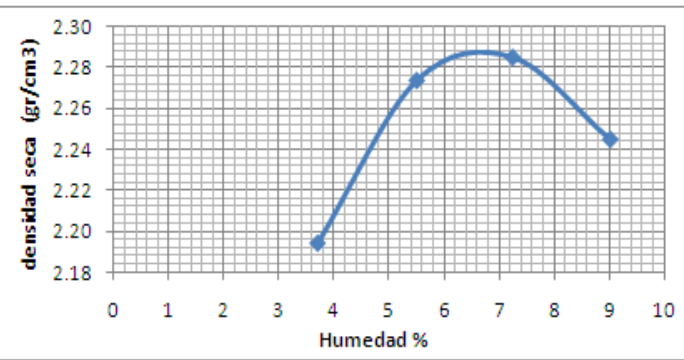
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION
INV E - 142

FECHA	: AGOSTO 2009
PROYECTO	: EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CE
LOCALIZACION	: MATERIAL SUMINISTRADO DEL RIO GIRON
MUESTRA	: 5% CEMENTO
peso de la muestra	: 5500gr

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CARA	55
MOLDE No	15
DIAMETRO MOLDE (cm)	15.00
ALTURA MOLDE (cm)	11.50
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	2032.22


PRUEBA NUMERO	1		2		3		4	
PESO TARA (gr)	50	50	60	60	70	70	120	120
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	439.0	442.0	480.0	482.0	500.0	498.0	532.0	530.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	427.0	426.0	458.0	460.0	470.0	470.0	498.0	496.0
PESO AGUA	12.0	16.0	22.0	22.0	30.0	28.0	34.0	34.0
PESO SOLIDO	377.0	376.0	398.0	400.0	400.0	400.0	378.0	376.0
HUMEDAD	3.2	4.3	5.5	5.5	7.5	7.0	9.0	9.0
PROMEDIO HUMEDAD %	3.72		5.51		7.25		9.02	

	1	2	3	4
PESO MOLDE (gr)	6504	6504	6504	6504
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11129	11380	11485	11478
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4625	4876	4981	4974
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.276	2.399	2.451	2.448
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.19	2.27	2.29	2.25



DENSIDAD MAXIMA gr/cm ³	2.29
HUMEDAD OPTIMA %	6.4

ANEXO F.3. Ensayo de compactación para el material estabilizado con 7% de cemento



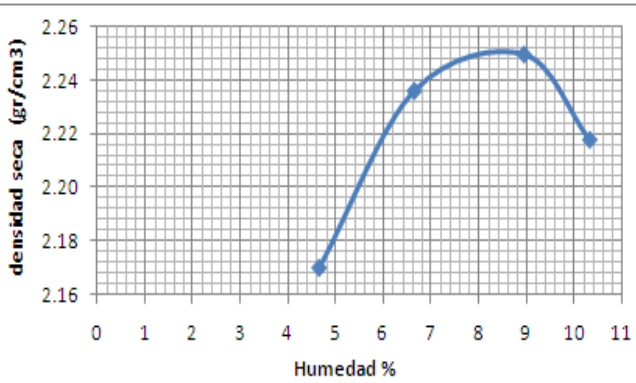
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION
INV E - 142

FECHA	: AGOSTO 2009							
PROYECTO	: EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CE							
LOCALIZACION	: MATERIAL SUMINISTRADO RIO DE ORO GIRON							
MUESTRA	: 7% CEMENTO							
peso de la muestra	: 5500gr							

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO	
NUMERO DE CAPAS	5	
NUMERO DE GOLPES POR CARA	55	
MOLDE No	15	
DIAMETRO MOLDE (cm)	15.00	
ALTURA MOLDE (cm)	11.50	
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	2032.22	


PRUEBA NUMERO	1		2		3		4	
PESO TARA (gr)	70	70	100	100	100	100	120	120
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	452.0	452.0	502.0	500.0	500.0	504.0	505.0	505.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	435.0	435.0	476.0	476.0	468.0	470.0	470.0	468.0
PESO AGUA	17.0	17.0	26.0	24.0	32.0	34.0	35.0	37.0
PESO SOLIDO	365.0	365.0	376.0	376.0	368.0	370.0	350.0	348.0
HUMEDAD	4.7	4.7	6.9	6.4	8.7	9.2	10.0	10.6
PROMEDIO HUMEDAD %	4.66		6.65		8.94		10.32	

	1	2	3	4
PESO MOLDE (gr)	6504	6504	6504	6504
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	11120	11350	11484	11476
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4616	4846	4980	4972
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.271	2.385	2.451	2.447
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.17	2.24	2.25	2.22



DENSIDAD MAXIMA gr/cm ³	2.25
HUMEDAD OPTIMA %	7.6

ANEXO F.4. Ensayo de compactación para el material estabilizado con 3% de cemento Y 5% de ligante bituminoso.



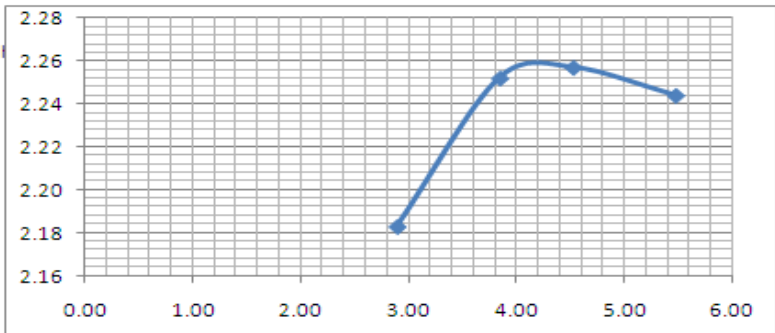
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION
INV E - 142

FECHA	: AGOSTO 2009
PROYECTO	: EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO
LOCALIZACION	: MATERIAL DEL RIO DE ORO GIRON
MUESTRA	: 3% CEMENTO Y 5% BITUMEN
PESO DE LA MUESTRA	: 5500 gr

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CARA	55
MOLDE No	15
DIAMETRO MOLDE (cm)	15.00
ALTURA MOLDE (cm)	11.00
VOLUMEN MOLDE (cm3)	1943.87


PRUEBA NUMERO	1		2		3		4	
PESO TARA (gr)	40	40	50	50	70	70	50	50
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	396.0	396.0	496.0	496.0	428.0	428.0	416.0	416.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	386.0	386.0	478.0	481.0	412.0	413.0	396.0	398.0
PESO AGUA	10.0	10.0	18.0	15.0	16.0	15.0	20.0	18.0
PESO SOLIDO	346.0	346.0	428.0	431.0	342.0	343.0	346.0	348.0
HUMEDAD	2.9	2.9	4.2	3.5	4.7	4.4	5.8	5.2
PROMEDIO HUMEDAD %	2.89		3.84		4.53		5.48	

	1	2	3	4
PESO MOLDE (gr)	6504	6504	6504	6504
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	10870	11050	11090	11105
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4366	4546	4586	4601
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.246	2.339	2.359	2.367
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.18	2.25	2.26	2.24



DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.26
HUMEDAD OPTIMA %	4.2

ANEXO F.5. Ensayo de compactación para el material estabilizado con 5% de cemento Y 5% de ligante bituminoso.



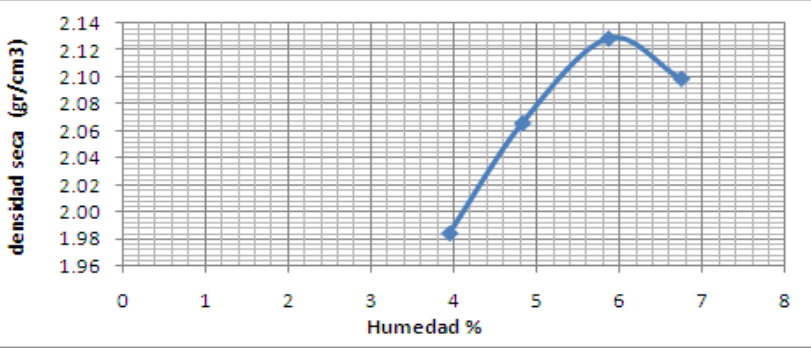
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION
INV E - 142

FECHA	= AGOSTO 2009		
PROYECTO	: EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO		
LOCALIZACION	= MATERIAL SUMINISTRADO DEL RIO DE ORO.. GIRON		
MUESTRA	= 5% CEMENTO Y 5% BITUMEN		
PESO DE LA MUESTRA	= 5500 gr		

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CARA	55
MOLDE No	15
DIAMETRO MOLDE (cm)	15.00
ALTURA MOLDE (cm)	11.50
VOLUMEN MOLDE (cm3)	2032.22


PRUEBA NUMERO	1		2		3		4	
PESO TARA (gr)	40	40	80	80	100	100	100	120
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	436.0	436.0	504.0	504.0	452.0	452.0	490.0	490.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	422.0	420.0	483.0	486.0	433.0	432.0	466.0	466.0
PESO AGUA	14.0	16.0	21.0	18.0	19.0	20.0	24.0	24.0
PESO SOLIDO	382.0	380.0	403.0	406.0	333.0	332.0	366.0	346.0
HUMEDAD	3.7	4.2	5.2	4.4	5.7	6.0	6.6	6.9
PROMEDIO HUMEDAD %	3.94		4.82		5.86		6.75	

PESO MOLDE (gr)	6504	6504	6504	6504
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	10694	10905	11085	11058
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4190	4401	4581	4554
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.062	2.166	2.254	2.241
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.98	2.07	2.13	2.10



DENSIDAD MAXIMA gr/cm3	2.13
HUMEDAD OPTIMA %	5.3

ANEXO F.6. Ensayo de compactación para el material estabilizado con 7% de cemento Y 5% de ligante bituminoso.



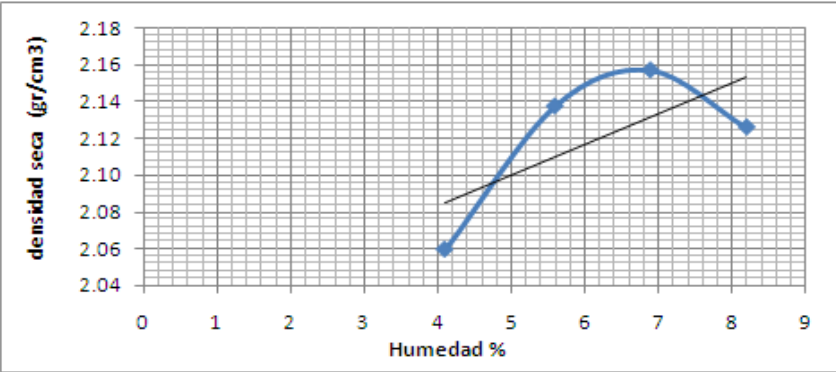
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE COMPACTACION
INV E - 142

FECHA	= AGOSTO 2009
PROYECTO	= EFECTO DE LIGANTE BITUMINOSO EN LA RETRACCION DE FRAGUADO EN BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO
LOCALIZACION	= MATERIAL SUMINISTRADO DEL RIO DE ORO GIRON
MUESTRA	: 7% CEMENTO Y 5% BITUMEN
PESO DE LA MUESTRA	: 5500 gr

TIPO DE ENSAYO	MODIFICADO
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES POR CARA	55
MOLDE No	15
DIAMETRO MOLDE (cm)	15.00
ALTURA MOLDE (cm)	11.50
VOLUMEN MOLDE (cm ³)	2032.22

PRUEBA NUMERO	1		2		3		4	
PESO TARA (gr)	70	70	60	60	50	50	100	100
PESO DE TARA + SUELO HUMEDO (gr)	350.0	350.0	438.0	438.0	376.0	376.0	450.0	450.0
PESO DE TARA + SUELO SECO (gr)	338.0	340.0	418.0	418.0	355.0	355.0	424.0	423.0
PESO AGUA	12.0	10.0	20.0	20.0	21.0	21.0	26.0	27.0
PESO SOLIDO	268.0	270.0	358.0	358.0	305.0	305.0	324.0	323.0
HUMEDAD	4.5	3.7	5.6	5.6	6.9	6.9	8.0	8.4
PROMEDIO HUMEDAD %	4.09		5.59		6.89		8.19	

	1	2	3	4
PESO MOLDE (gr)	6504	6504	6504	6504
PESO DE MOLDE + SUELO HUMEDO (gr)	10860	11090	11189	11178
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4356	4586	4685	4674
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	2.143	2.257	2.305	2.300
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	2.06	2.14	2.16	2.13



DENSIDAD MAXIMA gr/cm ³	2.16
HUMEDAD OPTIMA %	6.2

ANEXOS G. RETRACCIÓN EXPERIMENTAL

MEZCLA 1. BASE GRANULAR + PORCENTAJES DE CEMENTO

- BASE GRANULAR CON 3% CEMENTO

Probeta 1		Probeta 2	
3% cemento			
Días	Retracción	Días	Retracción
0	0.000	0	0
1	0.009	1	0.0082
2	0.014	2	0.0099
3	0.018	3	0.0138
4	0.019	4	0.0156
5	0.020	5	0.0194
6	0.026	6	0.0242
7	0.035	7	0.033
8	0.039	8	0.0358
9	0.045	9	0.0406
10	0.059	10	0.0654
11	0.069	11	0.072
12	0.077	12	0.085
13	0.089	13	0.09
14	0.099	14	0.099
15	0.108	15	0.112
20	0.122	20	0.128
25	0.153	25	0.1552
30	0.176	30	0.18

- BASE GRANULAR CON 5% DE CEMENTO

Probeta 1		Probeta 2	
5% cemento			
Días	Retracción	Días	Retracción
0	0.000	0	0.000
1	0.006	1	0.006
2	0.019	2	0.018
3	0.027	3	0.029
4	0.036	4	0.038
5	0.045	5	0.041
6	0.055	6	0.055
7	0.065	7	0.061
8	0.071	8	0.086
9	0.088	9	0.088
10	0.099	10	0.107
11	0.111	11	0.111
12	0.123	12	0.123
13	0.134	13	0.138
14	0.146	14	0.156
15	0.158	15	0.168
20	0.198	20	0.198
25	0.225	25	0.23
30	0.242	30	0.244

- BASE GRANULAR CON 7% DE CEMENTO

Probeta 1		Probeta 2	
7% cemento			
Días	Retracción	Días	Retracción
0	0.000	0	0.000
1	0.007	1	0.005
2	0.020	2	0.020
3	0.029	3	0.025
4	0.033	4	0.035
5	0.055	5	0.055
6	0.066	6	0.076
7	0.080	7	0.093
8	0.093	8	0.093
9	0.106	9	0.106
10	0.120	10	0.130
11	0.125	11	0.132
12	0.126	12	0.127
13	0.154	13	0.159
14	0.162	14	0.163
15	0.166	15	0.182
20	0.228	20	0.228
25	0.275	25	0.288
30	0.302	30	0.305

MEZCLA 2. BASE GRANULAR + PORCENTAJES DE CEMENTO+BITUMEN

- **BASE GRANULAR CON 3% DE CEMENTO + 5% BITUMEN**

Probeta 1		Probeta 2	
3% cemento + 5% de bitumen			
Días	Retracción	Días	Retracción
0	0.000	0	0.000
1	0.009	1	0.008
2	0.013	2	0.010
3	0.017	3	0.014
4	0.019	4	0.016
5	0.020	5	0.019
6	0.020	6	0.024
7	0.025	7	0.033
8	0.029	8	0.036
9	0.035	9	0.041
10	0.049	10	0.065
11	0.059	11	0.062
12	0.067	12	0.085
13	0.088	13	0.090
14	0.089	14	0.099
15	0.100	15	0.110
20	0.120	20	0.128
25	0.133	25	0.136
30	0.146	30	0.145

- BASE GRANULAR CON 5% DE CEMENTO + 5% BITUMEN

Probeta 1		Probeta 2	
5% cemento + 5% de bitumen			
Días	Retracción	Días	Retracción
0	0.000	0	0.000
1	0.006	1	0.006
2	0.019	2	0.018
3	0.027	3	0.029
4	0.036	4	0.038
5	0.045	5	0.041
6	0.055	6	0.055
7	0.055	7	0.061
8	0.071	8	0.086
9	0.088	9	0.088
10	0.099	10	0.107
11	0.111	11	0.111
12	0.120	12	0.123
13	0.124	13	0.130
14	0.136	14	0.140
15	0.158	15	0.156
20	0.178	20	0.17
25	0.1805	25	0.183
30	0.1842	30	0.19

- BASE GRANULAR CON 5% DE CEMENTO + 5% BITUMEN

Probeta 1		Probeta 2	
7% cemento + 5% de bitumen			
Días	Retracción	Días	Retracción
0	0.000	0	0.000
1	0.007	1	0.005
2	0.020	2	0.020
3	0.029	3	0.025
4	0.033	4	0.035
5	0.055	5	0.055
6	0.066	6	0.076
7	0.080	7	0.093
8	0.093	8	0.093
9	0.106	9	0.106
10	0.120	10	0.126
11	0.124	11	0.130
12	0.126	12	0.121
13	0.144	13	0.149
14	0.152	14	0.153
15	0.156	15	0.155
20	0.178	20	0.175
25	0.188	25	0.185
30	0.192	30	0.1905

ANEXOS H. RETRACCIÓN CALCULADA POR EL MODELO ACI 209R-92, (1992)

- BASE GRANULAR CON EL 3% DE CEMENTO

Suelo 3%	
γ_{cp}	1,200
γ_{λ}	1,400
γ_{vs}	0,958
γ_s	1,000
γ_{ψ}	0,304
γ_c	0,950
γ_{α}	0,950

γ_{sh}	0.442
---------------	-------

SUELO + 3% CEMENTO	
$(\epsilon_{sh})_u$	0.34442145
DIAS	E..T
0	0
1	0.010
2	0.019
3	0.027
4	0.035
5	0.043
6	0.050
7	0.057
8	0.064
9	0.070
10	0.077
11	0.082
12	0.088
13	0.093
14	0.098
15	0.103
16	0.108
17	0.113
18	0.117
19	0.121
20	0.125
21	0.129
22	0.133
23	0.137
24	0.140
25	0.144
26	0.147
27	0.150
28	0.153
29	0.156
30	0.159
100	0.255
1000	0.333
10000	0.343

- BASE GRANULAR CON EL 5% DE CEMENTO

Suelo 5%	
γ_{cp}	1,200
γ_{λ}	1,400
γ_{vs}	0,958
γ_s	1,000
γ_{ψ}	0,304
γ_c	1.2
γ_{α}	0,950

γ_{sh}	0.558
---------------	-------

SUELO + 5% CEMENTO	
$(\epsilon_{sh})_u$	0.435
DIAS	E..T
0	0
1	0.012
2	0.024
3	0.034
4	0.045
5	0.054
6	0.064
7	0.073
8	0.081
9	0.089
10	0.097
11	0.104
12	0.111
13	0.118
14	0.124
15	0.131
16	0.136
17	0.142
18	0.148
19	0.153
20	0.158
21	0.163
22	0.168
23	0.173
24	0.177
25	0.181
26	0.185
27	0.189
28	0.193
29	0.197
30	0.201
100	0.322
1000	0.420
10000	0.434

- BASE GRANULAR CON EL 7% DE CEMENTO

Suelo 7%	
γ_{cp}	1,200
γ_{λ}	1,400
γ_{vs}	0,958
γ_s	1,000
γ_{ψ}	0,304
γ_c	1.5
γ_{α}	0,950

γ_{sh}	0.544
---------------	-------

SUELO + 7% CEMENTO	
$(\epsilon_{sh})_u$	0.544
DIAS	E..T
0	0
1	0.015
2	0.029
3	0.043
4	0.056
5	0.068
6	0.080
7	0.091
8	0.101
9	0.111
10	0.121
11	0.130
12	0.139
13	0.147
14	0.155
15	0.163
16	0.171
17	0.178
18	0.185
19	0.191
20	0.198
21	0.204
22	0.210
23	0.216
24	0.221
25	0.227
26	0.232
27	0.237
28	0.242
29	0.246
30	0.251
100	0.403
1000	0.525
10000	0.542

- BASE GRANULAR CON EL 3% DE CEMENTO+ 5% BITUMEN

Suelo 3% cem.+5% Bit.	
γ_{cp}	1,200
γ_{λ}	1,400
γ_{vs}	0,958
γ_s	0.9
γ_{ψ}	0,304
γ_c	0,95
γ_a	1
γ_{sh}	0.418

SUELO 3% Cem.+5%Bit.	
$(\epsilon_{sh})_u$	0.326294003
DIAS	E..T
0	0
1	0.009
2	0.018
3	0.026
4	0.033
5	0.041
6	0.048
7	0.054
8	0.061
9	0.067
10	0.073
11	0.078
12	0.083
13	0.088
14	0.093
15	0.098
16	0.102
17	0.107
18	0.111
19	0.115
20	0.119
21	0.122
22	0.126
23	0.129
24	0.133
25	0.136
26	0.139
27	0.142
28	0.145
29	0.148
30	0.151
100	0.242
1000	0.315
10000	0.325

- BASE GRANULAR CON EL5% DE CEMENTO+ 5% BITUMEN

Suelo 5%cem.+5%Bit.	
γ_{cp}	1,200
γ_{λ}	1,400
γ_{vs}	0,958
γ_s	0.9
γ_{ψ}	0,304
γ_c	1.2
γ_{α}	1
γ_{sh}	0.528

SUELO 5% Cem.+5%Bit.	
$(E_{sh})_u$	0.412
DIAS	E..T
0	0
1	0.011
2	0.022
3	0.033
4	0.042
5	0.052
6	0.060
7	0.069
8	0.077
9	0.084
10	0.092
11	0.099
12	0.105
13	0.112
14	0.118
15	0.124
16	0.129
17	0.135
18	0.140
19	0.145
20	0.150
21	0.155
22	0.159
23	0.163
24	0.168
25	0.172
26	0.176
27	0.179
28	0.183
29	0.187
30	0.190
100	0.305
1000	0.398
10000	0.411

- BASE GRANULAR CON EL5% DE CEMENTO+ 5% BITUMEN

Suelo 7% Cem.+5%Bit.	
γ_{cp}	1,200
γ_{λ}	1,400
γ_{vs}	0,958
γ_s	0.9
γ_{ψ}	0,304
γ_c	1.5
γ_{α}	1
γ_{sh}	0.661

SUELO 7% Cem.+5%Bit.	
$(\epsilon_{sh})_u$	0.515
DIAS	E..T
0	0
1	0.014
2	0.028
3	0.041
4	0.053
5	0.064
6	0.075
7	0.086
8	0.096
9	0.105
10	0.114
11	0.123
12	0.132
13	0.140
14	0.147
15	0.155
16	0.162
17	0.168
18	0.175
19	0.181
20	0.187
21	0.193
22	0.199
23	0.204
24	0.210
25	0.215
26	0.220
27	0.224
28	0.229
29	0.233
30	0.238
100	0.382
1000	0.498
10000	0.513