

RELLENOS CON MORTEROS FLUIDOS DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA

JESÚS NIBALDO MORA CAICEDO

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

SAN JUAN DE PASTO

2003

RELLENOS CON MORTEROS FLUIDOS DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA

JESÚS NIBALDO MORA CAICEDO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO

2003

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, 6 de Marzo de 2003

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de su autor”

Art.1, del acuerdo número 324 de octubre 11 de 1966 emanado del honorable concejo directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres: Pablo Colon y Chavita. a mi hermano Geiman, a mis abuelas Isabel y Beatriz, a la familia Erazo. A mis amigos, familiares y a mi novia Nayibe.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la serenidad y el aliento necesario para culminar con este proyecto.

A mis padres, Pablo Colon y Chavita por el apoyo incondicional y desmedido en el curso de mi vida y por la contribución en la formación de la persona que soy. A Geiman, mi hermano por su cariño y apoyo sincero. A la familia Erazo quienes me acogieron en su hogar como otro miembro de su familia. A Yibita, mi novia, amiga y compañera por su amor y apoyo que desprendidamente me ha brindado. A mis familiares y amigos, quienes siempre han estado allí, donde mas se necesita, y han participado día a día en mi vida.

A Herney Lasso laboratorista de la Universidad de Nariño, al ing. Manuel Mesías jefe de producción Concretos del Sur, a José Joaquín Henao laboratorista Concretos Premezclados de la ciudad de Cali, a Rodrigo Soto laboratorista Concretos de Occidente, al ing. Luis Carlos Rendón, al ing. Javier Erazo, a Gustavo Ponce, a los hermanos Emilio y Hugo Coral por su apoyo y amistad. A las diferentes empresas que apoyaron a esta investigación, a todos un enorme agradecimiento, sin ellas este proyecto no existiría.

A la Universidad de Nariño por la formación académica, especialmente a la facultad de ingeniería

.Jesús Nibaldo Mora Caicedo

GLOSARIO

CURADO: proceso mediante el cual se controla y se mantiene un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en una masa de concreto o mortero.

ENDURECIMIENTO: proceso de adquisición de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

ESPECIMENES: cilindros elaborados con muestra de relleno fluido o material de baja resistencia controlada.

ESTADO PLÁSTICO: periodo previo al endurecimiento, en este estado se lleva a cabo el fraguado.

EXUDACIÓN: sangrado, consiste en que parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie del concreto o del mortero recién colocado o durante el proceso de fraguado.

FRAGUADO: velocidad de cambio de estados, del estado plástico al estado endurecido.

RETRACCIÓN: contracción de una masa cuando aun el material esta en estado fresco, por lo común genera fisuras o microfisuras en la superficie.

SEGREGACIÓN: separación de los materiales que constituyen una masa heterogénea, de manera que su distribución deje de ser uniforme por falta de cohesión.

TRASDOS: superficie exterior que esta detrás de una estructura como de muros, columnas, pilastras, etc.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es investigar las aplicaciones y eficiencia de los materiales de baja resistencia controlada como sustituyente de suelo granular, mediante la evaluación de propiedades físico- mecánicas, con el fin de hacer una comparación entre estos dos materiales. Para esto se realizó una selección, muestreo y análisis de material granular de cuatro canteras de la ciudad de Pasto como lo son: cantera Woodcock, Pabón, la Lorian y las Terrazas. A fin de cumplir con otro objetivo de la investigación, se lleva a cabo en el laboratorio de materiales de la Universidad de Nariño, el diseño de los MBRC; utilizando en sus diferentes mezclas recebo fino (pasante 3/8”), suelo, arena blanca cemento agua y aditivo.

Las propiedades determinadas a los MBRC fueron: resistencia a la compresión, capacidad de soporte, peso unitario, consistencia y cambios volumétricos. Los resultados obtenidos fueron procesados y analizados a fin de realizar la comparación con el material granular.

Como parte importante para este trabajo, se lleva a cabo la ejecución de 350 m³ de relleno fluido en la construcción del bloque de medicina, en donde se verifica sus principales propiedades tanto en estado fresco como endurecido.

Finalmente como parte de la investigación se formulan algunas conclusiones y recomendaciones, que son de importancia para la realización de trabajos con relleno fluido y para investigaciones futuras.

ABSTRACT

The objective of this work is to investigate the applications and efficiency of the decrease materials resistance controlled as substitute you of granular soil, through the physical properties evaluation - mechanical, in order to make a comparison between these material two. For this was accomplished a selection, sampling and granular material analysis of four canteras of the Pasto city as it are: cantera Woodcock, Pabón, the Loriana and the Terrazas. In order to complying with objective other of the investigation, is carried out in the materials laboratory of the University of Nariño, the design of the MBRC; using in their/its different mix recebo fine (passing 3/8"), soil, white sand water cement and additive.

The properties determined to the MBRC were: resistance to the compression, support capacity, unitary weight, soundness and changes volumétricos. The obtained results were processed and analyzed in order to accomplishing the comparison with the granular material.

As important part for this work, is carried out the execution of 350 m³ of landfill flowed in the construction of the medicine block, in which is verified their/its principal properties so much in fresh state as toughened.

Finally as part of the investigation are formulated some conclusions and recommendations, that they are of importance for the projects accomplishment with flowing landfill and for future investigations.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	24
1. OBJETIVOS	26
1.1 OBJETIVO GENERAL	26
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
2 MARCO TEÓRICO	27
2.1 GENERALIDADES	27
2.2 DIFINICIÓN	31
2.3 MATERIALES	32
2.3.1 Cemento	33
2.3.2 Agua	36
2.3.3 Agregados	36
2.3.4 Aditivos	37
2.3.5 Otras Adiciones	38
2.4 PROPIEDADES DEL RELLENO FLUIDO	39
2.5 APLICACIONES DEL RELLENO FLUIDO	43
2.6 PREPARACIÓN Y PUESTA EN OBRA	47
2.7 CONTROL DE CALIDAD	49

2.8	VENTAJAS DEL USO DEL RELLENO FLUIDO EN ZANJAS	51
3	METODOLOGÍA	54
3.1	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	54
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	54
3.3	SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES	55
3.4	ELABORACION DE LAS MEZCLAS Y MOLDEO DE LOS ESPECÍMENES	57
3.5	PREPARACIÓN, MONTAJE Y EJECUCIÓN DE ENSAYOS	58
3.6	ELABORACIÓN DE LAS ZANJAS DE PRUEBA	61
3.7	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	62
3.8	RECOMENDACIONES E INFORMES	62
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
4.1.	CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS	63
4.1.1.	Fuentes de Variación en la Resistencia del Relleno Fluido	63
4.1.2.	Distribución de Frecuencias de la Resistencia	64
4.1.3.	Análisis Estadístico	65
4.1.4.	Calificación del Control	70
4.2.	TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN	72
4.3.	MEZCLAS PILOTO	74
4.4.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	76
4.5.	CAPACIDAD DE SOPORTE C.B.R	103

4.6.	PESO UNITARIO, CONSISTENCIA Y CAMBIOS VOLUMETRICOS	103
4.6.1.	Peso Unitario	103
4.6.2.	Consistencia	104
4.6.3.	Cambios Volumétricos	106
4.7	VERIFICACION Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL RELLENO FLUIDO EN OBRA	107
4.7.1.	Mezclas de Prueba	109
4.7.2.	Puesta en Obra del Material	110
4.7.3.	Análisis Comparativo	113
4.8	TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL GRANULAR	115
4.9	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL RELLENO FLUIDO Y EL RELLENO GRANULAR TRADICIONAL	120
4.9.1.	Precios Unitarios Relleno Fluido	124
4.9.2.	Precios Unitarios Material Granular	128
5	CONCLUSIONES	133
6	RECOMENDACIONES	136
	BIBLIOGRAFÍA	138

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Algunas aplicaciones del relleno fluido según su resistencia.	42
Cuadro 2. Tipos de excavaciones de acuerdo a la resistencia del relleno fluido.	43
Cuadro 3. Normas para el control del concreto con relación a la variación dentro de la prueba.	71
Cuadro 4. Mezclas piloto.	75
Cuadro 5. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar, dosificación 1:5.	78
Cuadro 6. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar, dosificación 1:10.	80
Cuadro 7. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar, dosificación 1:15.	82

Cuadro 8. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar, dosificación 1:20.	84
Cuadro 9. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar, dosificación 1:25.	85
Cuadro 10. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar con aditivo, dosificación 1:10.	87
Cuadro 11. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar con aditivo, dosificación 1:15.	89
Cuadro 12. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar con aditivo, dosificación 1:20.	90
Cuadro 13. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Arena negra sin lavar con aditivo, dosificación 1:25.	92
Cuadro 14. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Suelo, consistencia según ASTM C 939, dosificación 1:5.	94
Cuadro 15. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Suelo,	

consistencia según ASTM C 939, dosificación 1:10.	95
Cuadro 16. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Suelo, consistencia según NTC 396, dosificación 1:10.	97
Cuadro 17. Análisis de resultados de resistencia a la compresión. Suelo, consistencia según NTC 396, dosificación 1:15.	99
Cuadro 18. Valores de CBR para los diferentes materiales y dosificaciones.	103
Cuadro 19. Peso unitario para los diferentes materiales.	104
Cuadro 20. Valores de consistencia para los diferentes materiales y usos.	105
Cuadro 21. Cambios volumétricos para los diferentes materiales y dosificaciones.	106
Cuadro 22. Información general y cantidad de materiales relleno con mortero fluido.	107
Cuadro 23. Mezclas de prueba con el material de excavación para el bloque de medicina.	109

Cuadro 24. Resistencia a la compresión relleno fluido bloque de medicina.	112
Cuadro 25. Resumen ensayos de laboratorio material granular.	119
Cuadro 26. Resumen comparativo.	123

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Defectos provocados por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas: hundimiento de calzada y acera.	28
Figura 2. Rompimiento de la calzada originada por un relleno incorrecto.	30
Figura 3. Componentes de los rellenos fluidos.	34
Figura 4. Relleno de una zanja después de la instalación de una tubería.	44
Figura 5. Relleno en una pequeña obra de fabrica.	46
Figura 6. Relleno de una zanja con mortero fluido: vertido directo desde el camión hormigonera.	48
Figura 7. Medida de la consistencia de un mortero fluido con el cono de Abrams.	50
Figura 8. Especimenes elaborados con mortero fluido.	58

Figura 9. Montaje del ensayo a compresión de cilindros.	76
Figura 10. Cilindros ensayados.	77
Figura 11. Resistencia a la compresión vs edad. Arena negra sin lavar.	101
Figura 12. Resistencia a la compresión vs edad. Arena negra sin lavar con aditivo.	102
Figura 13. Resistencia a la compresión vs edad. Suelo.	102
Figura 14. Vista general construcción facultad de medicina.	108
Figura 15. Relleno fluido vaciado directo desde el trompo mezclador.	111
Figura 16. Costo directo metro cúbico de material: bloque de medicina.	115
Figura 17. Rangos de resistencia a la compresión para los materiales.	129
Figura 18. Rangos de capacidad de soporte para los materiales.	130
Figura 19. Rendimientos promedios de puesta en obra.	130

Figura 20. Costo directo promedio metro cúbico para bases.	131
Figura 21. Costo directo promedio metro cúbico para sub-bases.	131
Figura 22. Costo directo promedio metro cúbico para relleno de zanjas.	132

INTRODUCCIÓN

Las empresas proveedoras de hormigón elaborado en nuestro país, como en otros países adelantados del mundo, desarrollaron e incursionaron al mercado a finales de 1998 los denominados morteros fluidos, rellenos de densidad controlada o como los mencionan algunos autores MBRC (materiales de baja resistencia controlada). El relleno fluido se caracteriza por ser un muy buen material cuyo destino principal es el reemplazo de suelo compactado en el relleno de zanjas, bases de pavimentos, nivelación de terrenos y cavidades de difícil acceso que requieren ser rellenadas.

Hoy por hoy, el desarrollo acelerado de la civilización y la tecnología requiere de la colocación en el subsuelo de nuevos ductos (gas, acueducto, alcantarillado, cables eléctricos, energía, comunicaciones) que requieren de la apertura de zanjas de anchos variables y las que hasta ahora se rellenan con suelo, que debe ser compactado en capas en forma adecuada, par evitar asentamientos posteriores a su ejecución, a través de una energía mecánica de compactación y de una humedad optima; en cambio los rellenos con materiales de baja resistencia controlada presentan una fluidez específicamente diseñada para permitir el relleno total de las cavidades de una excavación, logrando las mejores condiciones de valor de soporte sin necesidad de compactación alguna, especialmente en las áreas de difícil acceso donde los suelos no pueden ser compactados debidamente.

Durante el desarrollo de este proyecto se ha realizado una serie de investigaciones para conocer sus diferentes aplicaciones, como también pruebas para observar y analizar su

comportamiento; utilizando en su producción diferentes materiales y buscando siempre emplear el que exista en la región. Las pruebas realizadas (físico-mecánicas) se han orientado a evaluar las características del relleno fluido, que son importantes en su utilización como sustituto del material granular.

De allí la finalidad del presente proyecto, obtener mediante resultados de ensayos a compresión directa de cilindros y capacidad de soporte, unos valores que permitan dar a conocer este producto que por sus aplicaciones y versatilidad se convierte en una buena solución a los problemas e inconvenientes que presenta el uso de material granular.

Además de los resultados de laboratorio obtenidos, se encuentra en este trabajo un reporte de precios unitarios de las actividades mas realizadas con material granular, de igual forma costos directos del relleno fluido para los diferentes materiales, dosificaciones y equipos de preparación. Se encontrara además resultados y análisis de la ejecución del relleno fluido realizado en la etapa de construcción de la facultad de medicina que la Universidad de Nariño en la actualidad adelanta; de igual forma las conclusiones y recomendaciones manifestadas son el resultado de la investigación generalizada de las aplicaciones del relleno fluido.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Investigar las aplicaciones y eficiencia de los materiales de baja resistencia controlada MBRC como sustituyente de suelo granular, mediante la evaluación de propiedades físico-mecánicas, con el fin de realizar una comparación entre estos dos tipos de materiales.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una selección, muestreo y ensayos de laboratorio de suelo granular de las canteras más representativas de la ciudad de Pasto, con el fin de obtener sus principales características.
- Diseñar en el laboratorio los materiales de baja resistencia controlada MBRC.
- Verificar su comportamiento en obra mediante la construcción de rellenos experimentales realizados sobre zanjas.
- Realizar un análisis comparativo entre rellenos con material granular y los materiales de baja resistencia controlada MBRC.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

En todo proceso constructivo de las distintas capas que integran una estructura vial, la compactación es sin duda la tarea más importante, dado que de su eficiencia depende la calidad final de ellas. Tanto es así que, aún cuando se hayan observado todos los requisitos que la técnica aconseja en cada caso, para elección de los materiales, dosificación y mezclado, la calidad de las capas se ve malograda si la última etapa de este proceso, la compactación, no se realiza eficientemente.

Esta circunstancia la ha transformado en una de las etapas más controladas del proceso constructivo, llegándose en definitiva a la aceptación o rechazo de la capa ejecutada, mediante el simple ensayo de la densidad “in situ”.

Un suelo se puede compactar de varias maneras y en cada caso se obtiene un resultado diferente, por otra parte, una misma forma de compactación genera resultados distintos si se aplica a diversos suelos¹.

Los métodos convencionales de construcción de pavimentos y superficies de tránsito

¹ MUÑOZ, Guillermo. Pavimentos asfálticos. 2. ed. Pasto : UNED, 2002. p.33-34.

pesado y liviano siempre han utilizado los materiales granulares como bases y sub-bases, para brindar la capacidad de soporte a la estructura del pavimento que se coloque encima. Lo más importante es que estos materiales tengan una estabilidad en calidad y volumen durante toda la vida útil del pavimento.

Figura 1. Defectos provocados por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas: hundimiento de calzada y acera



En el caso de reparaciones de tuberías en las vías, el problema es mas dramático aun, ya que normalmente los materiales granulares que se colocan en el sitio no se compactan adecuadamente debido a distintos factores, entre los que se pueden destacar los siguientes:

- a. Una compactación incorrecta por:
 - Un excesivo espesor de capa;

- El empleo de equipos de compactación inadecuados;
 - Un espacio insuficiente entre las paredes que impiden la compactación con equipos de buena potencia;
 - Una evaluación subjetiva del grado de compactación alcanzada.
- b. La falta de atención a los desplomes laterales que pueden producirse una vez abierta la zanja, creando huecos bajo el firme existente.
- c. El empleo de materiales de relleno inadecuados, tanto por su composición como por su granulometría o su contenido de humedad, en general, difíciles de compactar.

Una compactación incorrecta se traduce posteriormente en asentamientos que perjudican la regularidad del firme, o en la aparición de huecos bajo éste. Los problemas se agravan en el caso de cortes realizados en firmes ya ejecutados, pues estos reducen transmisión de cargas, y con ello la capacidad de reparto de tensiones.

Por causas similares, en las obras de carreteras también es frecuente la presencia de deterioros sobre las pequeñas obras de paso o en los estribos de los puentes.

Las consecuencias de todo lo anterior se traduce en:

- Acortamiento notable de la vida útil;
- Posibles roturas súbitas por formación de huecos bajo el firme;

- Asentamientos a corto plazo, pudiendo necesitar un refuerzo o incluso una reconstrucción;
- Irregularidad superficial;
- Conservación adicional;
- Otros perjuicios de tipo ambiental como mal aspecto del pavimento y posibilidad de formación de charcos.

Figura 2. Rompimiento de la calzada originada por un relleno incorrecto



Las soluciones a los problemas anteriores pueden ser de dos clases:

La primera pasa por el cumplimiento escrupuloso de las prescripciones técnicas para este tipo de obras realizadas con material granular.

La segunda solución, como se verá mucho más eficaz desde el punto de vista práctico, consiste en el empleo de relleno fluido con propiedades de trabajabilidad que garanticen la autonivelación, de forma que penetren con facilidad en todos los espacios por rellenar, y que no necesiten ninguna compactación posterior; y además de baja resistencia a fin de disminuir costos, poder ser excavados con facilidad en caso necesario, y no crear zonas con una rigidez excesiva en comparación con las adyacentes.

Esta última condición junto con la de ser autonivelantes, es una de las características básicas de este tipo de rellenos, por ello suelen conocerse también como materiales de baja resistencia controlada (MBRC)².

2.2 DEFINICIÓN

El relleno fluido se define como un material de baja resistencia controlada (MBRC) puede considerarse un híbrido entre los suelos y los hormigones. Su fabricación y puesta en obra son similares a la de estos últimos; mientras que sus propiedades en servicio se asemejan más a las de un suelo.

Es un material cementicio, muy homogéneo que en estado fresco fluye como si fuera un líquido, sin segregar ni exudar, transformándose una vez endurecido en una estructura

² GOFRE, Carlos. Rellenos con morteros y hormigones fluidos. En : Rutas Técnica. España : No. 67, 1998; p.7-9.

estable que soporta cargas como si fuera un sólido; tiene alta durabilidad ya que su contracción es mínima y controlada.

No se lo considera un concreto de baja resistencia, sino un material que se utiliza para relleno y nivelación. Tampoco se lo considera un suelo – cemento ya que por definición no requiere compactación.

2.3 MATERIALES

Las mezclas típicas de los MBRC están compuestas por cemento Pórtland o cementos adicionados, agregado fino, agua, aditivos y/o adiciones. En algunos diseños se utilizan cenizas volantes en mayor o menor proporción, con objeto de aumentar la trabajabilidad y la resistencia a largo plazo, y reducir la exudación, la permeabilidad y la retracción de las mezclas resultantes.

En algunos tipos de obras se utilizan como MBRC, lechadas constituidas por agua, cemento y, eventualmente cenizas volantes. Estas mezclas resultan apropiadas para algunas aplicaciones especiales, por ejemplo, en inyecciones de lechada para rellenos de huecos bajo un pavimento de hormigón, o bajo losas de transición en aproximaciones a puentes.

En los rellenos fluidos se han empleado igualmente aireantes para aumentar la trabajabilidad y reducir tanto la densidad como la resistencia mecánica. También pueden

mejorar las propiedades aislantes (menor conductividad térmica), lo que tiene interés, por ejemplo, en cubiertas.

Los plastificantes reductores de agua se han utilizado sobre todo en mezclas con un bajo contenido de finos, a fin de disminuir el contenido de agua y acelerar el desarrollo de resistencias.

Excepto en el caso de lechadas, los áridos son normalmente el componente principal de los MBRC, por lo que pueden tener un marcado influjo tanto en su resistencia como en su trabajabilidad. Suelen emplearse áridos que cumplan los requisitos para morteros u hormigones, por su mayor disponibilidad. Así mismo pueden utilizarse suelos con bajos contenidos de arcilla; en este sentido, podría decirse que un suelo apto para ser estabilizado con cemento suele ser también adecuado para su uso en MBRC³.

2.3.1 Cemento. En el sentido más amplio, la palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, los cuales permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.

Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, la palabra cemento se

³ GOFRE, Carlos. Rellenos con morteros y hormigones fluidos. En : Rutas Técnica. España : No. 67, 1998; p.12.

emplea para designar a toda sustancia que posea propiedades ligantes, cualquiera que sea su origen. Dada la alta producción de cemento Pórtland con relación a los otros cementos, su uso se ha generalizado.

Figura 3. Componentes de los rellenos fluidos



El cemento, tal como se usa en el hormigón, tiene la propiedad de formar una pasta al mezclarse con el agua, dicha pasta se endurece con el tiempo sin que las partículas lleguen a separarse, este proceso de endurecimiento de la pasta se denomina fraguado. A mayor cantidad de cemento en una mezcla, mayor será su resistencia, pero al mismo tiempo mayor será la retracción. La retracción en los rellenos fluidos es mínima, debido a los bajos contenidos de conglomerante; por tal razón no afecta el comportamiento en servicio.

Las clases de cementos en las normas colombianas son las siguientes:

- **Cemento Pórtland Tipo 1:** es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales, posee moderada resistencia al ataque químico y moderado calor de hidratación.

- **Cemento Pórtland Tipo 2:** es el destinado en general a obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y a obras donde se requiera moderado calor de hidratación, como es el caso de masas de hormigón, estribos de puentes y grandes muros de contención.

- **Cemento Pórtland Tipo 3:** para obras que requieran desarrollar altas resistencias iniciales y donde se necesite un desencofrado rápido.

- **Cemento Pórtland Tipo 4:** para obras donde se requiera el empleo de hormigón en masa y donde se requiera un bajo calor de hidratación.

- **Cemento Pórtland Tipo 5:** para obras donde se requiera alta resistencia al ataque químico, bajo calor de hidratación y en donde no se requieran altas resistencias iniciales. Es el cemento especial para obras marítimas, hormigones en contacto con suelos que contengan sulfatos y en la construcción de grandes masas de hormigón.

En Colombia, en términos generales, se fabrican los cementos tipo I y tipo III, los otros se producen generalmente bajo pedido especial.

2.3.2 Agua. El agua permite que el cemento pueda fraguar y le comunica a la mezcla la fluidez necesaria para poderla manejar. Es de gran importancia regular el contenido de agua de una mezcla debido a que un exceso de agua desmejora su resistencia al permitir la segregación de los agregados; además, al evaporarse el excedente de agua se producen vacíos o poros; por el contrario, una deficiencia en el contenido de agua, conduce a mezclas poco fluidas, con hormigones porosos, poco impermeables y de baja resistencia.

En Colombia existe la norma NTC 3459 (Agua para la elaboración de concreto y mortero de cemento hidráulico).

2.3.3 Agregados. En el sentido general de la palabra, los agregados, también llamados aglomerados por el cemento Pórtland en presencia de agua conforman un todo compacto (piedra artificial).

Por agregado fino o arena se entiende aquel que contiene las partículas comprendidas entre 4.76 mm y no menor de 0.075mm (Tamiz No. 4 y 200).

Las características más importantes de un agregado son:

- Granulometría

- Densidad aparente
- Absorción
- Módulo de finura
- Masa unitaria seca
- Contenido de materia orgánica
- Contenido de material pasante tamiz 200
- Partículas deleznales.

2.3.4 Aditivos. Son materiales distintos del agua, agregados y cemento, que se usan como ingredientes en concretos o morteros y se añaden a la mezcla antes o durante el mezclado⁴.

Hoy en día, los aditivos son considerados un ingrediente más de concretos o morteros y son empleados para modificar las propiedades de éste, de tal modo que se lo haga más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía.

Para ello en la actualidad se cuenta con una gran variedad de aditivos que cumplen diversos fines dentro de una mezcla, una clasificación resumida de los aditivos en términos de su función es la siguiente:

- Aditivos inclusores de aire

⁴ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Concretos y morteros : Manejo y colocación en obra. Bogotá : Asocreto, 1998. p.11-15.

- Aditivos reductores de agua
- Aditivos retardantes
- Aditivos acelerantes
- Aditivos superplastificantes
- Aditivos minerales.

En la mayoría de los casos para rellenos fluidos se utilizan aditivos reductores de agua o superplastificantes, estos aditivos le imparten a la mezcla manejabilidad extrema o le proporcionan una gran reducción de agua; estos aditivos no causan problemas de retardo de fraguado o exceso de inclusión de aire, por la manejabilidad que le dan a la mezcla hacen que el relleno fluido sea autonivelante y autocompactante.

En los MBRC se han empleado igualmente aireantes para aumentar la trabajabilidad y reducir tanto la densidad como la resistencia mecánica. También pueden mejorar las propiedades aislantes (menor conductividad térmica), lo que tiene interés, por ejemplo en cubiertas.

2.3.5 Otras adiciones.

Aditivos Minerales: Algunos materiales minerales finamente divididos también son empleados como materiales en los rellenos fluidos para mejorar la trabajabilidad de mezclas deficientes en partículas de tamaño menor, en particular los que pasan los tamices

de 300µm y 150 µm (No. 50 y No. 100), ya que estos pueden reducir la exudación y la segregación. Algunos de estos aditivos son materiales relativamente inertes químicamente mientras que otros son puzolanas⁵.

2.4 PROPIEDADES DEL RELLENO FLUIDO

Propiedades en estado plástico

- *Trabajabilidad:* como ya se ha mencionado, se trata quizás de la mayor ventaja que ofrecen estos materiales. Son mezclas autonivelantes, que fluyen libremente rellenando cualquier hueco y se autocompactan, sin requerir la intervención de otros equipos. Existen diferentes métodos para evaluar la fluidez o trabajabilidad de los rellenos con morteros fluidos (MBRC). si se emplea el cono de Abrams, puede establecerse la siguiente clasificación:

- Mezclas de fluidez baja: asentamiento < 15 cm
- Mezclas de fluidez media: asentamiento entre 15 y 20 cm
- Mezclas de fluidez alta: asentamiento > 20 cm

⁵ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del mortero. 3. ed. Bogotá : Blandar Editores, 1996. p.273-276.

- *Segregación:* puede producirse en MBRC de fluidez alta, si ésta se consigue fundamentalmente mediante un alto contenido de agua. Para evitarla, deben utilizarse mezclas con un adecuado contenido de finos. También puede recurrirse al empleo de conglomerantes con una proporción elevada de cenizas volantes.

- *Cambios volumétricos:* el relleno fluido al igual que el concreto experimenta una ligera reducción de volumen en el periodo previo al endurecimiento , durante un lapso de tiempo que puede variar entre 1 y 2 horas, debido a pérdidas de aire ocluido y de agua. Esta última es absorbida por el terreno adyacente o bien asciende hasta la superficie del material. La mayor parte del asentamiento se produce durante la puesta en obra del material. Su valor depende de la cantidad de agua libre eliminada y suele oscilar entre el 1 y 2% de la altura total del relleno.

- *Plazo de endurecimiento:* se entiende como el tiempo transcurrido desde la fabricación de la mezcla hasta que ésta pueda soportar el peso de una persona. El plazo de endurecimiento se ve muy influido, entre otros factores, por la cantidad total de agua de exudación y por su velocidad de eliminación, las características y dotación del conglomerante, así como la temperatura ambiente, tienen también gran importancia. Normalmente suele oscilar entre 3 y 5 horas, aunque en ocasiones puede llegar a reducirse a 1 hora. El grado de endurecimiento está directamente relacionado con su resistencia mecánica y su capacidad de soporte.

- *Bombeabilidad:* los MBRC o morteros fluidos pueden ser bombeados empleando equipos convencionales, para acceder, por ejemplo, a emplazamientos de acceso difícil o en donde el espacio o el acceso para los equipos es limitado.

Propiedades en servicio o estado endurecido

- *Resistencia* (capacidad de soporte): la capacidad de soporte de un MBRC está muy relacionada con su resistencia mecánica. Esta resistencia puede variar desde muy baja, en el caso que se utilice para relleno de zanjas en las que no se necesite mucho soporte, hasta una base donde la capacidad de soporte debe ser mayor, ya que el relleno fluido le aporta capacidad estructural al pavimento. Esto permite diseñar resistencias entre los 3 y 80 kg/cm², que deben utilizarse de acuerdo a las necesidades del diseño.
- *Asentamiento:* al contrario de los rellenos granulares, los MBRC no experimentan asentamientos una vez que han endurecido. Esto ha podido comprobarse con medidas realizadas a posteriori en algunas obras.
- *Retracción - Agrietamiento:* tanto la retracción como el agrietamiento resultante no afectan prácticamente el comportamiento de los rellenos fluidos.

Cuadro 1. Algunas aplicaciones de relleno fluido según su resistencia

RESISTENCIA (kg/cm^2)	RECOMENDADO PARA
3 5 7	Relleno de zanjas, trasdoses de muros, depósitos abandonados, nivelación de terrenos, etc.
10 15 20	Construcción de andenes, recuperación de terrenos, etc.
30 40 60 80	Construcción de sub-bases, bases para pavimentos, usos estructurales, etc.

Fuente : Boletín Asocreto. JARAMILLO PORTO, Diego. 1999, p. 66.

- *Excavabilidad:* se trata evidentemente de una característica de gran interés en muchas obras, pensando sobre todo en futuras reparaciones o renovaciones de servicios. Como es lógico, depende en gran medida de la resistencia alcanzada.

No obstante, la excavabilidad del relleno fluido se ve también muy afectada por el tipo de material utilizado.

Es conveniente, por tanto, prever una dotación de conglomerante acorde con la resistencia que se prevea alcanzar y, realizar si se considera conveniente, determinaciones de la misma a edades avanzadas. Para reducir las resistencias, puede recurrirse a una disminución del contenido de conglomerante, o bien al empleo de aireantes.

Cuadro 2. Tipos de Excavaciones de acuerdo a la resistencia del relleno fluido

<i>EQUIPO DE EXCAVACIÓN</i>	<i>RESISTENCIA (kg/cm²)</i>
Excavación manual	Menos de 7
Excavación con retroexcavadora	Entre 7 y 21
Aserrado y demolición	Mayor de 21

Fuente : Boletín Asocreto. JARAMILLO PORTO, Diego. 1999, p. 67.

2.5 APLICACIÓN DEL RELLENO FLUIDO

Teniendo en cuenta las propiedades que tiene el relleno fluido y considerando que no solamente reemplaza los materiales granulares compactados, sino que mejora su desempeño, las aplicaciones del relleno fluido son muy amplias, variando desde su utilización en zanjas o nivelación de terreno, hasta bases de pavimentos.

El relleno fluido es excelente para recibir y cubrir la conducción de líneas telefónicas, eléctricas, hidráulicas y sanitarias y de gas; llena las cavidades inferiores de las tuberías y proporciona un soporte uniforme alrededor de las mismas. Se lo considera una opción para rellenar cavernas bajo pavimentos, banquetas, puentes, saneamiento de rocas y otras estructuras donde el suelo o material granular existente ha sufrido la erosión.

A continuación se presentan algunas aplicaciones:

- **Rellenos no estructurales:** fue la primera aplicación conocida de los rellenos fluidos; estos materiales resultan ideales para el relleno de todo tipo de zanjas de servicio, siendo muy ventajosos frente al relleno tradicional. Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, los rellenos fluidos con MBRC no requieren ser compactados, por lo que puede reducirse las dimensiones de excavaciones.

Figura 4. Relleno de una zanja después de la instalación de una tubería



El relleno fluido es utilizado para el relleno de los espacios vacíos alrededor de las conducciones y cañerías, el material fluye por debajo y alrededor de las conducciones, brindando un soporte uniforme. Hay que destacar además, que incluso en los rellenos

granulares bien compactados y extendidos por capas de espesor adecuado, es difícil conseguir la uniformidad de los MBRC.

- **Rellenos estructurales:** se pueden emplear como capas de regularización bajo cimentaciones en reemplazo de hormigones de limpieza, proporcionando capas de apoyo uniformes que ayudan a distribuir mejor las cargas. En excavaciones con una terminación irregular o de características heterogéneas, proporcionan una superficie de apoyo uniforme y bien nivelada. Con una resistencia apropiada, la capa de MBRC puede permitir la disminución de las dimensiones de la cimentación o de la resistencia del hormigón de la misma.

- **Capas de firmes:** cuando se utiliza el relleno fluido como material de base o sub-base, el rango de resistencias puede variar según se quiera igualar o superar la resistencia que se obtenía con una base o sub-base granular. En vías urbanas, el MBRC puede verse directamente entre los bordillos previamente colocados. El espesor que se coloque depende entre otros factores, de la resistencia del material.

- **Lechos para conducciones:** los MBRC constituyen un excelente material en todo tipo de conducciones (agua, saneamiento, gas, teléfono, energía eléctrica, etc.), bien como lecho de apoyo de ellas o para envolverlos completamente. Debido a su fluidez, los MBRC rellenan huecos bajo los tubos, proporcionando un soporte uniforme. Los rellenos fluidos pueden emplearse también para envolver por completo las conducciones y protegerlas de daños en caso de una reexcavación futura. El apreciable

cambio de las características del MBRC frente a las del suelo o relleno granular circundante sirve para alertar de la presencia de la conducción. Este efecto puede reforzarse empleando colorantes en la mezcla; o al menos, en la parte más cercana al conducto.

Figura 5. Relleno de una pequeña obra de fábrica



- **Control de erosión:** los MBRC presentan una resistencia a la erosión superior a la de otros tipos de rellenos. Haciendo uso de esta propiedad, el relleno fluido se emplea también en aplicaciones como:
 - Cementación de bloques de escollera para protección de taludes;
 - Relleno de colchones de geotextil para protección de taludes en canales,

- zonas costeras, etc;
- Inyecciones para relleno de huecos bajo firmes, aceras, losas de transición en aproximaciones a puentes, etc.
-
- **Relleno de obras subterráneas fuera de servicio:** los MBRC se utilizan para rellenar antiguas alcantarillas o galerías subterráneas abandonadas, así como sus pozos de acceso. Otra posibilidad es el relleno de sótanos o depósitos fuera de servicio.

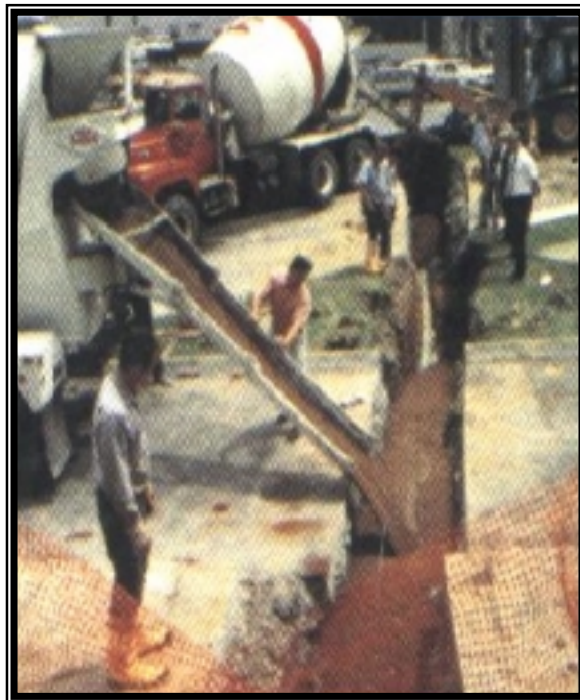
2.6 PREPARACIÓN Y PUESTA EN OBRA

Los rellenos fluidos se preparan utilizando los mismos elementos empleados habitualmente para hormigones y morteros. Esto hace que sean fácilmente suministrables desde plantas hormigoneras, tanto dosificadoras como con amasadoras, incluso la elaboración de este material puede realizarse utilizando trompos mezcladores. Al igual que los hormigones, los materiales se dosifican y mezclan en un orden preestablecido obteniéndose un producto uniforme con características reológicas perfectamente controladas.

La colocación de los rellenos fluidos se puede realizar con los medios comunes empleados en obra; se vierte desde la canaleta del camión hormigonera, empleando baldes movidos por grúas, cintas o incluso bombeado, dependiendo del tipo de obra y su accesibilidad.

Los MBRC, como ya se ha mencionado en varias ocasiones, no requieren vibración ni compactación, consolidándose por su propio peso. En el relleno de zanjas los MBRC se suelen verter en continuo. No obstante, en el caso de las zanjas largas que se rellenen por etapas, o de construcciones con extremos abiertos, debe preverse algún tipo de contención (sacos de arena, mezclas de MBRC más rígidas, etc.)

Figura 6. Relleno de una zanja con mortero fluido: vertido directo desde el camión hormigonera



Si se emplean para formar camas de tuberías o para envolverlas, debe evitarse la flotación de las mismas. Ello puede obligar en ocasiones a un hormigonado por capas que se dejan endurecer hasta el vertido de la siguiente o bien disponer algún tipo de anclaje.

El hormigonado por capas también puede ser conveniente en rellenos de trasdoses de muros, así como en el caso de una tubería flexible, a fin de proporcionar un cierto soporte lateral e impedir que se concentre sobre ella una parte importante de la presión ejercida por el material fresco.

El relleno fluido se ha vertido sobre el agua sin que se hayan apreciado segregaciones importantes. En espacios confinados los MBRC desplazan el agua hasta la superficie, de donde puede ser eliminada fácilmente.

Debido a su consistencia muy fluida, los MBRC pueden recorrer grandes distancias, rellenando huecos y cavidades situados en emplazamientos de difícil acceso. Dichos huecos no precisan ser limpiados previamente, porque los MBRC encapsulan todos los elementos sueltos⁶.

2.7 CONTROL DE CALIDAD

El nivel de control, como es lógico, depende de la experiencia que se tenga con el material y de la importancia de la obra. Puede ir desde un simple control visual hasta la realización de ensayos de consistencia, densidad y resistencia.

⁶ GOFRE, Carlos. Rellenos con morteros y hormigones fluidos. En : Rutas Técnica. España : No 67, 1998. p.10-11.

Según el tipo de obra y las exigencias de la colocación, la consistencia varía entre fluida y plástica. Para su determinación, en las mezclas fluidas puede ser de aplicación, entre otros, el método descrito en la Norma ASTM C 939 (flow - Cone o cono de fluidez), en el que se mide el tiempo que tarda en fluir, por efecto de la gravedad, un volumen dado de mortero a través de un cono invertido de dimensiones normalizadas; mientras que en las de tipo plástico, puede emplearse el cono de Abrams (NTC 396).

Figura 7. Medida de la consistencia de un mortero fluido con cono de Abrams



En lo que se refiere a la resistencia mecánica, hay que recordar que en algunas obras, como en las de rellenos estructurales bajo cimentaciones, puede ser necesario especificar un valor mínimo, para lo cual es necesario conocer las cargas que actúan sobre la estructura. Por el contrario, en obras que sean susceptibles de una reexcavación posterior, hay que fijar una resistencia máxima.

En general, se mide la resistencia a compresión de probetas, en cuyo caso hay que adoptar precauciones al removerlas de los moldes, por las bajas resistencias de estas mezclas. También pueden realizarse otras evaluaciones indirectas “in situ”, mediante penetrómetros o placas de carga. En cuanto a la densidad, suele determinarse pesando un molde de volumen conocido, lleno de material

2.8 VENTAJAS DEL USO DEL RELLENO FLUIDO

El uso de materiales de baja resistencia controlada MBRC en el relleno de zanjas , construcción de bases para pavimentos, andenes, entre otros; ofrece una serie de ventajas técnicas y económicas sobre otros materiales, como:

- *Rapidez en la colocación:* la mezcla queda con una manejabilidad tal, que lo único que requiere es verterla. Puede llenar zanjas profundas rápidamente (8m³ en 3 min) en un único paso; también se ha demostrado que llena pozos y zanjas entre seis y diez (6 y 10) veces más rápido que rellenos convencionales compactados.
- *Ahorro en mano de obra y reducción de costos en equipos:* prácticamente no requiere personal para extender y compactar el material. Tampoco se requiere de maquinaria para la colocación (la mezcladora deja directamente en el sitio de colocación) ni de equipo de compactación.

- *Menores costos de excavación y de relleno:* dado que elimina la necesidad de construir zanjas más anchas para acomodar el equipo de compactación, se reducen los costos de excavación de relleno. El ancho de la zanja se reduce al espacio necesario para instalar la tubería. Cuando se utiliza el relleno fluido como material de base o de sub-base, si se quiere disminuir los espesores de excavación, se utiliza un relleno fluido de mayor resistencia.

- *Seguridad para los trabajadores:* cuando se tienen menos trabajadores en las obras de excavación, se reduce el riesgo de accidentes y se mejora la seguridad de los obreros.

- *Eliminación de los hundimientos:* el hundimiento del relleno convencional con suelo granular causado por la deficiente compactación, requiere siempre de la reparación posterior del firme. Con el MBRC se evita esta situación debido a su estabilidad en calidad y volumen durante toda su vida útil.

- *Resistencia adecuada para trabajos posteriores:* la resistencia del relleno después de mucho tiempo de haber sido colocada, permite ser retirada fácilmente mediante excavación manual con la utilización de un pequeño martillo neumático o hidráulico o también puede ser excavado con una retroexcavadora.

- *Trabajos de nivelación reducidos:* una vez colocado el MBRC, las labores de nivelación se facilitan en gran medida por la fluidez de la mezcla. Para bases o sub-bases de pavimentos la consistencia que normalmente se utiliza es de tipo plástica, ya

que esto permite dejar las pendientes requeridas para el manejo de aguas en la superficie del pavimento.

- *Rápida puesta en servicio:* los rellenos fluidos son capaces de endurecer y soportar el recubrimiento luego de 3 a 5 horas de su aplicación, necesitando solamente 24 a 36 horas para poder ser transitable.

- *Homogeneidad y calidad de la obra:* dado que los rellenos fluidos se fabrican con técnicas industriales muy controladas, la estructura final es más homogénea y segura respecto al cumplimiento de los registros exigidos.

- *Menor ocupación de las vías:* dado que el cerramiento de las zanjas no requiere el acopio de materiales “in situ”, las calzadas y aceras permiten una mayor circulación, tanto del tránsito vehicular como peatonal⁷

⁷ MÁTALLANA, Ricardo. Rellenos de densidad controlada. En : Boletín ICPC. Cali : No. 82; (Jul.-dic.1998); p.9-12.

3. METODOLOGÍA

3.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Como herramienta bibliográfica se usaron artículos de revistas y boletines informativos de instituciones dedicadas al estudio del concreto como: Asocreto, ICPC, el instituto Mexicano del cemento y del concreto, el instituto Español del cemento y sus aplicaciones (IECA), que se consideró de interés en la evaluación del comportamiento del relleno fluido como material sustituyente del suelo granular; además de textos especializados en las características físico –mecánicas del mortero y sus componentes.

Adicional a ello, se usó el medio masivo de la información, como lo es el Internet, en el cual se encontró información actualizada sobre el tema.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del proyecto fue de suma importancia la participación y el apoyo de la empresa privada vinculada al medio de la construcción, en particular empresas dedicadas al suministro de materiales pétreos. Para ello se pidió a los propietarios, representantes o gerentes de estas empresas que por su trayectoria y alcance se consideraron como las más representativas en la ciudad de Pasto su colaboración con el suministro de material, tanto para el análisis del material granular como para la elaboración del relleno fluido.

En la etapa de selección de las canteras se tuvieron en cuenta las siguientes: cantera la Lorianana, cantera Woodcock, cantera Pabón y cantera las Terrazas; con las cuales se trabajó con material granular destinado a la construcción de bases, sub-bases y a la ejecución de rellenos.

Para la elaboración de los especímenes de relleno fluido, dentro de esta etapa experimental se decide realizar mezclas piloto con el fin de seleccionar los materiales que serían utilizados en la elaboración de los morteros de baja resistencia controlada; como también servirían para determinar el rango de trabajo de resistencias dentro de la elaboración de las mezclas. Una vez definido el rango de trabajo se acordó realizar un total de seis (6) especímenes por muestra, los cuales serían utilizados exclusivamente para ensayo a compresión a las diferentes edades; además se tomaría dos (2) muestras por dosificación para ensayo de capacidad de soporte CBR, dos (2) probetas con material fresco para determinar cambios volumétricos, como también se realizaría un registro del peso unitario.

3.3 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Una vez obtenida la colaboración por parte de los proveedores de los materiales que se utilizaron en la ejecución de este proyecto, se procedió a realizar su reconocimiento, selección, toma y almacenamiento de las muestras.

Para el análisis del material granular, se realizó un muestreo de las cuatro canteras seleccionadas, a estos materiales se les determinaron algunas propiedades físicas y

mecánicas como: Humedad natural, peso unitario, clasificación, grado de compactación y valor de soporte CBR. Los resultados obtenidos junto con algunos datos suministrados por empresas dedicadas al control de calidad de la ciudad fueron utilizados como información general de las características del suelo granular y que posteriormente se usarían para realizar una comparación con las características del relleno fluido.

Para la elaboración de las mezclas de los morteros de baja resistencia controlada MBRC, se decidió trabajar inicialmente con las arenas negra y blanca, ya que son los materiales comúnmente usados para la elaboración de concretos y morteros en la región.

La realización de mezclas piloto sirvió para identificar de una forma más clara los materiales con los cuales se desarrollaría este proyecto, teniendo siempre en cuenta cumplir con los objetivos de la investigación. Con las mezclas piloto realizadas se decidió trabajar con arena negra pero sin lavar, debido a la mayor trabajabilidad que le brinda a la mezcla, mejorando de esta forma una de las mayores ventajas de este material, como lo es el relleno fluido; así mismo se descartó la opción de trabajar con arena blanca, ya que la carencia de finos impedía la manejabilidad requerida, además la resistencia a la comprensión no fue la más apropiada; razón por la cual se determinó trabajar con otro material estudiado, como lo es el suelo destinado a la construcción de rellenos, que por sus características físico-mecánicas cumple con las propiedades buscadas dentro de la elaboración del relleno fluido.

Una vez definido el tipo de agregado fino a utilizarse, se ve la necesidad de incluir otro material como lo son los aditivos, material utilizado en las mezclas realizadas con arena

negra, con el fin de mejorar algunas propiedades y realizar una comparación entre estas. Se incluye entonces un análisis resumido de la distribución granulométrica del agregado fino usado en las mezclas, al igual que algunas características y propiedades tanto del cemento como del aditivo utilizado.

3.4 ELABORACIÓN DE MEZCLAS Y MOLDEO DE ESPECÍMENES

La elaboración de mezclas de mortero de baja resistencia controlada depende directamente de la disponibilidad del laboratorio y de los materiales a utilizarse.

Tanto la elaboración como el moldeo de los especímenes se realizó en el laboratorio de materiales de la Universidad con algunos equipos y materiales suministrados para tal fin.

Debido a la gran cantidad de especímenes a elaborarse y al material a requerirse, se decidió realizar la fabricación de camisas en PVC de dos pulgadas (2”) de diámetro por una altura de cuatro pulgadas (4”). Es de anotar que los especímenes se realizaron mediante el vaciado directo del material a las camisas sin utilizar ningún tipo de compactación, ya que por teoría este material se densifica bajo su propio peso.

Los especímenes se dejaron a la sombra 24 horas, tras las cuales se desencofraron y se llevaron a curado hasta la fecha de ensayo (7,14 y 28 días). Es importante mencionar que el mecanismo de curado se realizó protegiendo los especímenes de forma individual en bolsas plásticas, con el fin de simular un curado en cuarto húmedo; ya que la universidad

cuenta con piscinas de curado, mecanismo que afectaba directamente la resistencia mecánica de los especímenes elaborados con bajos contenidos de conglomerante.

Figura 8. Especímenes elaborados con mortero fluido



3.5 PREPARACIÓN, MONTAJE Y EJECUCIÓN DE ENSAYOS

Ensayos en estado fresco

- *Peso Unitario*: para ello se utilizaron moldes de volumen conocido con el fin de llenarlos de material, en pocas palabras, el peso unitario se determinó midiendo el peso de relleno fluido requerido para llenar un molde de volumen establecido. Después de llenar los moldes se procedió a enrasar la superficie mediante una placa plana; antes de

pesar el molde, se removió todo el material adherido en la parte exterior. Es de mencionar al igual que la preparación de los especímenes, el material vaciado a los moldes no fue sometido a ninguna clase de compactación que no sea la de su propio peso.

El peso del relleno fluido se determinó por medio de la diferencia que hay entre el peso bruto (material más recipiente) y el peso del recipiente. Al dividir el peso neto por el volumen del recipiente, se obtuvo el peso unitario real del relleno fluido.

- *Consistencia:* el ensayo empleado en la mayoría de las mezclas de relleno fluido fue el ensayo de asentamiento (norma NTC 396). Este ensayo, se inició dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la mezcla y se finalizó tan pronto el cono era retirado y acomodado para tomar la lectura.

También, se utilizó otro método para evaluar la consistencia como lo es el cono de fluidez (norma ASTM C 939 flow cone); ensayo que consistía en medir el tiempo que tarda en fluir por efecto de la gravedad, un volumen dado de mortero a través de un cono invertido de dimensiones normalizadas.

El ensayo utilizado dependió principalmente del comportamiento observado durante el mezclado, producto de la característica de los materiales utilizados; se puede decir que a las mezclas realizadas con arena negra en las que no se utilizó el aditivo, fue imposible determinar la consistencia mediante la utilización del cono de fluidez.

- *Cambios volumétricos:* en el período previo al endurecimiento cuando el mortero o material de baja resistencia controlada se encuentra en estado plástico, durante un lapso de tiempo que puede variar entre 1 ó 2 horas, dependiendo de factores como material utilizado, cantidad de agua utilizada o por efecto del aditivo agregado a la mezcla, se presentan cambios volumétricos que son por lo general el resultado de un asentamiento causado por la pérdida de aire ocluido o de agua.

Para determinar estos cambios, se utilizaron probetas de 1000 cc de capacidad, con el fin de introducir un volumen conocido de material fresco y dejar reposar hasta un lapso de 2 horas como máximo; al cabo de esto, se registró la lectura y mediante la diferencia de estas obtener el porcentaje de variación volumétrica.

Ensayos en estado endurecido

- *Resistencia a la compresión:* para ello se utilizaron seis (6) cilindros, de los cuales se ensayaron dos por cada edad, es decir a los 7, 14 y 28 días. Una vez cumplida las edades de ensayo, los cilindros se retiraron de las bolsas plásticas para posteriormente capinar las caras que se apoyarían sobre las superficies de la máquina de ensayo; esto con el fin de lograr una mayor transmisión de cargas sobre el cilindro en el momento que esta se aplique. Preparado los especímenes se montaron en la máquina y se llevaron a la falla para determinar de este modo su resistencia. f'c.

- *Capacidad de soporte CBR:* para ello se utilizaron dos (2) moldes por dosificación a una edad de 28 días, tiempo durante el cual se conservaron en la piscina de curado. Para el ensayo se retiraron y se dejaron escurrir por un espacio de tiempo de quince a veinte (15 a 20) minutos; posterior a esto fueron llevados a la prensa de CBR con el fin de realizar la penetración de la muestra con el pistón y realizar la toma de las correspondientes lecturas.

- *Peso Unitario:* debido a que, durante el proceso de fraguado y posteriormente durante el proceso de adquisición de resistencia, el material pierde agua evaporable de la mezcla, resulta lógico pensar que el peso unitario del material es ligeramente menor que el obtenido en estado fresco. A fin de obtener el peso unitario de los especímenes, se tomaron las dimensiones de un cierto número de cilindros con el fin de conseguir en forma aproximada el volumen y mediante la determinación de los respectivos pesos, poder determinar el peso unitario en estado endurecido.

3.6 ELABORACIÓN DE LAS ZANJAS DE PRUEBA

Posterior a la serie de pruebas realizadas sobre especímenes de mortero fluido, el estudio se orientó a evaluar las características del material de baja resistencia controlada mediante la construcción de zanjas de prueba. Para cumplir con un objetivo de la investigación, se construyeron dos zanjas, sobre las cuales se depositó relleno fluido; durante esta actividad se evaluó las principales ventajas ofrecidas por este material mediante un control visual durante los procesos de producción y posterior puesta en obra.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Posterior a la elaboración de los ensayos, se realizó el procesamiento estadístico y se aplicaron los criterios definidos en el diseño experimental previo, con base en el cual se efectuó el análisis de resultados.

3.8 RECOMENDACIONES E INFORME

Dentro del informe final se presentan las diferentes curvas obtenidas del comportamiento de la resistencia a la compresión a las diferentes edades, para los diversos materiales y dosificaciones; halladas a partir del análisis de los resultados arrojados por las pruebas de laboratorio. Además de ello, se muestra la influencia que tiene en cada uno de los resultados la dosificación de la mezcla, como también los materiales utilizados en estas; así mismo se encontrará dentro del informe, un análisis comparativo entre los dos materiales como lo son el relleno con material granular tradicional y el relleno con mortero fluido de baja resistencia controlada, dicha comparación acompañada por la experiencia obtenida al llevar a cabo este trabajo de investigación, fueron la base para realizar las correspondientes conclusiones y recomendaciones.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS

Como se ha visto, el mortero fluido de baja resistencia controlada es una masa endurecida de materiales heterogéneos que está sujeto a la acción de muchas variables, las cuales dependen de los materiales que lo constituyen y de los procedimientos seguidos durante los procesos de dosificación, mezclado, colocación, fraguado y curado.

Sin embargo, las propiedades y características del material tanto en estado fresco como en estado endurecido son predecibles y regulables, a pesar de su heterogeneidad, mediante una adecuada selección y combinación de sus componentes.

El estudio de las tolerancias permisibles y la distinción entre causas fortuitas (aleatorias) o causas específicas reales de estas variaciones se hace fácilmente y en forma racional y sistemática, por medio de un análisis estadístico previo sobre el comportamiento del material.

4.1.1 Fuentes de variación en la resistencia del relleno fluido. Tal como se mencionó anteriormente, las mezclas de mortero fluido de baja resistencia controlada son masas endurecidas de materiales heterogéneos, cuyas propiedades y características están sujetas a la acción de numerosas variables; por ello, es necesario realizar un control de

calidad. De acuerdo con el ACI 214 estas fuentes de variación y su magnitud proceden de tres orígenes a saber:

- Las características y variabilidad de cada uno de los materiales componentes (materiales cementantes, agregados, agua y aditivos químicos);
- Los procedimientos y técnicas de dosificación, mezclado y manejo;
- Las variaciones propias de la elaboración y tratamiento de los especímenes y de los métodos de ensayo.

4.1.2 Distribución de Frecuencias de la Resistencia. Sabiendo que los resultados de resistencia del material están afectados por numerosas fuentes de variación además de que, desde el punto de vista práctico, es absolutamente imposible garantizar de que cada espécimen de ensayo (elaborado de una misma mezcla) arroje exactamente el mismo valor de resistencia, es lógico pensar que los resultados giren alrededor de un valor central y dentro de un rango de valores.

Por tal razón, las *Normas Colombianas de Diseño y construcción Sismo Resistente (NSR-98)* definen una *prueba de resistencia* como “el resultado del promedio de resistencia de dos cilindros tomados de una misma mezcla y ensayados a los 28 días, o a la edad especificada en cada caso de que sea diferente de 28 días”.

De otra parte, es todavía más improbable que las pruebas de resistencia, obtenidas de un mismo lote de mortero fluido (volumen compuesto por varias cochadas de una misma clase

de material producido con igual dosificación, materiales y bajo condiciones similares) arrojen un mismo valor de resistencia.

Adicionalmente, cada prueba de resistencia, indica un valor potencial de la misma, y por ello no debe analizarse de manera aislada.

Lo anterior implica entonces, que se agrupen los datos obtenidos de las pruebas de resistencia (de un mismo lote) y se busque cual es la tendencia de esa población de resultados alrededor de un valor central que caracterice el comportamiento.

Al aplicar este criterio, se observa que si los resultados de los ensayos de resistencia se agrupan en un “gráfico de frecuencias”, se visualiza su distribución enmarcada dentro de una curva muy definida (polígono de frecuencias), cuya forma varía muy poco cuando el número de datos está por encima de 30. Este patrón de comportamiento, es lo que se conoce en Estadística como “Distribución normal de frecuencias”, con un polígono de frecuencias llamado a su vez “Campana de Gauss”, cuyas propiedades pueden definirse matemáticamente.

4.1.3 Análisis Estadístico. Los procedimientos estadísticos nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia y la información derivada de estos procedimientos también sirven para reafirmar criterios.

De acuerdo con las estipulaciones de la norma NTC 2275 (Procedimiento recomendado para evaluación de los ensayos de resistencia del hormigón), para que los procedimientos estadísticos tengan validez, los datos deben derivarse de muestras obtenidas en el curso del desarrollo de un plan de muestreo diseñado para escoger las muestras al azar. Para el caso de esta investigación es de anotar que las muestras tomadas y los ensayos efectuados representan apropiadamente la totalidad del material producido; como también para realizar este análisis aceptaremos que los resultados de las pruebas de resistencia de un mismo lote de material se agrupan de acuerdo con la distribución normal, para lo cual es indispensable conocer las características más importantes de dicha distribución, mediante ciertas funciones estadísticas como las medidas de tendencia central (promedio aritmético) y las medidas de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación e intervalo o rango).

Número de pruebas, N: como su nombre lo indica, es el número total de pruebas efectuadas a un mismo tipo de mezcla (que se ha producido y/o consumido de manera consecutiva y en condiciones similares durante un período de tiempo definido).

Para obtener el máximo de información debe disponerse de una cantidad suficiente de pruebas. De acuerdo con las *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98)*, para que el análisis estadístico sea representativo, el número de pruebas debe ser como mínimo 30 datos.

Promedio aritmético, X: el promedio aritmético X, se define como la suma aritmética de los resultados de resistencia de todas las pruebas individuales (Xi), dividida por el número total de pruebas efectuadas (número de datos N).

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum X_i}{N}$$

Una de las principales características de la curva de distribución normal, es que representa simetría con relación al valor promedio. Esto significa que la mitad de los datos son menores y la mitad mayores que dicho promedio. Por ello, el valor del promedio aritmético corresponde al valor que debe figurar en el centro de la Campana de Gauss.

Desviación estándar, S: como el promedio aritmético es una medida de tendencia central que caracteriza a un conjunto de pruebas y el análisis estadístico intenta dar una idea de cuán esparcidas se encuentran las pruebas con relación al promedio aritmético, es conveniente conocer la dispersión o variación de las pruebas mediante la desviación estándar o desviación típica. Esta se define como la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones de la resistencia, respecto a la resistencia promedio, dividido entre el número de pruebas N menos uno.

$$S = \sqrt{\sum (X_i - X)^2 / (N-1)}$$

Obsérvese que mientras mayor sea la diferencia entre cada $X_i - \bar{X}$ (en valor absoluto), mayor es la dispersión de las pruebas y mayor el valor de la desviación estándar S , lo cual prueba que evidentemente la desviación estándar es una medida de dispersión de los resultados.

De otra parte, se destaca que otra de las características de una curva de distribución normal, es que aparte de ser simétrica, el 68.27% de los datos están comprendidos en un radio de acción de $\bar{X} \pm S$ que el 95.45% de los datos están comprendidos en un radio de acción $\bar{X} \pm 2S$ y que el 99.73% de los datos están comprendidos en un radio de acción de $\bar{X} \pm 3S$.

Con base en lo anterior, se puede concluir que para evaluar un conjunto de pruebas, correspondientes a una misma clase de material no es suficiente conocer solamente el valor del promedio aritmético, ya que al compararlo con otro conjunto de pruebas podrían tenerse idénticos valores de promedio aritmético pero muy diferentes dispersiones, o promedios aritméticos diferentes con igual dispersión.

Coefficiente de variación, C.V. Cuando se desea conocer la dispersión de las pruebas en términos de porcentaje se obtiene entonces el coeficiente de variación, el cual está definido en términos de la desviación estándar S , expresada como un porcentaje del promedio aritmético.

$$C.V = S * 100/\bar{X}$$

Intervalo o rango R: el intervalo o rango es otra medida de dispersión que se obtiene de restar el menor de un conjunto de números del más alto del grupo. En este caso, sería la diferencia entre el resultado de la prueba más alta y la prueba más baja, a una edad definida.

Pero el intervalo dentro de una prueba R se obtiene, restando la menor de las resistencias del conjunto de cilindros que conforman la prueba, de la más alta del grupo. Este intervalo es útil en el cálculo de las funciones estadísticas que definen las variaciones de la resistencia dentro de cada prueba.

$$R = X_a - X_b$$

Con base en este criterio la ASTM recomienda la siguiente expresión para el cálculo de la desviación estándar dentro de la prueba, S1:

$$S1 = d * R$$

Donde R es el intervalo promedio se determina por la suma aritmética de los intervalos dentro de la prueba (R) de todas las pruebas individuales; d corresponde a una constante que depende del número de cilindros, así para dos es de 0.8865.

El coeficiente de variación dentro de la prueba (V1), se determina mediante la siguiente expresión:

$$V1 = S1 * 100 / X_{prom}$$

4.1.4 Calificación del control. De acuerdo con las estipulaciones del A.C.I. 214 y de la norma NTC 2275, la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión, en resultados de una misma mezcla, califica el grado de control existente en términos de desviación estándar y del coeficiente de variación.

La decisión sobre la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación, depende de cada caso particular. En general, se ha comprobado que la desviación estándar permanece como una constante más apropiada para resistencias superiores a 200 Kg/cm² y se considera más apropiado el coeficiente de variación para la calificación de las variaciones dentro de la prueba. Para tal efecto, el Comité A.C.I. 704 ha preparado una tabla que muestra la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión en proyectos sujetos a diferentes grados de control.

Es así como por el coeficiente de variación dentro de la prueba, se puede entonces juzgar el nivel de control en la elaboración y tratamiento de los especímenes y la calidad de los métodos de ensayo, tanto para el trabajo de campo, como para las investigaciones al nivel de laboratorio, Los valores límites establecidos por el ACI 704 para esta situación, se reproducen en el cuadro 3 y no se aplican a otras pruebas de resistencia.

De acuerdo con esta tabla, es evidente que las pruebas evaluadas como “Aceptables” o

“Deficientes”, denotan desconfianza sobre el sistema de aseguramiento de la calidad que se esté aplicando.

Cuadro 3. Normas para el control del concreto, con relación a la variación dentro de la prueba.

<i>MEZCLAS DE PRUEBA EN EL LABORATORIO</i>				
Coeficiente de variación para diferentes grados de control, en %				
Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Por debajo de 2	De 2 a 3	De 3 a 4	De 4 a 5	Sobre 5

Fuente: Concretos y morteros: Manejo y colocación en obra. SÁNCHEZ, Diego. 1998, p. 167.

Por lo tanto, se deben tomar de inmediato todas las medidas que conduzcan a mejorar los procedimientos para la elaboración y tratamiento de los especímenes y los métodos de ensayo. De lo contrario, los resultados obtenidos del análisis estadístico serán cuestionables.

Del mismo modo, la desviación estándar de un lote de pruebas refleja las variaciones entre las diferentes batchadas del material, o sea, entre las pruebas. Estas variaciones, como es de esperarse, contemplan la variabilidad de cada uno de los materiales componentes, la variabilidad en los procedimientos y técnicas de producción y manejo, y las variaciones

propias de la elaboración y tratamiento de los especímenes y de los métodos de ensayo. Es decir, que en esta desviación total se encuentra incluida la desviación estándar dentro de la prueba⁸.

Aunque el ACI 704 estipula unos valores límites expresados en kg/cm^2 , por tratarse que en esta investigación se manejan valores de resistencia bajos que pueden producir errores en su análisis, se trabajará con el cuadro 3 anteriormente mostrada.

Criterios utilizados en la Experimentación: para el presente estudio y con base en las consideraciones estadísticas hasta aquí enunciadas, se ha definido el cálculo del promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación como variables importantes en cada una de las pruebas realizadas. En el caso de la resistencia se rechazan aquellos resultados que presenten un coeficiente de variación superior al 8%.

4.2 TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

En la información presentada a continuación se incluye los tipos de agregados, cemento y aditivo utilizados en la producción de relleno fluido de baja resistencia controlada durante los períodos de preparación de las mezclas realizadas para la elaboración de especímenes del presente proyecto. La información suministrada fue obtenida a partir de ensayos

⁸ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Concretos y morteros : Manejo y colocación en obra. Bogotá : Asocreto, 1998. p.161-163.

realizados en el laboratorio de materiales de la universidad para el agregado fino y tomada de catálogos para el cemento y aditivo.

- Especificaciones de los materiales utilizados en las mezclas,

ARENA NEGRA LAVADA	ARENA NEGRA SIN LAVAR
---------------------------	------------------------------

Procedencia: Cantera Las Terrazas
 Módulo de finura: 2.78
 Materia orgánica: 0

Procedencia: Cantera las Terrazas
 Módulo de finura: 2.73
 Materia Orgánica: 0

Granulometría:

Granulometría:

TAMIZ			% PASA		
No.	Abertura (mm)	Real	No.	Abertura (mm)	Real
3/8	9.525	100	3/8	9.525	100
4	4.75	93.15	4	4.75	94.15
10	2	80.23	10	2	78.89
16	1.19	63.01	16	1.19	60.81
40	0.425	45.9	40	0.425	42.16
50	0.3	26.18	50	0.3	31.6
100	0.15	13.03	100	0.15	19.21
200	0.075	5.38	200	0.075	14.52

ARENA BLANCA	SUELO
---------------------	--------------

Procedencia: Jongovito
 Módulo de finura: 2.77
 Materia orgánica: 0

Procedencia: Cantera la Lorianana
 Clasificación U.S.C: SM
 Nombre: Arena Limosa

Granulometría:			Granulometría:		
TAMIZ		% PASA	TAMIZ		% PASA
No.	Abertura (mm)	Real	No.	No.	Abertura (mm)
½"	12.7	100	½"	12.7	100
3/8"	9.525	99.46	3/8"	9.525	92.15
4	4.75	97.25	4	4.75	74.28
10	2	83.27	10	2	71.31
16	1.19	69.64	16	1.19	67.99
40	0.425	35.79	40	0.425	56.92
50	0.3	26.20	50	0.3	54.21
100	0.15	10.90	100	0.15	40.75
200	0.075	7.56	200	0.075	30.35

ADITIVO	CEMENTO
Nombre: Eucozell 200	Nombre: Cemento Diamante
Casa Productora: Toxement	Clase: Pórtland Tipo I
Función: Fluidificante – inclusor de aire	Peso esp. : 3.10 – 3.15 gr/cm ³
Color: rojo	Superficie esp. Blaine : 4200 cm ² /gr
Densidad: 1.005 ± 0.005 kg /Lt	
Contenido de cloruros: Ninguno	
Contenido de azúcares: Ninguno	
PH: 7 ± 1	
Dosif. : 1% al 2% del peso del cemento	

4.3 MEZCLAS PILOTO

Las mezclas piloto o de prueba se realizan con cada uno de los materiales seleccionados con el fin de escoger los materiales y el rango de dosificación a trabajar, este rango de

trabajo se obtiene a partir de los rangos de resistencia a la compresión alcanzada por los especímenes a la edad de 28 días. A partir de estos resultados se descartaron materiales y dosificaciones por no cumplir con los objetivos pretendidos. Como se mencionó anteriormente la arena blanca no fue seleccionada para realizar la investigación; como se puede apreciar su resistencia es desfavorable e incluso el suelo presenta resistencia mayor (aproximadamente 3 veces).

Cuadro 4. Mezclas piloto

<i>MATERIALES</i>	<i>RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS (KG/CM²)</i>				
	1-5	1-10	1-15	1-20	1-25
Arena negra sin lavar	69.56	27.13	11.53	7.45	6.40
Arena negra sin lavar con aditivo	-----	28.53	15.42	10.07	8.47
Suelo	28.82	16.43	3.78	1.18	0.85
Arena blanca con aditivo	10.08	5.12	-----	-----	-----

En el caso del suelo vemos que para dosificaciones mayores a las trabajadas la resistencia se encuentra por debajo de 2 kg/cm²; razón por la cual no se tuvieron en cuenta.

Es importante anotar que la arena negra se la puede seguir trabajando para dosificaciones más altas, pero agregando a las mezclas aditivo con el propósito de darle manejabilidad y evitar la segregación.

4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, f'_c

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal determinada sobre especímenes de relleno fluido, dada la importancia que reviste esta propiedad dentro de este trabajo de investigación. Este ensayo es realizado mediante pruebas mecánicas destructivas sobre especímenes cilíndricos de 2 x 4 pulg (50 x 100 mm). En los cuadros 5 a 17 se reportan los resultados obtenidos y las figuras 9 y 10 representan el montaje del ensayo y la forma de rotura de los cilindros.

Figura 9. Montaje del ensayo a compresión de cilindros



Figura 10. Cilindros ensayados



**Cuadro 5. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 5 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	1584.86	66.70	69.00	4760.80	4.59
	1693.95	71.29			
M2	1666.23	70.13	69.71	4859.02	0.84
	1646.23	69.29			
M3	1648.5	69.38	68.22	4654.30	2.32
	1593.43	67.06			
M4	1551.68	65.31	65.55	4296.23	0.48
	1563.05	65.78			
M5	1507.59	63.45	61.89	3830.57	3.12
	1433.5	60.33			
M6	1631.2	68.65	67.55	4563.53	2.20
	1578.96	66.45			
M7	1527.59	64.29	64.14	4113.82	0.31
	1520.3	63.99			
M8	1632.59	68.71	68.78	4730.50	0.13
	1635.77	68.85			
M9	1517.59	63.87	62.97	3965.53	1.80
	1474.86	62.07			
M10	1720.32	72.40	71.84	5160.93	1.13
	1693.5	71.28			
M11	1558.95	65.61	67.32	4532.62	3.42
	1640.32	69.04			
M12	1720.32	72.40	72.15	5205.02	0.52
	1708.05	71.89			
M13	1800.32	75.77	75.68	5726.75	0.19
	1795.77	75.58			
M14	1750.77	73.69	74.11	5491.77	0.84
	1770.77	74.53			
M15	1693.95	71.29	70.76	5006.84	1.07
	1668.52	70.22			
M16	1609.83	67.75	68.29	4663.55	1.07
	1635.32	68.83			
M17	1538.79	64.76	65.36	7.50	1.19
	1567.14	65.96			
M18	1563.05	65.78	65.88	4.93	0.19
	1567.59	65.98			
M19	1622.35	68.28	67.79	0.10	0.98
	1599.07	67.30			
M20	1685.32	70.93	70.20	4.40	1.47
	1650.5	69.47			
M21	1528.43	64.33	65.21	8.33	1.77
	1570.52	66.10			

**Cuadro 5. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 5 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	1584.86	66.70	69.00	4760.80	4.59
	1693.95	71.29			
M2	1666.23	70.13	69.71	4859.02	0.84
	1646.23	69.29			
M3	1648.5	69.38	68.22	4654.30	2.32
	1593.43	67.06			
M4	1551.68	65.31	65.55	4296.23	0.48
	1563.05	65.78			
M5	1507.59	63.45	61.89	3830.57	3.12
	1433.5	60.33			
M6	1631.2	68.65	67.55	4563.53	2.20
	1578.96	66.45			
M7	1527.59	64.29	64.14	4113.82	0.31
	1520.3	63.99			
M8	1632.59	68.71	68.78	4730.50	0.13
	1635.77	68.85			
M9	1517.59	63.87	62.97	3965.53	1.80
	1474.86	62.07			
M10	1720.32	72.40	71.84	5160.93	1.13
	1693.5	71.28			
M11	1558.95	65.61	67.32	4532.62	3.42
	1640.32	69.04			
M12	1720.32	72.40	72.15	5205.02	0.52
	1708.05	71.89			
M13	1800.32	75.77	75.68	5726.75	0.19
	1795.77	75.58			
M14	1750.77	73.69	74.11	5491.77	0.84
	1770.77	74.53			
M15	1693.95	71.29	70.76	5006.84	1.07
	1668.52	70.22			
M16	1609.83	67.75	68.29	4663.55	1.07
	1635.32	68.83			
M17	1538.79	64.76	65.36	7.50	1.19
	1567.14	65.96			
M18	1563.05	65.78	65.88	4.93	0.19
	1567.59	65.98			
M19	1622.35	68.28	67.79	0.10	0.98
	1599.07	67.30			
M20	1685.32	70.93	70.20	4.40	1.47
	1650.5	69.47			
M21	1528.43	64.33	65.21	8.33	1.77
	1570.52	66.10			

**(Cont.) Cuadro 5. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 5 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M22	1647	69.32	68.98	0.77	0.68
	1630.92	68.64			
M23	1780.12	74.92	74.52	41.26	0.80
	1761.23	74.13			
M24	1498.21	63.06	63.31	22.94	0.51
	1510.3	63.56			
M25	1611.17	67.81	67.58	0.27	0.47
	1600.05	67.34			
M26	1598.25	67.27	66.26	3.39	2.02
	1550.32	65.25			
M27	1573.73	66.23	66.74	1.86	1.00
	1597.6	67.24			
M28	1628.3	68.53	67.53	0.32	2.00
	1580.73	66.53			
M29	1710.21	71.98	70.82	7.42	2.31
	1655.32	69.67			
M30	1528.9	64.35	64.92	10.09	1.15
	1556.26	65.50			
Promedio X			68.10	Intervalo promedio R	1,35
Desviación estándar			3.41	S₁	1.20
Coefficiente de Variación			5.01%	V₁	1.76%

**Cuadro 6. Análisis de Resultados de resistencia a la compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	626.55	26.37	26.26	0.35	0.21
	621.56	26.16			
M2	632.25	26.61	26.95	0.01	0.68
	648.41	27.29			
M3	684.05	28.79	27.99	1.28	1.60
	646.03	27.19			
M4	603.27	25.39	25.27	2.54	0.25
	597.33	25.14			
M5	609.68	25.66	25.53	1.77	0.26
	603.5	25.40			

**(Cont) Cuadro 6. Análisis de Resultados de resistencia a la compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M6	594.41	25.02	26.26	0.36	2.49
	653.5	27.50			
M7	612.14	25.76	26.24	0.38	0.96
	634.86	26.72			
M8	617.14	25.97	25.69	1.38	0.57
	603.5	25.40			
M9	586.69	24.69	25.65	1.46	1.92
	632.26	26.61			
M10	618.95	26.05	26.00	0.74	0.10
	616.68	25.95			
M11	630.77	26.55	27.12	0.07	1.15
	658.05	27.70			
M12	557.32	23.46	24.82	4.16	2.73
	622.14	26.18			
M13	612.77	25.79	26.10	0.57	0.62
	627.59	26.41			
M14	675.02	28.41	28.25	1.94	0.31
	667.59	28.10			
M15	723.25	30.44	29.97	9.65	0.95
	700.77	29.49			
M16	734.86	30.93	30.73	14.96	0.40
	725.32	30.53			
M17	641.52	27.00	27.21	0.13	0.43
	651.68	27.43			
M18	636.77	26.80	27.14	0.08	0.69
	653.05	27.49			
M19	580.01	24.41	24.86	4.00	0.90
	601.3	25.31			
M20	725.35	30.53	30.17	10.98	0.71
	708.5	29.82			
M21	599.3	25.22	24.61	5.05	1.22
	570.25	24.00			
M22	628.8	26.46	26.56	0.09	0.19
	633.32	26.65			
M23	670.23	28.21	27.74	0.78	0.93
	648.14	27.28			
M24	625.35	26.32	26.84	0.00	1.05
	650.18	27.36			
M25	700.05	29.46	29.83	8.80	0.73
	717.3	30.19			
M26	680.17	28.63	28.05	1.41	1.16
	652.72	27.47			
	580.25	24.42			

**(Cont) Cuadro 6. Análisis de Resultados de Resistencia a la compresión.
Arena Negra sin Lavar, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M27	626.6	26.37	25.40	2.13	1.95
M28	550.28	23.16	23.55	10.97	0.78
	568.7	23.94			
M29	618.58	26.03	26.26	0.36	0.45
	629.17	26.48			
M30	670.05	28.20	28.79	3.74	1.19
	698.23	29.39			
Promedio X			26.86	Intervalo promedio R	0,92
Desviación estándar			1.76	S₁	0.81
Coefficiente de Variación			6.55%	V₁	3.03%

**Cuadro 7. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 15 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	297.6	12.53	12.61	0.01	0.17
	301.68	12.70			
M2	297.6	12.53	12.55	0.00	0.06
	298.95	12.58			
M3	236.68	9.96	9.97	6.40	0.02
	237.14	9.98			
M4	296.23	12.47	12.52	0.00	0.11
	298.86	12.58			
M5	295.77	12.45	12.69	0.04	0.48
	307.14	12.93			
M6	309.41	13.02	13.04	0.29	0.04
	310.32	13.06			
M7	282.14	11.87	11.86	0.40	0.02
	281.68	11.86			
M8	320.32	13.48	13.51	1.02	0.06
	321.68	13.54			
M9	255.32	10.75	11.27	1.51	1.05
	280.32	11.80			
M10	306.68	12.91	12.95	0.20	0.08
	308.5	12.98			
M11	272.14	11.45	11.23	1.60	0.44
	261.68	11.01			

**(Cont) Cuadro 7. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 15 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
	279.86	11.78			
M12	278.95	11.74	11.76	0.55	0.04
	365.77	15.39			
M13	340.32	14.32	14.86	5.56	1.07
	299.41	12.60			
M14	303.05	12.75	12.68	0.03	0.15
	237.59	10.00			
M15	263.5	11.09	10.54	3.82	1.09
	334.41	14.07			
M16	313.05	13.18	13.63	1.27	0.90
	280.32	11.80			
M17	280.31	11.80	11.80	0.49	0.00
	278.95	11.74			
M18	278.05	11.70	11.72	0.61	0.04
	250.25	10.53			
M19	265.15	11.16	10.85	2.74	0.63
	310.18	13.05			
M20	299.02	12.59	12.82	0.10	0.47
	368.23	15.50			
M21	355.72	14.97	15.23	7.48	0.53
	300.1	12.63			
M22	303.2	12.76	12.70	0.04	0.13
	282.7	11.90			
M23	298.23	12.55	12.22	0.08	0.65
	317.19	13.35			
M24	315.2	13.27	13.31	0.65	0.08
	350.05	14.73			
M25	342.18	14.40	14.57	4.27	0.33
	288.5	12.14			
M26	259.6	10.93	11.53	0.93	1.22
	261.22	10.99			
M27	255.15	10.74	10.87	2.67	0.26
	270.28	11.38			
M28	295.15	12.42	11.90	0.36	1.05
	333.05	14.02			
M29	315.23	13.27	13.64	1.30	0.75
	340.3	14.32			
M30	335.28	14.11	14.22	2.95	0.21
Promedio X			12.50	Intervalo promedio R	0,40
Desviación estándar			1.28	S₁	0.36
Coefficiente de Variación			10.24%	V₁	2.86%

**Cuadro 8. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 20 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	179.41	7.55	7.68	0.01	0.25
	185.32	7.80			
M2	186.68	7.86	7.80	0.00	0.11
	183.95	7.74			
M3	174.41	7.34	7.54	0.04	0.40
	183.95	7.74			
M4	180.32	7.59	7.42	0.11	0.34
	172.14	7.24			
M5	191.68	8.07	7.99	0.06	0.15
	188.05	7.91			
M6	184.41	7.76	7.70	0.00	0.11
	181.68	7.65			
M7	191.68	8.07	8.06	0.09	0.02
	191.2	8.05			
M8	170.77	7.19	7.18	0.33	0.02
	170.32	7.17			
M9	182.14	7.67	7.58	0.03	0.17
	178.05	7.49			
M10	162.59	6.84	6.78	0.95	0.13
	159.41	6.71			
M11	164.41	6.92	7.02	0.54	0.19
	168.95	7.11			
M12	210.77	8.87	8.97	1.48	0.19
	215.32	9.06			
M13	200.41	8.43	8.55	0.63	0.22
	205.7	8.66			
M14	192.6	8.11	8.07	0.10	0.08
	190.77	8.03			
M15	184.86	7.78	7.88	0.02	0.19
	189.41	7.97			
M16	167.14	7.03	7.30	0.20	0.54
	179.95	7.57			
M17	170.28	7.17	7.07	0.46	0.19
	165.73	6.98			
M18	158.18	6.66	6.91	0.70	0.51
	170.23	7.16			
M19	188.65	7.94	7.74	0.00	0.39
	179.29	7.55			
M20	208.18	8.76	8.72	0.94	0.09
	206.15	8.68			
M21	215.23	9.06	8.96	1.46	0.20
	210.45	8.86			
M22	188.7	7.94			

**(Cont) Cuadro 8. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 20 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M23	180.26	7.59	7.76	0.00	0.36
	170.13	7.16			
M24	182.55	7.68	7.42	0.11	0.52
	193.22	8.13			
M25	185.72	7.82	7.97	0.05	0.32
	162.19	6.83			
M26	158.26	6.66	6.74	1.01	0.17
	187.92	7.91			
M27	192.14	8.09	8.00	0.06	0.18
	200.8	8.45			
M28	192.15	8.09	8.27	0.27	0.36
	182.16	7.67			
M29	175.26	7.38	7.52	0.05	0.29
	196.7	8.28			
	195.05	8.21	8.24	0.24	0.07
Promedio X			7.75	Intervalo promedio R	0,23
Desviación estándar			0.6	S₁	0.21
Coefficiente de Variación			7.74%	V₁	2.67%

**Cuadro 9. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 25 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	141.68	5.96	5.95	0.31	0.02
	141.13	5.94			
M2	144.86	6.10	6.16	0.12	0.13
	148.05	6.23			
M3	154.2	6.49	6.54	0.00	0.10
	156.68	6.59			
M4	155.32	6.54	6.63	0.02	0.19
	159.86	6.73			
M5	164.41	6.92	6.91	0.16	0.02
	163.95	6.90			
M6	149.41	6.29	6.27	0.06	0.04
	148.5	6.25			
	160.8	6.77			

**(Cont) Cuadro 9. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 25 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M7	163.5	6.88	6.82	0.10	0.11
	154.86	6.52			
M8	156.23	6.58	6.55	0.00	0.06
	157.53	6.63			
M9	171.78	7.23	6.93	0.18	0.60
	159.41	6.71			
M10	170.77	7.19	6.95	0.19	0.48
	165.84	6.98			
M11	166.56	7.01	6.99	0.24	0.03
	151.28	6.37			
M12	149.5	6.29	6.33	0.03	0.07
	165.61	6.97			
M13	168.5	7.09	7.03	0.27	0.12
	137.33	5.78			
M14	143.45	6.04	5.91	0.36	0.26
	159.41	6.71			
M15	149.45	6.29	6.50	0.00	0.42
	154.41	6.50			
M16	157.53	6.63	6.56	0.00	0.13
	154.41	6.50			
M17	163.7	6.89	6.69	0.03	0.39
	140.54	5.91			
M18	138.26	5.82	5.87	0.41	0.10
	153.62	6.47			
M19	160.18	6.74	6.60	0.01	0.28
	170.15	7.16			
M20	169.96	7.15	7.16	0.42	0.01
	172.71	7.27			
M21	165.2	6.95	7.11	0.36	0.32
	139.18	5.86			
M22	143.22	6.03	5.94	0.32	0.17
	160.9	6.77			
M23	158.18	6.66	6.71	0.04	0.11
	142.25	5.99			
M24	142.99	6.02	6.00	0.26	0.03
	148.15	6.24			
M25	142.76	6.01	6.12	0.15	0.23
	155.58	6.55			
M26	150.25	6.32	6.44	0.01	0.22
	162.23	6.83			
M27	168.3	7.08	6.96	0.20	0.26
	150.45	6.33			
M28	148.29	6.24	6.29	0.05	0.09

**(Cont) Cuadro 9. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar, dosificación 1 - 25 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M29	139.15	5.86	5.92	0.35	0.12
	142.05	5.98			
M30	149.3	6.28	6.34	0.03	0.12
	152.14	6.40			
Promedio X			6.51	Intervalo promedio R	0,17
Desviación estándar			0.4	S₁	0.15
Coefficiente de Variación			6.15%	V₁	2.38%

**Cuadro 10. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	658.09	27.70	27.46	9.47	0.47
	646.96	27.23			
M2	702.03	29.55	29.86	0.46	0.63
	717.07	30.18			
M3	668.05	28.12	27.92	6.89	0.40
	658.5	27.71			
M4	743.95	31.31	32.50	3.83	2.37
	800.32	33.68			
M5	754.39	31.75	31.83	1.65	0.15
	757.99	31.90			
M6	743.5	31.29	30.97	0.18	0.65
	728.05	30.64			
M7	697.14	29.34	29.54	1.00	0.40
	706.68	29.74			
M8	742.6	31.25	31.63	1.18	0.75
	760.32	32.00			
M9	723.05	30.43	30.85	0.10	0.84
	743.05	31.27			
M10	709.41	29.86	30.53	0.00	1.34
	741.23	31.20			
M11	708.95	29.84	30.20	0.11	0.73
	726.3	30.57			
M12	718.5	30.24	30.43	0.01	0.38
	727.6	30.62			
	680.32	28.63			

**(Cont) Cuadro 10. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M13	663.04	27.91	28.27	5.15	0.73
	799.52	33.65			
M14	779.86	32.82	33.24	7.27	0.83
	683.95	28.79			
M15	715.32	30.11	29.45	1.20	1.32
	729.11	30.69			
M16	739.04	31.10	30.90	0.13	0.42
	773.05	32.54			
M17	766.23	32.25	32.39	3.43	0.29
	748.67	31.51			
M18	743.95	31.31	31.41	0.76	0.20
	721.08	30.35			
M19	735.28	30.95	30.65	0.01	0.60
	696.4	29.31			
M20	690.66	29.07	29.19	1.83	0.24
	668.95	28.15			
M21	680.23	28.63	28.39	4.61	0.47
	721.98	30.39			
M22	730.05	30.73	30.56	0.00	0.34
	792.14	33.34			
M23	769.92	32.40	32.87	5.44	0.94
	750.14	31.57			
M24	748.2	31.49	31.53	0.98	0.08
	700.7	29.49			
M25	715.16	30.10	29.80	0.55	0.61
	699.1	29.42			
M26	705.18	29.68	29.55	0.98	0.26
	735.82	30.97			
M27	743.18	31.28	31.12	0.34	0.31
	760.9	32.02			
M28	755.95	31.82	31.92	1.91	0.21
	688.15	28.96			
M29	695.05	29.25	29.11	2.05	0.29
	782.1	32.92			
M30	750.05	31.57	32.24	2.90	1.35
Promedio X			30.54	Intervalo promedio R	0,62
Desviación estándar			1.49	S₁	0.55
Coefficiente de Variación			4.88%	V₁	1.80%

**Cuadro 11. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 15 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	308.5	12.98	12.69	3.62	0.59
	294.41	12.39			
M2	342.14	14.40	14.85	0.07	0.90
	363.5	15.30			
M3	393.05	16.54	17.04	6.00	0.99
	416.68	17.54			
M4	320.32	13.48	13.32	1.62	0.33
	312.59	13.16			
M5	363.05	15.28	15.12	0.28	0.33
	355.32	14.95			
M6	341.23	14.36	14.23	0.13	0.27
	334.86	14.09			
M7	355.32	14.95	14.86	0.07	0.19
	350.77	14.76			
M8	389.41	16.39	16.22	2.65	0.34
	381.23	16.05			
M9	371.68	15.64	15.59	0.99	0.11
	368.95	15.53			
M10	394.41	16.60	16.42	3.34	0.36
	385.77	16.24			
M11	371.23	15.62	15.68	1.19	0.11
	373.95	15.74			
M12	362.14	15.24	14.92	0.11	0.65
	346.68	14.59			
M13	398.5	16.77	17.05	6.05	0.55
	411.68	17.33			
M14	320.7	13.50	13.26	1.77	0.48
	309.41	13.02			
M15	335.32	14.11	14.16	0.18	0.10
	337.59	14.21			
M16	372.14	15.66	15.98	1.93	0.63
	387.14	16.29			
M17	346.68	14.59	14.46	0.02	0.27
	340.32	14.32			
M18	359.86	15.15	14.96	0.14	0.36
	351.2	14.78			
M19	236.18	9.94	11.30	10.81	2.72
	300.9	12.66			
M20	348.26	14.66	14.49	0.01	0.34
	340.3	14.32			
M21	299.2	12.59	12.52	4.29	0.15
	295.68	12.44			
	301.02	12.67			

**(Cont.) Cuadro 11. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 15 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M22	302.95	12.75	12.71	3.53	0.08
	360.23	15.16			
M23	355.18	14.95	15.05	0.22	0.21
	398.2	16.76			
M24	306.1	12.88	14.82	0.05	3.88
	325.14	13.68			
M25	300.1	12.63	13.16	2.05	1.05
	310.15	13.05			
M26	313.98	13.21	13.13	2.12	0.16
	299.05	12.59			
M27	310.16	13.05	12.82	3.13	0.47
	363.7	15.31			
M28	380.26	16.00	15.66	1.14	0.70
	390.1	16.42			
M29	378.2	15.92	16.17	2.49	0.50
	355.21	14.95			
M30	354.98	14.94	14.95	0.13	0.01
Promedio X			14.59	Intervalo promedio R	0,59
Desviación estándar			1.44	S₁	0.53
Coefficiente de Variación			9.87%	V₁	3.61%

**Cuadro 12. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 20 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	272.6	11.47	11.53	0.35	0.11
	275.32	11.59			
M2	241.7	10.17	10.37	0.32	0.40
	251.23	10.57			
M3	247.14	10.40	10.04	0.81	0.73
	229.86	9.67			
M4	261.2	10.99	10.90	0.00	0.19
	256.68	10.80			
M5	234.86	9.88	9.74	1.44	0.29
	228.05	9.60			
M6	228.5	9.62	9.63	1.73	0.02
	228.95	9.64			

**(Cont) Cuadro 12. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 20 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M7	254.86	10.73	10.90	0.00	0.34
	263.05	11.07			
M8	269.86	11.36	11.06	0.01	0.59
	255.77	10.76			
M9	250.77	10.55	10.95	0.00	0.78
	269.41	11.34			
M10	258.95	10.90	10.95	0.00	0.10
	261.23	10.99			
M11	253.05	10.65	10.67	0.07	0.04
	253.95	10.69			
M12	235.77	9.92	10.02	0.85	0.19
	240.32	10.11			
M13	281.7	11.86	11.85	0.82	0.02
	281.23	11.84			
M14	296.68	12.49	12.39	2.11	0.19
	292.14	12.30			
M15	266.68	11.22	11.31	0.14	0.17
	270.77	11.40			
M16	286.23	12.05	11.78	0.70	0.54
	273.5	11.51			
M17	232.14	9.77	9.84	1.22	0.13
	235.22	9.90			
M18	268.15	11.29	11.22	0.08	0.12
	265.23	11.16			
M19	298.52	12.56	12.53	2.53	0.07
	296.9	12.50			
M20	228.26	9.61	9.65	1.67	0.08
	230.18	9.69			
M21	242.21	10.19	10.37	0.32	0.36
	250.7	10.55			
M22	273.62	11.52	11.50	0.32	0.03
	273.01	11.49			
M23	280.7	11.81	11.74	0.64	0.14
	277.26	11.67			
M24	256.19	10.78	10.76	0.03	0.05
	255.03	10.73			
M25	280.26	11.80	11.76	0.68	0.06
	278.72	11.73			
M26	292.15	12.30	12.25	1.73	0.08
	290.15	12.21			
M27	235.18	9.90	10.11	0.69	0.42
	245.26	10.32			
M28	233.62	9.83			

**(Cont) Cuadro 12. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 20 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M29	231.1	9.73	9.78	1.35	0.11
	270.25	11.37			
M30	272.15	11.45	11.41	0.22	0.08
	263.98	11.11			
	261.1	10.99			
Promedio X			10.94	Intervalo promedio R	0,22
Desviación estándar			0.85	S₁	0.19
Coefficiente de Variación			7.77%	V₁	1.77%

**Cuadro 13. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 25 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	165.32	6.96	7.04	0.53	0.17
	169.41	7.13			
M2	170.32	7.17	7.15	0.39	0.04
	169.41	7.13			
M3	157.14	6.61	6.63	1.29	0.04
	158.05	6.65			
M4	152.14	6.40	6.39	1.90	0.02
	151.58	6.38			
M5	155.77	6.56	6.34	2.05	0.44
	145.4	6.12			
M6	177.59	7.47	7.43	0.12	0.10
	175.32	7.38			
M7	198.95	8.37	8.38	0.38	0.02
	199.41	8.39			
M8	195.77	8.24	8.30	0.28	0.12
	198.63	8.36			
M9	226.68	9.54	9.55	3.17	0.02
	227.14	9.56			
M10	213.95	9.00	8.95	1.39	0.11
	211.23	8.89			
M11	209.41	8.81	8.64	0.76	0.34
	201.23	8.47			
M12	168.5	7.09	7.18	0.35	0.17
	172.59	7.26			
M13	226.68	9.54	9.42	2.71	0.25
	220.77	9.29			

**(Cont) Cuadro 13. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión.
Arena Negra sin lavar con aditivo, dosificación 1 - 25 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M14	194.86	8.20			
	191.23	8.05	8.12	0.13	0.15
M15	219.41	9.23			
	214.32	9.02	9.13	1.84	0.21
M16	184.41	7.76			
	188.5	7.93	7.85	0.01	0.17
M17	172.59	7.26			
	171.23	7.21	7.24	0.29	0.06
M18	157.14	6.61			
	163.5	6.88	6.75	1.05	0.27
M19	180.28	7.59			
	175.92	7.40	7.50	0.08	0.18
M20	150.19	6.32			
	145.23	6.11	6.22	2.41	0.21
M21	210.18	8.85			
	209.01	8.80	8.82	1.11	0.05
M22	215.73	9.08			
	217.05	9.14	9.11	1.79	0.06
M23	200.28	8.43			
	196.78	8.28	8.36	0.34	0.15
M24	201.5	8.48			
	203.7	8.57	8.53	0.57	0.09
M25	198.25	8.34			
	198.9	8.37	8.36	0.35	0.03
M26	165.14	6.95			
	162.18	6.83	6.89	0.78	0.12
M27	182.01	7.66			
	183.2	7.71	7.69	0.01	0.05
M28	170.28	7.17			
	169.02	7.11	7.14	0.40	0.05
M29	155.7	6.55			
	152.08	6.40	6.48	1.67	0.15
M30	181.4	7.63			
	179.6	7.56	7.60	0.03	0.08
Promedio X			7.77	Intervalo promedio R	0,13
Desviación estándar			0.98	S₁	0.12
Coficiente de Variación			12.61%	V₁	1.49%

**Cuadro 14. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión. Suelo.
Consistencia medida según ASTM C 939, dosificación 1 - 5 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	607.1	25.55	25.66	7.53	0.21
	612.1	25.76			
M2	736.2	30.98	31.24	8.09	0.52
	748.5	31.50			
M3	639.4	26.91	27.15	1.56	0.48
	650.8	27.39			
M4	655.3	27.58	27.46	0.89	0.25
	649.4	27.33			
M5	658.9	27.73	28.59	0.04	1.73
	699.9	29.46			
M6	686.7	28.90	28.82	0.17	0.17
	682.6	28.73			
M7	630.8	26.55	26.57	3.36	0.04
	631.7	26.59			
M8	655.3	27.58	27.53	0.75	0.09
	653.1	27.49			
M9	632.1	26.60	25.99	5.79	1.22
	603.10	25.38			
M10	728.9	30.68	30.39	3.97	0.57
	715.3	30.11			
M11	653.05	27.49	28.25	0.02	1.53
	689.4	29.02			
M12	619.9	26.09	25.94	6.07	0.31
	612.6	25.78			
M13	718.05	30.22	31.12	7.40	1.80
	760.8	32.02			
M14	613	25.80	26.68	2.96	1.76
	654.8	27.56			
M15	706.2	29.72	29.92	2.32	0.40
	715.8	30.13			
M16	675.6	28.43	28.36	0.00	0.15
	672.1	28.29			
M17	675.3	28.42	28.72	0.10	0.59
	689.4	29.02			
M18	660.55	27.80	27.65	0.57	0.31
	653.28	27.49			
M19	730.25	30.73	30.31	3.66	0.84
	710.18	29.89			
M20	752.15	31.66	31.61	10.30	0.09
	749.9	31.56			
M21	698.23	29.39	29.26	0.74	0.26
	692.15	29.13			
M22	621.92	26.18	26.35	4.22	0.34
	630.05	26.52			

**(Cont) Cuadro 14. Análisis de Resultados de Resistencia a la Comp.. Suelo.
Consistencia medida según ASTM C 939, dosificación 1 - 5 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M23	688.25	28.97	29.07	0.45	0.21
	693.18	29.17			
M24	708.23	29.81	29.74	1.80	0.13
	705.15	29.68			
M25	720.1	30.31	30.22	3.31	0.17
	715.98	30.13			
M26	673.25	28.34	28.25	0.02	0.17
	669.18	28.16			
M27	654.7	27.55	27.52	0.77	0.07
	653.1	27.49			
M28	621.18	26.14	26.24	4.65	0.20
	625.9	26.34			
M29	672.15	28.29	28.48	0.01	0.37
	681.03	28.66			
M30	685.7	28.86	28.93	0.28	0.14
	689.05	29.00			
Promedio X			28.40	Intervalo promedio R	0,50
Desviación estándar			1.68	S₁	0.45
Coefficiente de Variación			5.92%	V₁	1.57%

**Cuadro 15. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión. Suelo.
Consistencia medida según ASTM C 939, dosif. 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	172.6	7.26	7.36	0.02	0.19
	177.1	7.45			
M2	193.5	8.14	8.42	1.44	0.56
	206.7	8.70			
M3	176.7	7.44	7.36	0.02	0.15
	173.1	7.29			
M4	177.6	7.47	7.43	0.04	0.09
	175.4	7.38			
M5	171.2	7.21	7.22	0.00	0.02
	171.7	7.23			
M6	162.6	6.84	6.97	0.06	0.25
	168.5	7.09			
M7	165.8	6.98	6.86	0.13	0.23
	160.3	6.75			

**(Cont) Cuadro 15. Análisis de Resultados de Resistencia a la Comp. Suelo.
Consistencia medida según ASTM C 939, dosif. 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M8	160.8	6.77	6.90	0.10	0.27
	167.1	7.03			
M9	166.2	6.99	6.91	0.10	0.17
	162.10	6.82			
M10	175.8	7.40	7.35	0.02	0.10
	173.5	7.30			
M11	169	7.11	7.16	0.00	0.09
	171.2	7.21			
M12	162.1	6.82	6.83	0.15	0.02
	162.6	6.84			
M13	194	8.16	8.11	0.79	0.12
	191.2	8.05			
M14	148.5	6.25	6.35	0.76	0.19
	153.1	6.44			
M15	189.9	7.99	7.85	0.40	0.29
	183.1	7.71			
M16	153.9	6.48	6.61	0.37	0.27
	160.3	6.75			
M17	173.5	7.30	7.05	0.03	0.51
	161.3	6.79			
M18	176.2	7.42	7.38	0.02	0.08
	174.4	7.34			
M19	183.21	7.71	7.69	0.22	0.04
	182.19	7.67			
M20	191.25	8.05	8.01	0.62	0.09
	189.16	7.96			
M21	181.25	7.63	7.60	0.14	0.06
	179.9	7.57			
M22	160.18	6.74	6.76	0.21	0.05
	161.25	6.79			
M23	168.75	7.10	7.20	0.00	0.19
	173.16	7.29			
M24	160.15	6.74	6.72	0.25	0.05
	158.95	6.69			
M25	162.23	6.83	6.85	0.14	0.03
	163.05	6.86			
M26	165.18	6.95	7.01	0.04	0.12
	168.05	7.07			
M27	172.21	7.25	7.24	0.00	0.01
	171.92	7.24			
M28	180.7	7.61	7.55	0.11	0.11
	178.05	7.49			
M29	161.25	6.79	6.74	0.23	0.10
	158.9	6.69			

**(Cont) Cuadro 15. Análisis de Resultados de Resistencia a la Comp. Suelo.
Consistencia medida según ASTM C 939, dosif. 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M30	172.23 169.08	7.25 7.12	7.18	0.00	0.13
Promedio X			7.22	Intervalo promedio R	0,15
Desviación estándar			0.47	S₁	0.14
Coefficiente de Variación			6.51%	V₁	1.87%

**Cuadro 16. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión. Suelo.
Consistencia medida según NTC 396, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	347.14 345.3	14.61 14.53	14.57	0.53	0.08
M2	378.05 381.2	15.91 16.04	15.98	0.46	0.13
M3	378.05 383.95	15.91 16.16	16.04	0.54	0.25
M4	392.14 382.59	16.50 16.10	16.30	1.01	0.40
M5	347.59 347.14	14.63 14.61	14.62	0.46	0.02
M6	362.14 361.68	15.24 15.22	15.23	0.00	0.02
M7	377.6 364.86	15.89 15.36	15.62	0.11	0.54
M8	360.4 365.8	15.17 15.40	15.28	0.00	0.23
M9	366.23 356.23	15.41 14.99	15.20	0.01	0.42
M10	353.5 327.14	14.88 13.77	14.32	0.95	1.11
M11	369.86 373.5	15.57 15.72	15.64	0.12	0.15
M12	407.59 398.95	17.15 16.79	16.97	2.80	0.36
M13	334.86 346.23	14.09 14.57	14.33	0.94	0.48
M14	352.59 353.05	14.84 14.86	14.85	0.20	0.02

**(Cont) Cuadro 16. Análisis de Resultados de Resistencia a la Comp. Suelo.
Consistencia medida según NTC 396, dosificación 1 - 10 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M15	410.8	17.29			
	397.6	16.73	17.01	2.93	0.56
M16	371.23	15.62			
	383.95	16.16	15.89	0.35	0.54
M17	395.77	16.66			
	396.35	16.68	16.67	1.87	0.02
M18	391.68	16.48			
	385.32	16.22	16.35	1.10	0.27
M19	350.26	14.74			
	348.3	14.66	14.70	0.36	0.08
M20	398.25	16.76			
	397.13	16.71	16.74	2.07	0.05
M21	307.18	12.93			
	308.95	13.00	12.97	5.45	0.07
M22	370.18	15.58			
	371.1	15.62	15.60	0.09	0.04
M23	321.15	13.52			
	330.05	13.89	13.70	2.55	0.37
M24	295.16	12.42			
	297.22	12.51	12.47	8.03	0.09
M25	398.7	16.78			
	400.05	16.84	16.81	2.28	0.06
M26	403.1	16.97			
	402.01	16.92	16.94	2.70	0.05
M27	382.2	16.09			
	379.18	15.96	16.02	0.52	0.13
M28	335.26	14.11			
	334.9	14.10	14.10	1.43	0.02
M29	301.19	12.68			
	298.05	12.54	12.61	7.23	0.13
M30	361.95	15.23			
	366.1	15.41	15.32	0.00	0.17
Promedio X			15.30	Intervalo promedio R	0,23
Desviación estándar			1.27	S₁	0.20
Coefficiente de Variación			8.30%	V₁	1.32%

**Cuadro 17. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión. Suelo.
Consistencia medida según NTC 396, dosificación 1 - 15 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M1	70.77	2.98	3.08	0.03	0.21
	75.77	3.19			
M2	75.5	3.18	3.14	0.02	0.08
	73.5	3.09			
M3	68.95	2.90	2.95	0.10	0.10
	71.23	3.00			
M4	75.8	3.19	3.16	0.01	0.06
	74.41	3.13			
M5	71.23	3.00	3.06	0.04	0.13
	74.41	3.13			
M6	73.5	3.09	3.13	0.02	0.08
	75.32	3.17			
M7	77.14	3.25	3.18	0.01	0.13
	73.95	3.11			
M8	86.23	3.63	3.64	0.14	0.02
	86.68	3.65			
M9	69.86	2.94	2.97	0.09	0.06
	71.23	3.00			
M10	87.6	3.69	3.70	0.18	0.02
	88.05	3.71			
M11	71.23	3.00	2.96	0.10	0.08
	69.41	2.92			
M12	98.5	4.15	4.03	0.58	0.23
	93.05	3.92			
M13	59.86	2.52	2.69	0.33	0.34
	68.05	2.86			
M14	86.68	3.65	3.53	0.07	0.23
	81.23	3.42			
M15	78.95	3.32	3.30	0.00	0.04
	78.05	3.28			
M16	73.95	3.11	3.16	0.01	0.10
	76.23	3.21			
M17	76.04	3.20	3.16	0.01	0.09
	73.95	3.11			
M18	71.23	3.00	2.98	0.08	0.04
	70.32	2.96			
M19	82.21	3.46	3.48	0.04	0.03
	82.99	3.49			
M20	70.23	2.96	3.00	0.07	0.08
	72.18	3.04			
M21	69.15	2.91	2.93	0.11	0.05
	70.23	2.96			
M22	95.16	4.01	4.00	0.53	0.02
	94.7	3.99			

**(Cont) Cuadro 17. Análisis de Resultados de Resistencia a la Comp. Suelo.
Consistencia medida según NTC 396, dosificación 1 - 15 (28 días de edad)**

MEZCLA	CARGA Kg	RESISTENCIA Kg/cm ²	RES. PROM Kg/cm ²	(Xi -Xprom) ²	INTERVALO Kg/cm ²
M23	82.1	3.46	3.43	0.03	0.04
	81.05	3.41			
M24	76.15	3.20	3.26	0.00	0.12
	78.9	3.32			
M25	81.25	3.42	3.44	0.03	0.03
	81.99	3.45			
M26	90.05	3.79	3.75	0.23	0.08
	88.1	3.71			
M27	73.25	3.08	3.00	0.07	0.17
	69.21	2.91			
M28	82.14	3.46	3.59	0.10	0.26
	88.23	3.71			
M29	80.18	3.37	3.34	0.00	0.07
	78.55	3.31			
M30	73.21	3.08	3.02	0.06	0.13
	70.18	2.95			
Promedio X			3.27	Intervalo promedio R	0,10
Desviación estándar			0.33	S₁	0.09
Coefficiente de Variación			10.10%	V₁	2.81%

En general los coeficientes de variación dentro de la prueba (V1) se encuentran entre 1.32 y 3.61%, que comparado con lo expresado en la tabla reportada por el ACI 704 (Cuadro 3) califica desde excelente hasta bueno las mezclas realizadas para este trabajo de investigación en el laboratorio de la Universidad de Nariño. Es de anotar que el 53.8% de las pruebas califican como excelente, el 30.8% como muy bueno y el 15.4% califica como bueno.

La resistencia del mortero fluido al igual que los hormigones se incrementa apreciablemente con la edad, ya que la hidratación del cemento continua con los días. El comportamiento de la resistencia a compresión del relleno fluido por el paso de los días, se presenta a continuación en las figuras 11, 12 y 13; estas gráficas son el producto de los resultados promedios obtenidos a las edades de ensayo de 7, 14 y 28 días.

Figura 11. Resistencia a la compresión vs. Edad. Arena Negra sin lavar.

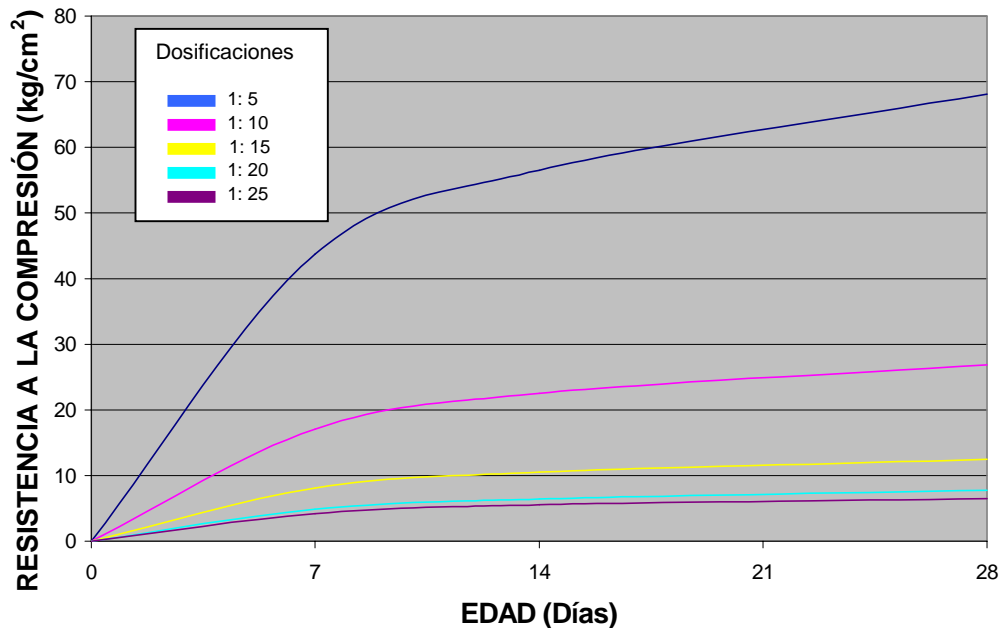


Figura 12. Resistencia a la Compresión vs. Edad. Arena Negra sin lavar con aditivo

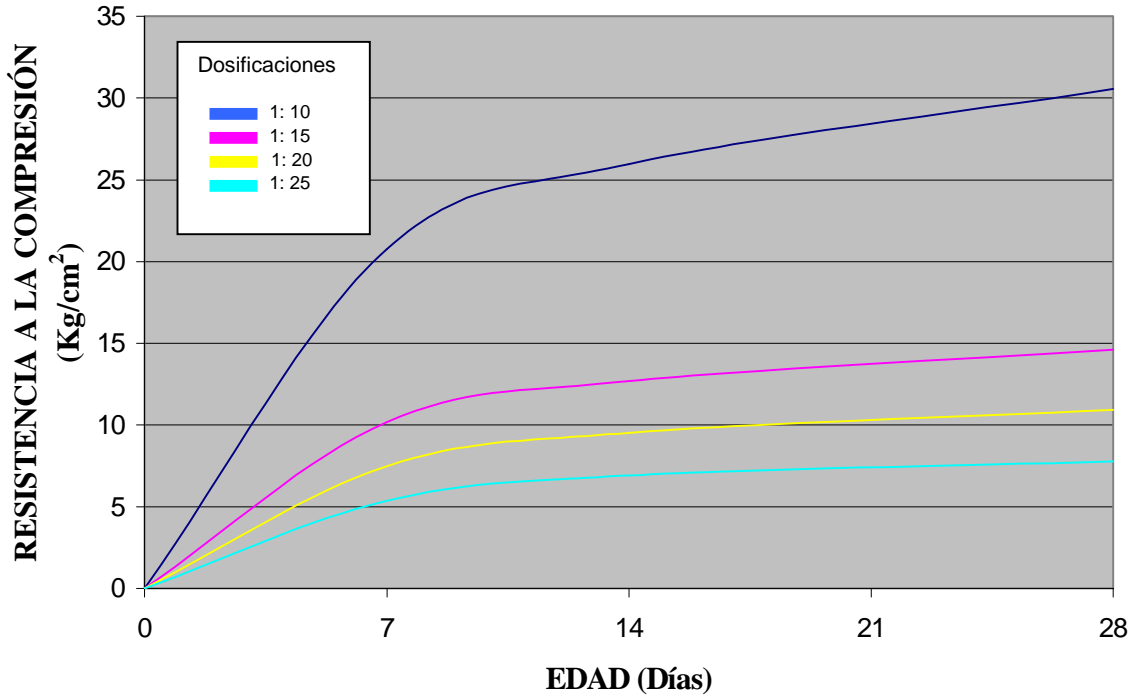
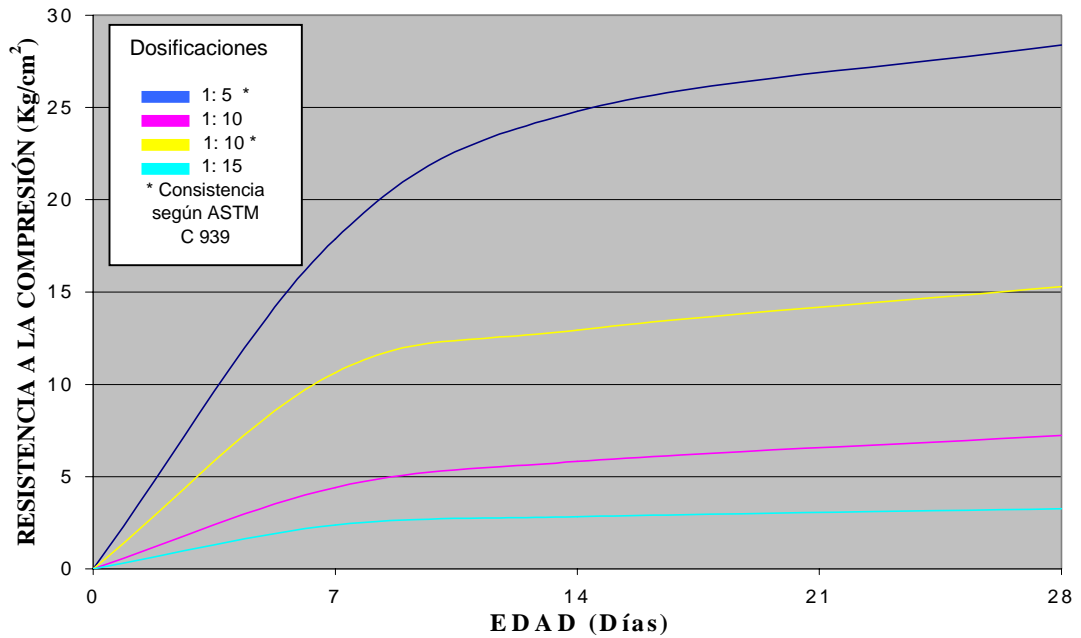


Figura 13. Resistencia a la compresión vs. Edad. Suelo.



4.5 CAPACIDAD DE SOPORTE CBR

Al realizar los ensayos de CBR sobre el relleno fluido, como una manera de verificar y comparar su comportamiento como material de relleno, se han obtenido los resultados que se muestran en el cuadro 18.

Cuadro 18. Valores de CBR para los diferentes materiales y dosificaciones

<i>MATERIAL</i>	<i>DOSIFICACIÓN</i>	<i>CBR (%)</i>	<i>RESISTENCIA(kg/cm²)</i>
Arena Negra sin lavar, sin incorporación de aditivo.	1 – 10	175	26.86
	1 – 15	115	12.5
	1 – 20	60.7	7.75
Suelo	1 - 10	74.7	15.30
	1 – 15	17.4	3.27
Arena negra sin lavar con incorporación de aditivo	1 – 10	152	30.54
	1 – 20	75	10.94

4.6 PESO UNITARIO, CONSISTENCIA Y CAMBIOS VOLUMETRICOS

4.6.1 Peso Unitario. La determinación de peso unitario es de gran importancia ya que se emplea para calcular el volumen o el rendimiento volumétrico producido por los pesos conocidos de cada uno de los materiales que lo constituyen y para determinar el contenido de cemento por metro cúbico de material.

El peso unitario del relleno fluido depende de las características de los materiales que se utilicen en las mezclas, por esta razón en el cuadro 19 se presentan los valores promedios

obtenidos en la determinación del peso unitario para los diferentes materiales utilizados en la elaboración de los especímenes de mortero fluido de baja resistencia controlada.

Cuadro 19. Peso unitario para los diferentes materiales

<i>MATERIAL</i>	<i>PESO UNITARIO (Kg/M³)</i>
Arena negra sin lavar sin utilización de aditivo	1700 – 1850
Arena negra sin lavar con utilización de aditivo	1550 – 1650
Suelo (Arena Limosa)	1550 – 1650
Arena blanca con utilización de aditivo	1130 – 1300

Es de anotar que el peso unitario para los diferentes materiales es proporcional con la cantidad de cemento que se utilice.

4.6.2 Consistencia. Como se ha mencionado anteriormente es quizá una de las propiedades que distingue a este material de los otros empleados para rellenos. Permite que el material sea autonivelante, que fluya y rellene huecos y sea autocompactante. Dentro de la investigación de la eficiencia del relleno fluido realizada en el laboratorio de materiales de la Universidad de Nariño, se dosificaron las mezclas con cada material de tal forma que la fluidez conseguida no altere el aspecto de la mezcla (no presenta segregación, exudación y retracción de volumen).

La fluidez se evaluó mediante la utilización del cono de Abrams (NTC 396) y el cono de fluidez (ASTM C939). La norma NTC 4859 (Especificaciones del relleno fluido) en su

numeral 10.2.1 de control de calidad, precisa que para asentamientos menores a 200 mm (20cm) se debe utilizar el cono de Abrams y para asentamientos mayores a 200 mm (20 cm) se empleará el cono de fluidez; se puede decir que dentro del trabajo de investigación no se pudo cumplir con este numeral, debido a que la consistencia conseguida no depende únicamente de la cantidad de agua agregada, sino que también de la distribución granulométrica del agregado. En el caso de la utilización del suelo se pudo evaluar la fluidez mediante la utilización de los dos métodos, ya que su característica física lo permitió. Para el caso de la arena negra fue necesario emplearla sin lavar con el fin de darle mayor manejabilidad a la mezcla y evitar la segregación del material. De igual forma se realizó pruebas adicionales con arena negra sin lavar a las cuales se incorporó un aditivo fluidificante.

A continuación en el cuadro 20 se presenta la evaluación de la consistencia y su aplicación.

Cuadro 20. Valores de consistencia para los materiales y usos

<i>MATERIAL INVESTIGACIÓN</i>	<i>CONSISTENCIA</i>		<i>APLICACIÓN</i>
Arena Negra sin lavar sin aditivo	20 - 25 cm	-----	- Para consistencias plásticas (asentamientos < a 20 cm) el material es ideal para rellenar zanjas en terrenos con pendiente, construcción de bases y sub-bases, cimentaciones, etc.
Arena Negra sin lavar con aditivo	> 20 cm	> 35 seg	
Suelo	20 - 25 cm	25 - 35 seg	- Para consistencias fluidas (asentamientos > a 20 cm y fluidez entre

Arena blanca con aditivo	20 - 25 cm	> 35 seg	25-35 seg) se utiliza para saneamiento de rocas, relleno de zanjas de dimensiones reducidas, relleno de cavidades, tuberías abandonadas, nivelación de terrenos, etc.
---------------------------------	------------	----------	---

4.6.3 Cambios volumétricos: se determinó mediante la utilización de probetas, en las cuales se introdujo un volumen determinado de material y al cabo de 2 horas (tiempo durante el cual el material se estabiliza) se tomó la lectura del volumen final.

Los rellenos con materiales de baja resistencia controlada MBRC experimentan una ligera reducción de volumen debida a pérdida de aire ocluido y de agua.

La mayor parte del asentamiento se produce durante la puesta en obra del material. Su valor como se pudo observar en los ensayos realizados depende fundamentalmente de la cantidad de agua libre eliminada y oscila entre el 0.5 y el 2.5% del volumen total.

Cuadro 21. Cambios volumétricos para los diferentes materiales y dosificaciones

<i>MATERIAL</i>	<i>Dosif.</i>	<i>Vo. Inicial CC</i>	<i>Vol. final CC</i>	<i>Variación de Volumen %</i>
Suelo con fluidez entre 25 - 35 seg	1 - 15	1000	982	1.8
Suelo con fluidez entre 25 - 35 seg	1 - 10	1000	983	1.7
Suelo con asentamiento entre 20 -25 cm	1 - 10	990	983	0.71
Suelo con asentamiento entre 20 -25 cm	1 - 15	1000	992	0.8
Arena negra sin lavar sin aditivo	1 - 5	913	900	1.42

Arena negra sin lavar sin aditivo	1 - 10	925	908	1.84
Arena negra sin lavar sin aditivo	1 - 15	1000	978	2.2
Arena negra sin lavar sin aditivo	1 - 20	936	912	2.5
Arena negra sin lavar con aditivo	-----	1000	995	0.5

Cuadro 22. Información General y cantidad de materiales relleno con mortero fluido

MATERIALES	<i>Arena negra sin lavar</i>	<i>Arena negra sin lavar con incorporación de aditivo</i>	<i>Suelo</i>
Rangos de Dosificación	1:25 a 1: 10	1: 25 a 1: 10	1: 15 a 1: 5
Agregado Fino (m³)	1.25 a 1.40	1.1 a 1.25	1.3 a 1.5
Cemento (Kg/m³)	50 a 124	48 a 120	68 a 178
Agua (Lt/m³)	337 a 350	303 a 320	450 a 528
Aditivo (Lt/m³)	-----	1.9 a 4.8	-----
Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	6.51 a 26.86	7.77 a 30.54	3.27 a 28.40
Capacidad de Soporte CBR (%)	60.7 a 175	75 a 152	17.4 a 74.4
Peso volumétrico (Kg/m³)	1700 a 1850	1550 a 1650	1550 a 1650

4.7 VERIFICACION Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL RELLENO FLUIDO EN OBRA

Como una manera de verificar y evaluar su comportamiento como material sustituto de suelo granular en relleno de zanjas y nivelación de terrenos, se llevo a cabo la comprobación de sus principales características, mediante la ejecución de trescientos

cincuenta metros cúbicos (350 m³) de relleno fluido, utilizado para los anteriores fines dentro de la etapa de construcción del bloque de medicina, obra que en la actualidad la Universidad de Nariño adelanta.

Esto se logro, gracias a la oportunidad que dieron a este trabajo de investigación la vicerrectoria administrativa, junto con planeación de planta física y el personal que esta al frente de la obra, una vez conocidas las ventajas que ofrece este material y los resultados obtenidos en el proceso de ejecución de este trabajo de grado.

Figura 14. Vista general construcción facultad de medicina



4.7.1. Mezclas de Prueba. La realización de las mezclas de prueba es un punto esencial para cualquier tipo de trabajo a desarrollarse, ya que los materiales (agregado fino) poseen características propias que tienen gran influencia dentro de los resultados que se obtienen (resistencia a la compresión, capacidad de soporte, peso unitario, entre otros). Debido a que en el sitio de la obra se encontraba material producto de las excavaciones se tomo muestras para elaborar mezclas con diferentes proporciones de cemento con el fin de seleccionar la mas apropiada para este tipo de trabajos; a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 23. Mezclas de prueba con el material de excavación para el bloque de medicina

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN</i>					
	1-12	1-13	1-15	1-17	1-19	1-20
Resistencia 7 días (kg/cm²)	20.53	17.36	14.68	12.72	7.85	5.25
Resisten. Esperada 28 días (kg/cm²)	31.58	26.71	22.58	19.6	12.07	8.07
Peso unitario fresco (tn/m³)	1820	1750	1790	1790	1670	1650
Cemento (kg/m³)	136	110	100	88	78	70

A partir de la resistencia obtenida a los 7 días de edad se realizo una proyección en la curva de comportamiento del relleno fluido, en la cual se determino la resistencia esperada a los 28 días. Conocido los resultados de resistencia a la compresión de las diferentes mezclas, se recomendó utilizar para los rellenos de la obra una dosificación en volumen de

1-20 (1 parte de cemento y 20 partes de suelo), con una cantidad de agua que genere un asentamiento entre 20 y 25 cm (3.5 a 4.5 partes de agua dependiendo de la humedad del material).

Una vez definida la dosificación a trabajar, se recomendó utilizar rajón como medio para disminuir la cantidad de material por m^3 y además obtener con esto una mayor capacidad de soporte; estudiada la propuesta fue aceptada logrando disminuir la cantidad de cemento a $42 \text{ kg}/m^3$.

4.7.2. Puesta en obra del material. El amasado del relleno fluido se realizó de forma similar a la preparación de un concreto convencional mediante la utilización de trompos mezcladores; el material se colocó en la mayor parte del relleno mediante caída directa desde la mezcladora, necesitando en pocas ocasiones la utilización de carretas para su transporte y colocación.

Como se ha mencionado en varias ocasiones el relleno fluido es un producto que se distingue de los otros empleados en rellenos, por las propiedades que presenta tanto en estado fresco como endurecido. Durante la ejecución de este trabajo se pudo verificar las siguientes propiedades:

- *Trabajabilidad:* quizá una de las mayores ventajas que presenta el relleno fluido, logrando gracias a esta propiedad alcanzar rendimientos de hasta $25 \text{ m}^3/\text{día}$. La fluidez alcanzada permitió que el material sea autonivelante y autocompactante

eliminando con esto la utilización de equipos adicionales; destinados para estas actividades. A demás se relleno fácilmente zanjas consideradas como de difícil compactación por las dimensiones reducidas.

Figura 15. Relleno fluido vaciado directo desde el trompo mezclador



- *Plazo de endurecimiento:* como se sabe existen factores que afectan el tiempo de fraguado entre ellos el contenido de humedad de la mezcla, el tipo y la cantidad circundante y, la temperatura ambiente. A pesar de que se utilizara poco conglomerante y se manejara una fluidez alta, el plazo de endurecimiento estuvo entre 4 y 6 horas, logrando trabajar sobre el, aproximadamente desde las 15 horas de

haberse colocado en el sitio; a esto contribuyo además la utilización de rajón que le apporto al relleno capacidad portante adicional.

- *Resistencia:* a fin de comprobar la resistencia del relleno fluido utilizado en el relleno de zanjas y nivelación del terreno se tomaron cilindros para ser ensayados a las diferentes edades, en el siguiente cuadro se relaciona cada uno de los cilindros tomados y ensayos hasta la fecha.

Cuadro 24. Resistencia a la compresión relleno fluido bloque de medicina

<i>Cilindro No.</i>	<i>Referencia</i>	<i>Dosif.</i>	<i>Fecha Toma</i>	<i>Fecha Ensayo</i>	<i>Edad (días)</i>	<i>Carga (kg)</i>	<i>Área (cm²)</i>	<i>Resis. (kg/cm²)</i>
MJ	Nivel. A-B entre 1-1'	1-20	5-Feb	12-Feb	7	479.8	45.6	10.52
MJ	Nivel. A-B entre 1-1'	1-20	5-Feb	12-Feb	7	421.2	45.6	9.24
MT	Nivel. B-C entre 1-1'	1-20	5-Feb	12-Feb	7	203.9	45.6	4.47
MT	Nivel. B-C entre 1-1'	1-20	5-Feb	12-Feb	7	194.4	45.6	4.25
ML	Zanjas A-B entre 5-6	1-20	6-Feb	13-Feb	7	189.3	45.6	4.15
ML	Zanjas A-B entre 5-6	1-20	6-Feb	13-Feb	7	170.5	45.6	3.74
MT₂	Zanjas B-C entre 2-3	1-20	7-Feb	14-Feb	7	251.2	45.6	5.50
MT₂	Zanjas B-C entre 2-3	1-20	7-Feb	14-Feb	7	214.4	45.6	4.70
ML₂	Zanjas A-B entre 3-3'	1-20	7-Feb	14-Feb	7	187.1	45.6	4.10
ML₂	Zanjas A-B entre 3-3'	1-20	7-Feb	14-Feb	7	181.2	45.6	3.97

MJ₂	Nivel. A-B entre 2-3	1-20	8-Feb	15-Feb	7	338.5	45.6	7.41
MJ₂	Nivel. A-B entre 2-3	1-20	8-Feb	15-Feb	7	373.1	45.6	8.17
ML₃	Zanjas ZT-3 y ZT-6	1-20	8-Feb	15-Feb	7	154.4	45.6	3.38
ML₃	Zanjas ZT-3 y ZT-6	1-20	8-Feb	15-Feb	7	163.1	45.6	3.57

4.7.3. Análisis comparativo. La ejecución de este proyecto sirvió para observar y analizar su comportamiento en obra, como también para verificar las propiedades que caracterizan a este material y hacen que sea competitivo, tanto por las ventajas que tiene en comparación con los rellenos granulares, como en precio.

El rendimiento alcanzado durante su ejecución ($25\text{m}^3/\text{día}$), la uniformidad del producto, la facilidad de colocación en obra por su fluidez y la resistencia alcanzada pocas horas después de haber sido colocado en el sitio; se convirtieron uno de los mayores atractivos de las personas encargadas de la obra (planeación de la planta física, director de obra, residentes de obra, interventoría, maestros y obreros).

El tiempo de ejecución de una actividad dentro de una obra se refleja en el cumplimiento del cronograma de actividades; los trabajos realizados con relleno fluido lograron disminuir el plazo de esta actividad en aproximadamente 15 días; gracias al rendimiento alcanzado y a la disponibilidad de 3 mezcladoras, se logró finalizar este trabajo en tan solo cuatro (4)

días. Se puede decir además que no únicamente se gana tiempo, sino, al utilizar gran parte del material excavado, se ahorra dinero destinado para su desalojo.

A continuación se presentan los precios unitarios de cada una de las propuestas y su correspondiente comparación.

ITEM: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3750	188		
Compactador Saltarín	hora	2/3	6800	4533		
Recebo	m3	1.3	18000		23400	
Cuadrilla A	jornal	1/12	70000			3750
COSTO DIRECTO \$		31871/M ³		4721	23400	3750

ITEM: RELLENO FLUIDO CON MATERIAL DEL SITIO 60%, RAJON 40%

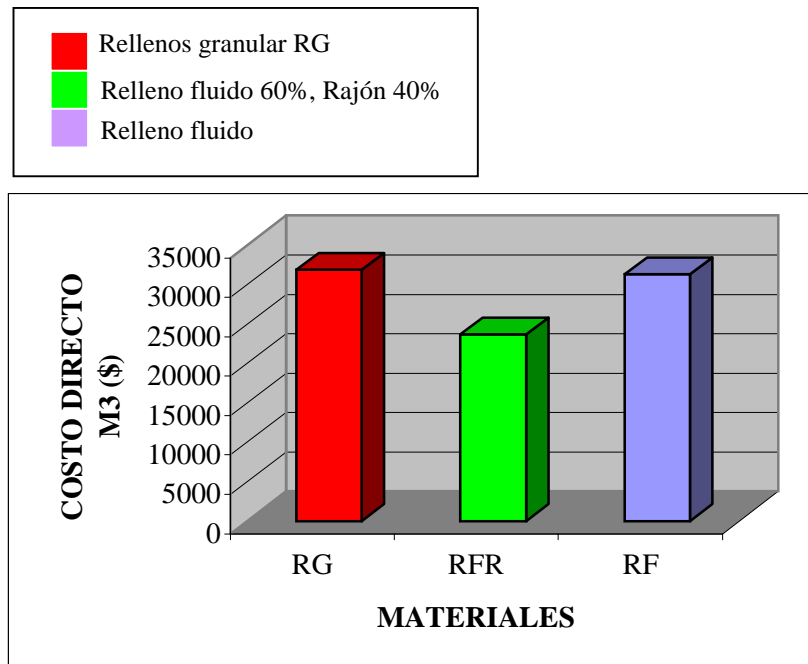
DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	2917	146		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Rajón	m3	½	6000		3000	
Cemento	kg	42	380		15960	
Cuadrilla A	jornal	1/24	70000			2917
COSTO DIRECTO \$		23689/M ³		1813	18960	2917

ITEM: RELLENO FLUIDO CON MATERIAL DEL SITIO

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	2917	146		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	70	380		26600	
Cuadrilla A	jornal	1/24	70000			2917
COSTO DIRECTO \$		31329/M ³		1813	26600	2917

Si analizamos las propuestas, vemos que el relleno fluido es también competitivo en precio, y además, la determinación de utilizar rajón fue acertada, ya que se logró disminuir el precio por metro cúbico en aproximadamente el 25%.

Figura 16. Costo directo metro cúbico de materiales – Facultad de medicina



4.8 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL GRANULAR

La información que a continuación se presenta servirá de base para realizar un análisis comparativo entre los dos materiales. Parte de esta información fue obtenida mediante ensayos de laboratorio como anexo a este proyecto de investigación y otra suministrada por laboratorios particulares.

Especificaciones del material granular

MATERIAL 1			MATERIAL 2		
Procedencia: Cantera La Lorianana			Procedencia: Cantera La Lorianana		
Uso: construcción de bases y sub-bases			Uso: construcción de rellenos		
Clasificación U.S.C: SW			Clasificación U.S.C: SM		
Nombre: Arena bien gradada			Nombre: Arena Limosa		
Límites de consistencia: NL, Np			Límites de consistencia: LL= 34.93		
Humedad: 3.7%			Lp=28.49		
Densidad máxima: 1.61 gr/cm ³			Humedad: 20.9 %		
Humedad óptima: 13.5 %			Densidad máxima: 1.51 gr/cm ³		
C.B.R: 73.5 %			Humedad óptima: 23.5 %		
Granulometría:			C.B.R: 20.4 %		
Granulometría:			Granulometría:		
TAMIZ	%PASA		TAMIZ	%PASA	
No.	Abertura (mm)	Real	No.	Abertura (mm)	Real
1/2"	38.1	100	1 1/2"	38.1	100
1"	25.4	95.12	1"	25.4	93.23
1/2"	12.7	85.04	3/4"	19.05	89.25
3/8"	9.525	81.22	1/2"	12.7	84.36
4	4.75	71.07	3/8"	9.525	79.41
10	2	56.87	4	4.75	66.98
40	0.425	25.25	10	2	65.04
200	0.075	10.39	16	1.19	62.91
			40	0.425	55.63
			50	0.3	55.17
			100	0.15	46.27
			200	0.075	39.13

MATERIAL 3		MATERIAL 4	
Procedencia: Cantera Woodcock		Procedencia: Cantera Woodcock	
Uso: construcción de bases y sub-bases		Uso: construcción de rellenos	

Clasificación U.S.C: SW
 Nombre: Arena bien gradada
 Límites de consistencia: NL, Np
 Humedad: 15.67%
 Densidad máxima: 1.6 gr/cm³
 Humedad óptima: 15.29%
 C.B.R: 68.7 %
 Granulometría

Clasificación U.S.C: SM
 Nombre: Arena Limosa
 Límites de consistencia: LL = 35.56 Lp = 33.01
 Humedad: 6.8%
 Densidad máxima: 1.34 gr/cm³
 Humedad óptima: 28.08%
 C.B.R: 15.3 %
 Granulometría:

TAMIZ			TAMIZ		
No.	Abertura (mm)	% PASA Real	No.	Abertura (mm)	% PASA Real
11/2"	38.1	90.11	3/8"	9.525	100
1"	25.4	89.64	4	4.75	99.1
1/2"	12.7	70.81	10	2	93.23
3/8"	9.525	68.44	16	1.19	86.32
4	4.75	60.59	40	0.425	67.22
10	2	49.30	50	0.3	63.80
40	0.425	18.40	100	0.15	44.55
200	0.075	8.99	200	0.075	37.26

MATERIAL 5

Procedencia: Cantera Las Terrazas
 Uso: construcción de bases y sub-bases
 Clasificación U.S.C: GW
 Nombre: Arena bien gradada
 Límites de consistencia: NL, Np
 Humedad: 23.25%
 Densidad máxima: 1.57gr/cm³
 Humedad óptima: 21%
 C.B.R: 65.9 %
 Granulometría

MATERIAL 6

Procedencia: Cantera Las Terrazas
 Uso: construcción de rellenos
 Clasificación ML
 Nombre: Limo poco plástico
 Límites de consistencia: LL = 46..98 Lp = 34.53
 Humedad: 33.7%
 Densidad máxima: 1.27 gr/cm³
 Humedad óptima: 33.5 %
 C.B.R: 17.4 %
 Granulometría:

TAMIZ		% PASA	TAMIZ		% PASA
No.	Abertura (mm)	Real	No.	Abertura (mm)	Real
11/2"	38.1	81.76	3/8"	9.525	100
1"	25.4	76.28	4	4.75	99.96
1/2"	12.7	60.90	10	2	99.57
3/8"	9.525	55.49	16	1.19	98.78
4	4.75	44.93	40	0.425	93.31
10	2	39.34	50	0.3	91.29
40	0.425	24.04	100	1.15	78.39
200	0.075	11.24	200	0.075	68.21

MATERIAL 7

Procedencia: Cantera Pabón

Uso: construcción de bases y sub-bases

Clasificación U.S.C: SW

Nombre: Arena bien gradada

Límites de consistencia: NL, Np

Humedad: 16.3 %

Densidad máxima: 1.9 gr/cm³

Humedad óptima: 15.3%

C.B.R: 95.4%

Granulometría

TAMIZ		% PASA
No.	Abertura (mm)	Real
21/2	62.7	98.82
2	50.08	96.35
11/2"	38.1	95.29
1"	25.4	87.91
1/2"	12.7	75.13
3/8"	9.525	70.63
4	4.75	61.04

10	2	44.5
40	0.425	27.97
200	0.075	8.32

Cuadro 25. Resumen ensayos de laboratorio material granular

<i>CANTERAS</i>	<i>C.B.R</i> %	<i>PROCTOR MODIFICADO</i>		<i>LL</i>	<i>LP</i>	<i>IP</i>	<i>Tam. 4% pasa</i>	<i>Tam. 200% pasa</i>	<i>Clasi f. USC</i>
		Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)						
LAS TERRAZAS (SUB-BASE)	65.9	1.57	21	NL	NP	----	44.93	11.24	GW
LA LORIANA (SUB-BASE)	73.5	1.61	13.5	NL	NP	----	71.07	10.39	SW
H. WOODCOCK (SUB-BASE)	68.7	1.6	15.29	NL	NP	----	60.59	8.99	SW
LA LORIANA (RELLENO)	20.4	1.51	23.5	34.93	28.49	6.44	66.98	37.85	SM
H. WOODCOCK (RELLENO)	15.3	1.34	28.08	35.56	33.01	2.55	99.1	37.26	SM
PABÓN	95.4	1.9	15.3	NL	NP	-----	69.04	8.32	SW
LAS TERRAZAS (RELLENO)	17.4	1.27	33.5	46.98	34.53	12.45	99.96	68.21	ML

4.9 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL RELLENO FLUIDO Y EL RELLENO GRANULAR TRADICIONAL

natural las condiciones óptimas para cumplir con las especificaciones aplicables. Esta situación obliga a estabilizarlo, ya sea por medios químicos (cemento, cal) o por medios mecánicos (roca, grava, arena, compactación), lo cual implica a veces situaciones difíciles de sortear dada la dificultad que se tiene para lograr que el porcentaje de compactación alcance el exigido por las especificaciones; lógicamente, todo esto encarece y retrasa el desarrollo normal de la obra.

En el caso de una estructura de pavimento cada una de las capas requiere un tratamiento para preparar el material, de forma tal que resulte apto para la función que deberá desempeñar en su vida de servicio.

Entre las pruebas más importantes en la utilización y construcción de bases y sub-bases se encuentra la del valor relativo de soporte. Para aprobar esta prueba, la sub-base debe arrojar valores por encima de 50 por ciento, en tanto que la base debe cumplir con 80 por ciento de valor relativo de soporte; dependiendo de las condiciones de tránsito, esta exigencia puede llegar a cien por ciento.

Además de lo anterior, se debe considerar que para aprobar el material granular una vez que ha sido colocado en el lugar que ocupará el pavimento, se verifica su porcentaje de

compactación que está entre el noventa y cinco, y cien por ciento (95 – 100%) del valor solicitado.

Lograr que el resultado obtenido en la prueba de compactación arroje resultados dentro de las especificaciones implica obligatoriamente la utilización de maquinaria pesada y un número importante de personas para realizar los trabajos necesarios.

Es aquí donde se ponen de relieve las ventajas del relleno fluido por su sencillez de colocación y la seguridad que brinda de obtener los resultados requeridos, ya que por su proceso de producción controlado y los materiales normalizados que se utilizan en su elaboración, se asegura un comportamiento uniforme y constante. Además, los recursos humanos que se destinan para el tendido y compactado cuando se los utiliza son mínimos.

Para observar el comportamiento de este material vale la pena revisar los resultados que a la fecha se han obtenido:

Peso volumétrico: 1550 a 1900 kg/m³

Valor relativo de soporte (C.B.R): 17 a 175 %

Resistencia a la compresión (28 días de edad): 3.3 a 68 kg/cm²

Cambios volumétricos: 0.5 a 2.5%

Tamaño máximo: 4.75 mm

“En la tecnología de suelos, a diferencia de cuando se habla de concreto hidráulico, resistencias a la compresión de 50 kg/cm^2 son consideradas elevadas ya que en términos de la capacidad de un suelo para soportar carga, para efectos comparativos o de equivalencia, un suelo bueno natural puede tener de 1 a 2.5 kg/cm^2 , una sub-base granular de 3.5 a 5 kg/cm^2 y de igual manera, una base granular puede tener una resistencia estimada entre 7 y 8 kg/cm^2 . El límite de resistencia a la compresión especificada para un relleno fluido es 85 kg/cm^2 ”⁹.

A diferencia de los suelos granulares, el relleno fluido puede ser bombeado a grandes distancias sin perder las características originales para las que fue diseñado. Se considera que la contracción que puede sufrir es insignificante. Su tiempo de endurecimiento puede considerarse normal en comparación con otros materiales cementantes similares: en condiciones normales, puede tomar de tres a cinco horas.

En términos generales, es ideal para usarse en áreas reducidas o restringidas donde la colocación del suelo compactado es difícil, la velocidad de un proyecto es importante y se requiere una mejor calidad de la que un suelo compactado puede dar.

En el caso de relleno de zanjas se puede tener un ahorro de 30 por ciento en volumen que se debe excavar, lo que significa una reducción del tiempo requerido, menor cantidad de mano de obra y sobre todo la seguridad del producto que se utiliza. Para este tipo de rellenos, la

⁹ JARAMILLO PORTO, Diego. Construcción de bases sólidas. En : Noticreto. Colombia : No. 51; junio, 1999; p.66.

verificación de la calidad puede llegar a ser solamente visual dado el tipo de utilización. Cuando se requiera mayor control, la calidad del producto puede comprobarse mediante pruebas de la resistencia a la compresión, o bien el valor relativo de soporte.

Se puede decir que debido a la facilidad y rapidez de colocación, cuando el relleno fluido se encuentra en estado fresco, así como a las propiedades mecánicas que superan a los rellenos tradicionales cuando este material se ha endurecido, es posible modificar la geometría de las secciones donde se emplee, resultando secciones de menores dimensiones, menor volumen de excavación, un material homogéneo, con mejores propiedades mecánicas, lo cual hace que las soluciones con este material sean competitivas en costo y en rendimientos ya que reduce notoriamente los tiempos de ejecución de obra.

Cuadro 26. Resumen comparativo

<i>Material Granular</i>	<i>Relleno Fluido</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Lograr que el grado de compactación arroje resultados dentro de las especificaciones, implica obligatoriamente la utilización de equipo y material apropiado, generando continuos atrasos de la obra. - Para rellenos sobre zanjas de secciones reducidas debe realizarse excavaciones extras, con el fin de poder acomodar el equipo de compactación. - No presentan homogeneidad por las 	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta facilidad y rapidez de colocación en obra por sus características de autonivelacion y autocompactacion. - Es ideal para usarse en áreas reducidas o restringidas, en el caso de relleno de zanjas realizadas para instalación de servicios (agua, alcantarillado, gas, comunicaciones, etc.) - En el caso de relleno de zanjas se puede tener un ahorro del treinta por ciento (30%)

<p>características del material ya que para lograr una compactación adecuada debe poseer una humedad optima como un numero de pasadas uniforme y adecuado para conseguir el grado de compactación exigido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - El suelo granular presenta menor durabilidad ya que es susceptible a perder capacidad mecánica debida a los flujos de agua. - Por falta de uniformidad y presentar zonas con menor grado de compactación, los rellenos con material granular sufren asentamientos considerables, llegando incluso a realizar trabajos adicionales de recuperación de firmes. - Los controles de calidad que se realizan son mayores y además presentan costos superiores. 	<p>en volumen de excavación, ya que se excava únicamente la sección requerida para las instalaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presenta gran versatilidad, las formulas de trabajo de los materiales de baja resistencia controlada pueden ajustarse para satisfacer las exigencias particulares de una determinada obra. - Presenta garantías de homogeneidad mucho mayores que la de los rellenos granulares, incluso de los ejecutados correctamente, por los materiales utilizados, el menor numero de operaciones y la independencia del grado de compactación alcanzado. - Resistencia y durabilidad, la capacidad de soporte es en general superior a la de los rellenos granulares bien compactados. - No sufren asentamientos ya que presentan mayor estabilidad en calidad y volumen durante su vida útil. - Requieren menos controles, dependiendo de la magnitud de la obra; los controles comunes son los de resistencia a la compresión, capacidad de soporte y consistencia.
--	--

4.9.1. Precios Unitarios Relleno Fluido. Los precios que se muestran a continuación corresponden a los materiales trabajados durante esta investigación. Es de notar que la

cuadrilla de trabajo se calculo con 1 oficial y 6 obreros con precios por mano de obra de \$25.000 y \$11.000 el día respectivamente.

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR(PASANTE 3/8")

Resistencia = 27 kg/cm²

Dosificación = 1 - 10

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	123	380		46740	
Arena	m ³	1.25	12000		15000	
Agua	lt	350	10		3500	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		70910		1857	65240	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR(PASANTE 3/8")

Resistencia = 12,5 kg/cm²

Dosificación = 1 - 15

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	85	380		32300	
Arena	m ³	1.3	12000		15600	
Agua	lt	343	10		3430	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		57000		1857	51330	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR(PASANTE 3/8")

Resistencia = 7,75 kg/cm²

Dosificación = 1 - 20

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	65	380		24700	
Arena	m ³	1.35	12000		16200	
Agua	lt	339	10		3390	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		49960		1857	44290	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR(PASANTE 3/8")

Resistencia = 6,5 kg/cm²

Dosificación = 1 - 25

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	50	380		19000	
Arena	m ³	1.4	12000		16800	
Agua	lt	337	10		3370	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		44840		1857	39170	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR
CON ADITIVO(PASANTE 3/8")

Resistencia = 30,5 kg/cm²

Dosificación = 1 - 10

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	120	380		45600	
Arena	m ³	1.1	12000		13200	
Agua	lt	320	10		3200	
Eucocell 200	kg	2.4	4996		11989	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		79659		1857	73989	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR
CON ADITIVO(PASANTE 3/8")

Resistencia = 14,6 kg/cm²

Dosificación = 1 - 15

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	80	380		30400	
Arena	m ³	1.15	12000		13800	
Agua	lt	310	10		3100	
Eucocell 200	kg	1.6	4996		7993	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		60963		1857	55293	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR
CON ADITIVO(PASANTE 3/8")

Resistencia = 10,9 kg/cm²

Dosificación = 1 - 20

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	hora	1/3	5000	1667		
Cemento	kg	62	380		23560	
Arena	m ³	1.2	12000		14400	
Agua	lt	306	10		3060	
Eucocell 200	kg	1.3	4996		6195	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		52885		1857	47215	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON ARENA NEGRA SIN LAVAR
CON ADITIVO(PASANTE 3/8")

Resistencia = 7,77 kg/cm²

Dosificación = 1 - 25

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	Hora	1/3	5000	1667		
Cemento	Kg	48	380		18240	
Arena	m ³	1.25	12000		15000	
Agua	Lt	303	10		3030	
Eucocell 200	Kg	0.96	4996		4796	
Cuadrilla A	Jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		46736		1857	36270	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON SUELO

Resistencia = 15,3 kg/cm²

Dosificación = 1 - 10

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	Hora	1/3	5000	1667		
Cemento	Kg	117	380		44460	
Suelo	m ³	1.35	8000		10800	
Agua	Lt	480	10		4800	
Cuadrilla A	Jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		65730		1857	60060	3813

ITEM: RELLENO FLUIDO CON SUELO

Resistencia = 3,27 kg/cm²

Dosificación = 1 - 15

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Herramienta menor	%	5	3813	191		
Mezcladora	Hora	1/3	5000	1667		
Cemento	Kg	68	380		25840	
Suelo	m ³	1.4	8000		11200	
Agua	lt	450	10		4500	
Cuadrilla A	jornal	1/24	91500			3813
COSTO DIRECTO \$		47210		1857	41540	3813

4.9.2. Precios Unitarios Material Granular. Los precios que se muestran a continuación fueron suministrados por el plan vial y el Instituto Nacional de Vías.

ITEM: BASE RECEBO Y TRITURADO TAM. MAX. = 1 1/2"

FUENTE: PLAN VIAL

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Motoniveladora cat-14e	hora	1/22	50000	2273		
Compactador ca-25	hora	1/22	50000	2273		
Carrotanque	hora	1/22	40000	1818		
Recebo para base	m ³	0.7	12500		8750	
Grava o triturado	m ³	0.5	25000		12500	
COSTO DIRECTO \$		27614		6364	21250	

ITEM: BASE GRANULAR

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Motoniveladora-112	hora	1/30	60000	2000		
Compactador	hora	1/30	45000	1500		
Base granular	m ³	1.3	22000		28600	
COSTO DIRECTO \$		32100		3500	28600	

ITEM: SUB-BASE COMPACTADA

FUENTE: PLAN VIAL

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Motoniveladora cat-14e	hora	1/20	50000	2500		
Compactador ca-25	hora	1/20	50000	2500		
Carrotanque	hora	1/20	40000	2000		
Recebo para sub-base	m3	1.3	11500		14950	
COSTO DIRECTO \$		21950		7000	14950	

ITEM: RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO

FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

DESCRIPCION	UNID	REN/CANT	V/UNIT	EQUIPO	MATERIAL	GENTE
Compactador tipo saltarin	hora	2/3	7500	5000		
Recebo para sub-base	m3	1.3	12000		15600	
Cuadrilla A	jornal	1/12	33000			2750
COSTO DIRECTO \$		23350		5000	15600	2750

Figura 17. Rangos de resistencia a la compresión para los materiales.

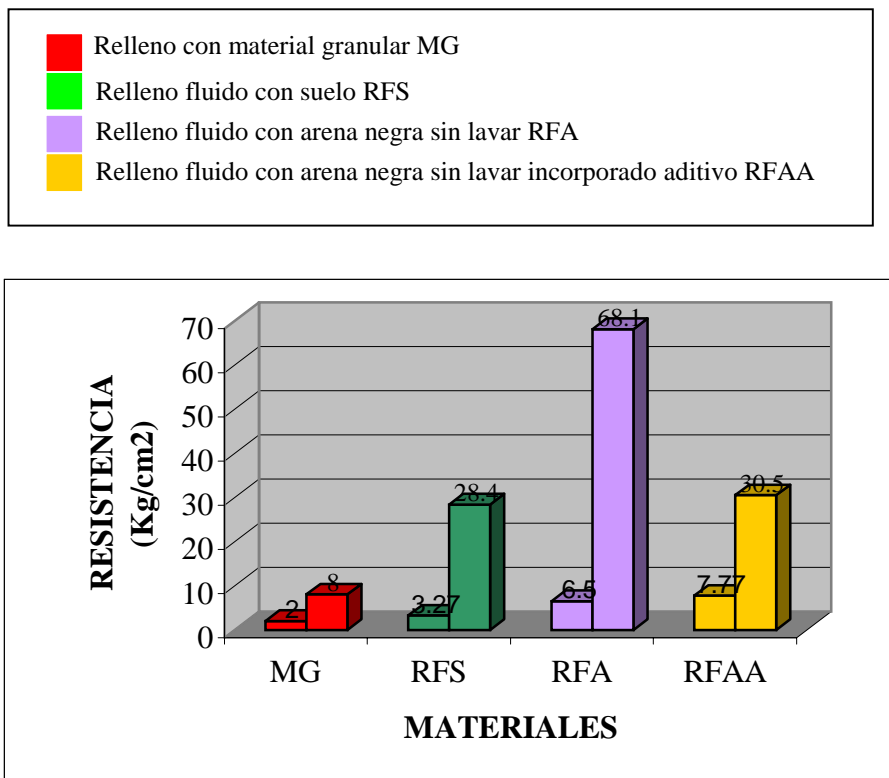


Figura 18. Rangos capacidad de soporte de los materiales

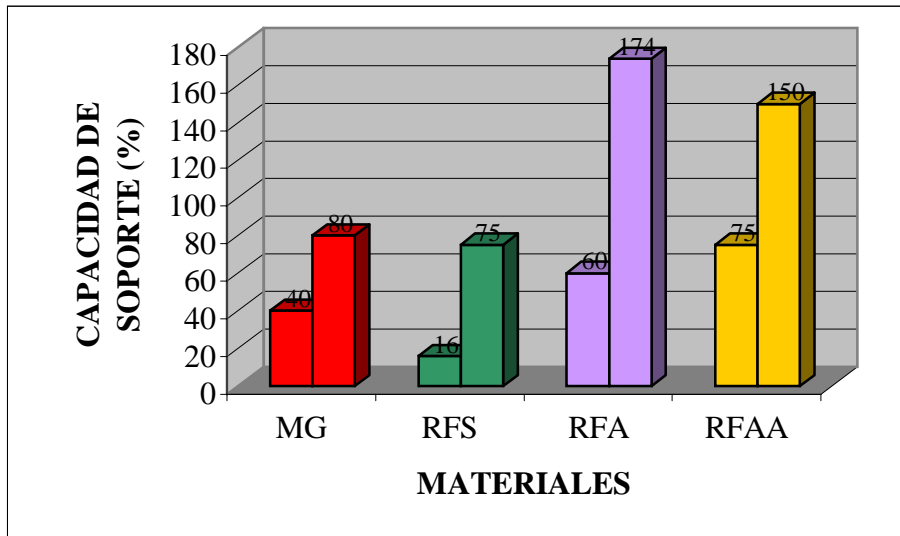


Figura 19. Rendimientos promedios de puesta en obra

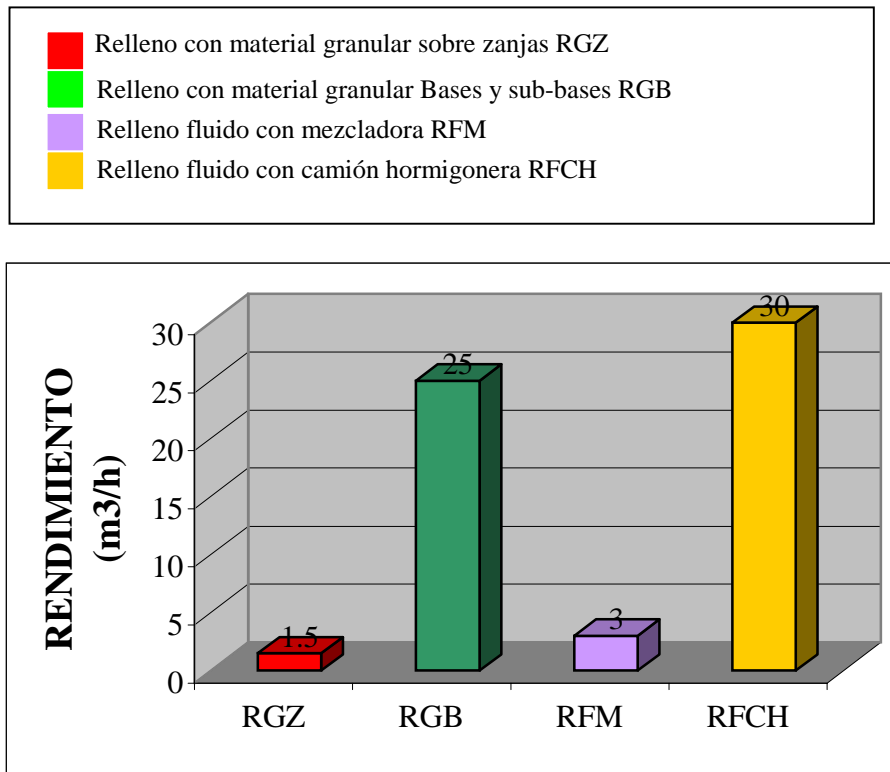


Figura 20. Costo directo promedio metro cúbico para bases

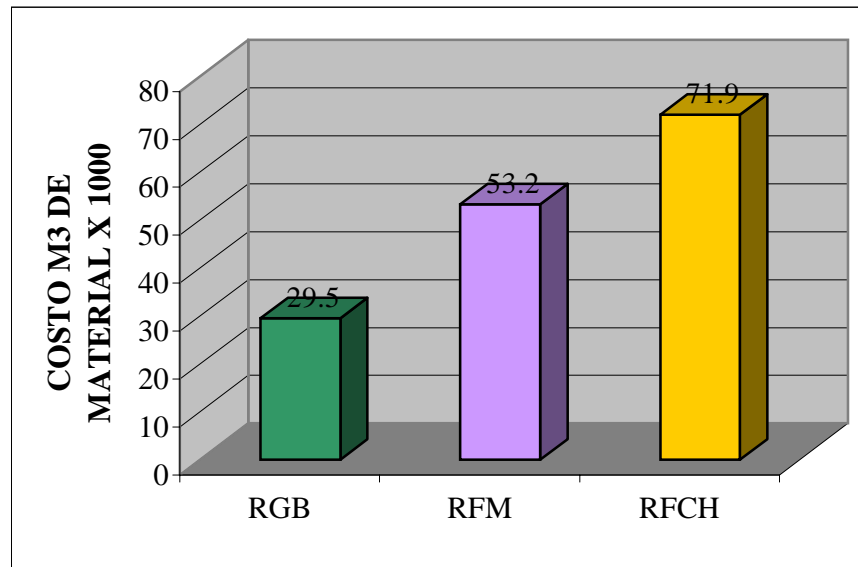


Figura 21. Costo directo promedio metro cúbico para sub-bases

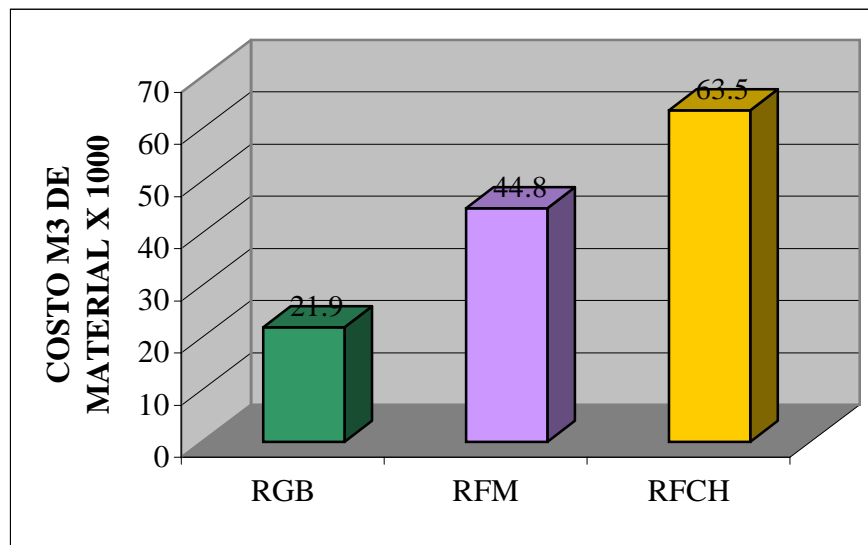
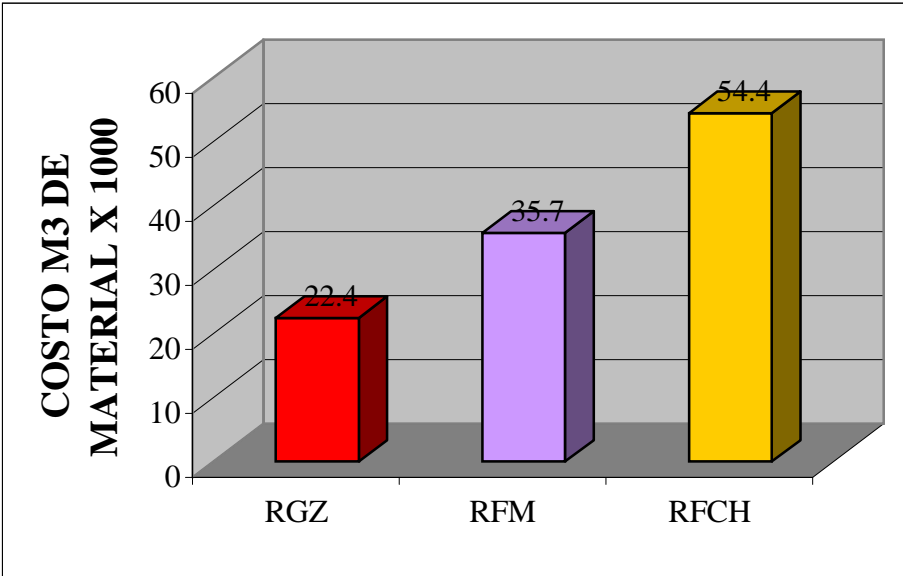


Figura 22. Costo directo promedio metro cúbico relleno de zanjas



5. CONCLUSIONES

Con base en el trabajo experimental realizado y la puesta en obra del material se puede extraer las siguientes conclusiones.

- Los morteros de baja resistencia controlada son una solución muy experimentada y con numerosas ventajas para el relleno de zanjas, bases para pavimentos y otras aplicaciones. Por ello, constituyen una alternativa que debería ser siempre considerada en este tipo de obras.
- La manufactura del relleno fluido es de la misma manera que el concreto convencional (mezcladora convencional o centrales de hormigón elaborado) y, con los mismos procedimientos de control de calidad. Su colocación es similar a la de un concreto, pero su uso y excavabilidad muestran características propias de los suelos.
- Por la versatilidad de usos que tiene el relleno fluido permite diseñar resistencias entre los 3 y 85 kg/cm², las cuales dependen de las necesidades y magnitud del proyecto.
- La resistencia del mortero fluido al igual que el concreto, se incrementa con la edad, como dato informativo y a la vez práctico resultante de los ensayos realizados sobre especímenes de las diferentes mezclas y materiales se determinó que la resistencia a los 7 días se encuentra entre el 60 y 70% de la resistencia a los 28 días y la resistencia a los

14 días entre el 80 y 90%.

- Se presenta una amplia diferencia de las resistencias obtenidas para los distintos materiales utilizados en el estudio, resistencia medida sobre probetas cilíndricas elaboradas bajo similares condiciones e igual dosificación. Por ejemplo para una dosificación en peso de 1-10 tenemos que, cilindros elaborados con arena blanca y ensayados a 28 días de edad nos dieron una resistencia promedio de 5.12 kg/cm^2 , con suelo de 15.30 kg/cm^2 ; mientras que con arena negra se alcanzo una resistencia de 26.86 kg/cm^2 . Esta fue una de las razones que influyo en la decisión de no continuar trabajando con arena blanca y por el contrario incluir en el estudio como una decisión acertada a los suelos.
- Las mezclas de relleno fluido elaboradas con arena negra y con bajos contenidos de conglomerante (1-20 en adelante) presentan problemas de segregación por los altos contenidos de agua (aproximadamente $330 \text{ a } 340 \text{ Lt/m}^3$), como por la carencia de finos; originando de esta forma mezclas con carencia de manejabilidad. La solución a este problema se dio mediante la incorporación de Eucocell 200, un aditivo diseñado específicamente para rellenos fluidos, el cual le imparte a la mezcla la fluidez requerida, evitando la segregación y la exudación; además reduce el peso específico del material de 1800 kg/m^3 a un valor promedio de 1600 kg/m^3 .
- Una alternativa de uso del relleno fluido como medio para disminuir costos en la producción y obtener rendimientos en su ejecución, es la utilización del rajón

(ciclópeo). Esta alternativa propuesta y a demás puesta en practica disminuye el precio por metro cúbico en un veinticinco por ciento (25%). La utilización del rajón se ve limitada por el tipo de relleno que se desee realizar con el material y su empleo se deja a criterio de las personas que estén a cargo del proyecto.

- El costo por metro cúbico de relleno fluido frente al relleno granular tradicional es superior; pero queda ampliamente compensado por los grandes beneficios que se obtienen con su uso, especialmente en el relleno de zanjas. Por la facilidad de colocación, la falta de necesidad de compactación, la homogeneidad y sobre todo, la seguridad que supone su comportamiento a largo plazo, con ausencia de asentamientos y deformaciones del firme.

- El relleno fluido es una alternativa que debe ser siempre considerada y analizada para cada proyecto en forma particular, ya que en sus mezclas puede ser utilizado el material producto de las excavaciones o cortes, disminuyendo con esto costos adicionales por desalojos de material. Por tal razón esta alternativa tiene un gran valor para las obras en donde conseguir el material apropiado y que cumplan con las exigencias es casi imposible; tal es el caso de algunas vías del putumayo, y del pacifico colombiano, entre ellas la vía Junín – Barbacoas.

6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se presentan son el resultado tanto del trabajo experimental realizado, como del comportamiento del material observado durante su puesta en obra, en trabajos de nivelación del terreno y relleno de zanjas.

- Los resultados obtenidos en el presente proyecto son el producto de la investigación llevada a cabo con materiales predeterminados; por tal razón cuando se vaya a utilizar el relleno fluido, se recomienda realizar mezclas de prueba con los materiales seleccionados para su uso. Estas mezclas de prueba se hacen de similar forma como las realizadas con el material de excavación, en los rellenos ejecutados en la facultad de medicina de la Universidad de Nariño.
- Cuando se decida utilizar el relleno fluido como material para estructura de pavimentos, el rango de diseño puede variar según se quiera igualar o superar la resistencia que se obtenía con una base o sub-base granular. Para obtener una base o sub-base estable con el tiempo, con una buena capacidad de soporte y además económica; se recomienda, para bases la utilización de arena negra sin lavar (Recebo pasante 3/8") con una resistencia de diseño no inferior a 10 kg/cm² con la que se obtiene un valor de CBR mayor al 80%, para el caso de las sub-bases la resistencia no debe ser inferior a 6 kg/cm². Se recomienda para este tipo de construcciones manejar un asentamiento comprendido entre 15 y 20 cm, ya que esto permite dejar las pendientes requeridas para

el manejo de aguas en la superficie del pavimento.

- Para el caso de rellenos de zanjas y nivelación de terrenos la resistencia a la compresión puede estar comprendida entre 3 y 7 kg/cm², la resistencia depende de la magnitud e importancias de la obra. Estas resistencias son recomendadas tanto por costos como también que deben proveerse futuras excavaciones. Puede ser utilizado el material resultante de las excavaciones en las mezclas de relleno fluido con el fin de disminuir su costo, pero su uso se ve limitado por las características del material que deben ser determinadas con previo análisis si se decide utilizarlo.
- Cuando se ejecuten obras con relleno fluido, se debe humedecer la superficie de contacto, esto con el fin de evitar agrietamientos en los bordes cuando el material se haya endurecido. Además, una vez terminado las labores de acabado, se debe proteger el material de igual manera como se lo hace con los concretos; esto con el fin de generar un ambiente adecuado en el proceso de fraguado.
- Por último es recomendable continuar investigando para obtener mayor información que permita mediante el procesamiento continuo el ajuste de la presente información. Además profundizar más el uso de este material que se convierte en una buena solución a los problemas e inconvenientes que presenta el uso del material granular. En cuanto al agregado fino (arena, suelo) es importante seguir explotando los materiales de la región con el fin de poder lograr un mayor uso del mortero fluido de baja resistencia controlada.

BIBLIOGRAFÍA

CONCRETOS DE OCCIDENTE LTDA. Relleno fluido. En : Boletín. Cali : Julio, 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.
Especificaciones del relleno fluido. Bogotá: ICONTEC., 2000. 11 P. NTC. 4859.

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. El relleno fluido. En :
Construcción y tecnología. Agosto, 2000.

GOFRE, Carlos. Rellenos con morteros y hormigones fluidos de baja resistencia controlada. En : Rutas técnica. España : N° 67; 1998; p.5 – 21.

JARAMILLO, Diego. Construcción de bases sólidas. En : Noticreto. Colombia : N° 51;
Junio, 1999; P. 64 – 68.

MATALLANA, Ricardo. Relleno de densidad controlada. En : Boletín. Cali : ICPC. N° 82;
(Jul. – Dic. 1998); P. 9 – 12.

MUÑOZ, Guillermo. Pavimentos asfálticos. 2. ed. Pasto : Editorial Universitaria, 2002. p.
33 – 34.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 3. ed. Bogotá : Blandar Editores, 1996. 349 p.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Concreto y morteros : Manejo y colocación en obra. 2. ed. Bogotá : ASOCRETO, 1998. 174 p.

