



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

USO DE RELLENOS FLUIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Eduardo Martín Rivera Pérez
Asesorado por el Ing. Oscar M. Velásquez C.

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

USO DE RELLENOS FLUIDOS EN LA CONSTRUCCIÓN

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

**EDUARDO MARÍN RIVERA PÉREZ
ASESORADO POR EL ING. OSCAR M. VELÁSQUEZ C.**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De Leon Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivòne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, Decano
EXAMINADOR	Ing. Julio Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Julio Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Calvin Enrique Estrada Barrera
SECRETARIA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por lo grande que es tu gracia y tu fidelidad
Mi Madre	Por todos sus sacrificios para hacerme un hombre de bien.
Mi esposa	Por creer en mí.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi Alma Mater, sin la cual no hubiera podido ser un profesional
Mixto Listo	Por haberme permitido iniciar mi carrera profesional como parte de su recurso humano
Todos mis compañeros de trabajo	Amigos, trabajando con ustedes he reforzado mi formación profesional.
Al Ing. Oscar Velásquez	Por su tiempo y apoyo incondicional en el asesoramiento de este trabajo

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Señor, momentos de triunfo como estos sean para darte a ti toda la honra, la gloria y honor
Mi Madre	Madre gracias a sus sacrificios y oraciones llegó este día, le pido a Dios que esto le llene de alegría y que esa alegría le dure toda su vida.
Mi tía Gloria	Tía, quiero agradecerle el habernos tratado como a unos hijos a mi y a mis hermanos cuando éramos niños; gracias a su interés en un campamento yo conocí a mi Señor.
Mi padre	Viejo donde quiera que estés, misión cumplida.
Mi esposa	Cielo, tu sabes que el conocerte cambio mi vida, sin ti no sería el hombre completo que soy el día de hoy.
Mis hermanos	María la O, Hugo y Anabela, ustedes han sido siempre la ayuda que he necesitado.
Mi sobrino	Renato, papito este esfuerzo te lo dedico también a ti, nunca pierdas esa alegría que Dios te dio.
Mis pastores	David y Miriam, estoy seguro que al igual que yo esperaban este día, gracias por su amor, oraciones, guía y por que siempre confiaron en mi.
La mami Elsi	Gracias por todo su cariño, apoyo y por haber cuidado tanto de niña a la que hoy es mi esposa.
Mi amigo	Oscar Corado "Cocush", amigo gracias el tiempo que has dedicada a la niñez guatemalteca, guiándola en los bellos caminos de la montaña de nuestra linda Guatemala, no tienes idea de las cosas que inspiraste en mi vida.

A mis amigos

Del Grupo Kimbejal, “Ni corriendo ni gateando, pero siempre caminando”; Moisés Godinez, Carlos Sandoval, Luis Rosales, Mauricio Pirir, amigos todos los tiempos compartidos con ustedes han sido inolvidables.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDECE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBEJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1 RELLENOS FLUIDOS	1
1,1 Generalidades	1
1,2 Descripción	1
1,3 Otros nombres utilizados	3
1,4 Propiedades	4
1.4.1 Propiedades en estado fresco	5
1.4.1.1 Consistencia	5
1.4.1.2 Peso unitario	6
1.4.1.3 Tiempo de fraguado	8
1.4.1.4 Fluidez y flotabilidad	8
1.4.1.5 Desarrollo de la resistencia	9
1.4.2 Propiedades en estado endurecido	9
1.4.2.1 Características de contracción por secado	10
1.4.2.2 Permeabilidad	10
1.4.2.3 Resistencia al congelamiento	10
1.4.2.4 Pruebas de capacidad soporte (UBR)	11

2 MATERIALES	15
2.1 General	15
2.2 Cemento	15
2.3 Agregados	15
2.4 Cenizas volantes	18
2.5 Agua	18
2.6 Aditivos	19
2.6.1 Espuma proformada	19
2.6.2 Aditivos a la mezcla	20
2.7 Materiales no estandar	21
2.7.1 Sistema AASHTO	23
2.7.2 Sistema Unificado ASTM	24
3 PROPIEDADES Y PRUEBAS	29
3.1 Propiedades plásticas	29
3.1.1 Pruebas de fluidez	29
3.1.2 Pruebas de peso unitarios	32
3.1.3 Segregación	34
3.1.4 Subsistencia o diferencial volumétrico	35
3.1.5 Pruebas de endurecimiento	35
3.1.6 Bombeo o bombeabilidad	38
3.2 Propiedades en servicio	40
3.2.1 Resistencia	40
3.2.1.1 Toma de muestras	41
3.2.1.2 Elaboración de testigos	42
3.2.1.3 Curado y transporte	43
3.2.1.4 Ensayo	44
3.2.2 Capacidad soporte	45
3.2.2.1 Plato estático	45
3.2.2.2 CBR	46

3.2.3	Densidad	50
3.2.4	Asentamiento diferencial	50
3.2.5	Conductividad / aislamiento térmico	51
3.2.6	Permeabilidad	51
3.2.7	Encogimiento	52
3.2.8	Excavabilidad	52
4	PROPORCIONAMIENTO	55
4.1	Método	55
4.1.1	Método de volúmenes absolutos	57
4.1.1.1	Ejemplo	58
4.1.2	Proporcionamiento con mezclas de prueba	62
4.2	Pruebas	63
4.2.1	Rellono con arenas	63
4.2.2	Rellenos con cascajo o base trituradas	65
4.2.3	Rellenos con toba o selecto	67
4.3	Pruebas de resistencia vrs. CBR	68
4.4	Pruebas extranjeras	72
4.5	Mezclado	74
4.6	Transporte	75
4.7	Colocación	76
5	APLICACIONES	81
5.1	Rellenos estructurales	81
5.2	Rellenos de aislamiento	82
5.3	Bases para pavimento	83
5.4	Encamamiento de conductos	88
5.5	Relleno de agujeros	90

6 ANÁLISIS DE COSTOS	93
7 EXPERIENCIAS	99
7,1 Extranjeras	99
7,2 Nacionales	103
7.2.1 Relleno en derrumbe de talud	104
7.2.2 Relleno de derrumbes en perforación de pozos	105
7.2.3 Relleno de derrumbe en Barrio San Antonio	108
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFIA	119
ANEXO	121

ÌNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1 Prueba de asentamiento con cono de Abraham	6
2 Compatibilidad entre los aditivos	21
3 Modelo del cono para prueba de asentamiento	31
4 Diferentes asentamientos para rellenos fluidos	31
5 Recipiente de medición para la prueba de contenido de aire	33
6 Equipo necesario para pruebas de fraguado	38
7 Descarga de relleno fluido en bomba para concreto	39
8 Obtención de muestras	42
9 Moldes para testigos	43
10 Maquina de ensayo	44
11 Montaje de dispositivo para ensayo de placa	46
12 Cilindro para CBR	47
13 Equipo para ensayo de CBR	47
14 Los rellenos fluidos se pueden excavar	53
15 Toma de muestras	70
16 Moldes para CBR	16
17 Relleno fluido transportado en camión de volteo	76
18 Transporte y bombeo	76
19 Colocación en zanja de extremo abierto	77
20 Relleno fluido hecho en capas	78
21 Zanja ensanchada para poder compactar el relleno granular	79

22 Losa con asilamiento y bajadas de agua	83
23 Losa nivela con relleno fluido con ayuda de equipo lásar	83
24 Colocación de relleno fluido com base	84
25 Relleno fluido para base de pavimento	85
26 Distribución de presión en pavimento asfáltico con base granular	87
27 Distribución de presión en pavimento de concreto con base granular	87
28 Distribución de presión en pavimento de concreto sobre relleno fluido	88
29 Introducción de drenajes	89
30 Encajamiento de tuberías con relleno fluido	90
31 Relleno entre muro de contención y derrumbe	91
32 Relleno entre muro de contención y derrumbe dos días después	91
Relleno para fundación de pisos en Universidad Centroamericana, El	
33 Salvador	99
34 Bacheo en aeropuerto de Acapulco, México	102
35 Aislamiento térmico, Tijuana México	103
36 Relleno en derrumbe del km. P.5 a El Salvador	105
37 Perfil de la excavación de un pozo con cavidad	107
38 Imagen del Barrio San Antonio el 22 de febrero del 2007	108
Arituculo publicado en Prensa Libre, sobre el relleno en el Barrio San	
39 Antonio	109
40 Planta ubicada en Barrio San Antonio	110
Banco de selecto para relleno fluido en humdimiento del Barrio San	
41 Antonio	110
42 Camión de volteo, cargado con relleno fluido	111
43 Diagrama del proceso de relleno en Barrio San Antonio	112
44 Avance del nivel del relleno en el Barrio San Antonio	113

TABLAS

1	Clasificación de rellenos fluidos por densidad y resistencia	13
2	Clasificación por consistencia de la mezcla	13
3	Clasificación por excavabilidad	14
4	Clasificación por tiempo de fraguado	14
5	Graduación para agregado fino para rellenos fluidos	17
6	Suelos que pueden utilizarse según clasificación del sistema unificado (ASTM, 1998)	25
7	Efecto de los materiales en las propiedades de los rellenos fluidos	27
8	Índice de CBR	49
9	Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos de capacidad soporte	49
10	Pruebas con arenas	64
11	Pruebas con cascajo	66
12	Pruebas con toba o selecto	67
13	Prueba No. 5	70
14	Diseño de mezcla en la unión Americana	73
15	Introducción de drenajes en Villa Nueva (método tradicional)	94
16	Introducción de drenajes en Villa Nueva (Relleno fluido con zanja a 1.00 m. de ancho)	95
17	Introducción de drenajes en Villa Nueva (Relleno fluido con zanja a 3.00 m. de ancho)	96

GLOSARIO

ACI	Instituto Americano del Concreto. Por sus siglas en inglés “American Concrete Institute” .
ASTM	Asociación Americana de prueba de materiales. Por sus siglas en inglés “American Standard Test Materials”.
Cantos rodados	Granos o partículas con aristas o esquinas suavizadas.
Cotas	Numero que indica la altura de un punto sobre el nivel del mar o sobre otro plano de nivel.
Cribado	Proceso de separar en una mezcla las partículas menores a un cuarto de pulgada de las de mayor diámetro, con ayuda del tamiz de un cuarto de pulgada.
Excavabilidad	Grado dificultad que presenta un material al momento de ser excavado.
Fluidez	Propiedad de los cuerpos cuyas moléculas tienen entre si poca coherencia, y toman siempre la forma del recipiente donde están contenidos.

Fraguado	Fase de una mezcla en la que pasa de un estado plástico a un estado endurecido..
Granulometría	Escala que trata la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas, de los suelos y mezclas.
Grout	Mortero fino con bastante contenido de cemento generalmente usado para llenar grietas y nivelado de superficies.
Lechadas	Mezcla de agua, cemento y arena fina.
Mortero	Mezcla de arena, cemento, agua y aditivos.
Nivel freático	Estrato del subsuelo con presencia de agua.
Pañuelos	Secciones triangulares dejadas en las lozas con una pendiente que busca drenar el agua de las misma.
Permeabilidad	Característica individual de cada material al permitir el paso del agua y humedad a través de él.
Plasticidad	Propiedad de un material para cambiar de forma sin modificar sus propiedades esenciales.
Talud	Inclinación de un terreno o de un muro.

Tamiz	Cedazo o malla con aberturas graduadas a diferentes tamaños, para separar un material por sus diferentes tamaños de grano.
Testigos	Cilindros de concreto de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura, extraídos de las mezclas para hacer análisis en laboratorio del desempeño de la misma.
Trincheras	Corte hecho en un terreno, con taludes a ambos lados para formar una zanja.
VRS	Valor relativo soporte

RESUMEN

El nombre más técnico que puede dársele a este material de los muchos que ha recibido es Relleno Fluido, sin lugar a dudas el nombre más común es Lodocreto.

El comité ACI 229 lo define como “Material cementante autocompactable de una baja densidad controlada, usado principalmente como relleno en sustitución de un relleno compactado”.

Este material posee propiedades muy útiles en la construcción, su consistencia casi líquida al momento de colocarlo le permite llenar y adoptar de forma completa el molde que lo contenga, esta característica puede ser modificada según las necesidades y obtener, por el contrario una mezcla poco fluida que pueda ser esparcida en una calle inclinada sin derramarse. Las características de este material se dividen en dos etapas, la primera en estado fresco y la segunda en estado endurecido.

Existen varias formas de clasificar los rellenos fluidos: por el tipo de uso que se le va dar, por si va ha ser excavado en el futuro o no, por su fluidez al momento de colocarlo, por la resistencia a la compresión que desarrolle a una determinada edad, por su contenido de aire, etcétera.

Los rellenos fluidos pueden ser fabricados con varios materiales, desde cenizas volantes que son productos de desecho en el proceso de la combustión de carbón natural o de la fabricación de acero, hasta arenas trituradas pasando por materiales que estén disponibles cerca de la obra como el selecto o suelos

que no excedan en un 20 % el contenido de arcilla. Debido a variedad de componentes que pueden usarse para hacer rellenos fluidos es necesario hacer pruebas a los materiales que se piensen utilizar, sacar curvas de granulometrías, peso específico y contenido de materia orgánico son los mas esenciales.

Para hacer un diseño de mezcla se recomienda usar el método de Volúmenes Absolutos, este método resulta ser práctico cuando se esta en el campo y no se cuenta con equipo para hacer mediciones, además usa como punto de inicio el contenido de material cementante que tendrá la mezcla; esto ayuda a determinar la resistencia que puede tener la mezcla y calcular el impacto del costo de este material en la mezcla.

Es recomendable realizar pruebas del diseño de mezcla resultante antes de producirlo, para analizar comportamientos y hacer los ajustes necesarios; tratando de simular fielmente las condiciones de obra y las que se tendrán después de la puesta en servicio.

Se desarrollaron varias pruebas con diferentes materiales, procurando usar los mas comúnmente accesibles en el medio; entre estos selecto o toba, cascajo o base triturada y arenas de río, pudiendo observar que condiciones como cantidad de cemento y contenido de aire afectan directamente la ganancia de resistencia a la compresión y que a diferencia de las mezclas de concreto la relación agua cemento puede ser mayor de uno.

Una comparación de la ganancia de la resistencia contra una prueba de CBR fue realizada, pudiendo observar que en los primeros 3 días de edad el CBR ya superaba el 200%.

Se hacen recomendaciones sobre la producción, traslado y colocación de este material y se documenta su uso en diferentes proyectos nacionales y extranjeros.

También se describen diferentes usos que pueden tener los rellenos fluidos como rellenos estructurales, rellenos de aislamiento, bases y sub-bases para pavimentos, encamamiento de tuberías, relleno de zanjas y hoyos.

En el capítulo seis, se puede encontrar análisis de costos que comparan el uso de rellenos fluidos y uso de base granulares en el relleno de zanjas.

OBJETIVOS

General:

Proporcionar una guía para la elaboración de rellenos fluidos.

Específicos:

1. Definir y clasificar los rellenos fluidos.
2. Documentar experiencias de proyectos donde se han aplicado rellenos fluidos satisfactoriamente.
3. Definir las características de los materiales que pueden ser utilizados para hacer rellenos fluidos, con el fin de poder evaluar el uso de los materiales que se tengan al alcance.
4. Servir de guía para la elaboración, transporte y colocación de los rellenos fluidos.

INTRODUCCIÓN

En su gran mayoría las obras de ingeniería civil comienzan en el suelo, siendo este parte fundamental de una estructura; en el suelo comienzan y sobre el descansarán.

En escasas ocasiones se encuentra un suelo que en su estado natural no necesita la intervención del hombre para modificar sus características físicas y mecánicas para formar parte de una estructura, un material debe cumplir con los requerimientos deseados y para poder saber sus capacidades deben hacerse ensayos que den la información necesaria.

En Guatemala los materiales que no cumplen con los requisitos específicos para cada estructura, se tiende a sustituir por materiales con mejores características, por costumbre se han usado los materiales granulares para hacer bases, sub-bases, encamamientos para tuberías, etc. que mediante un buen diseño de espesores, un efectivo control de calidad de los materiales y una adecuada compactación llegan a brindar un adecuado soporte a estructuras como calles, cimientos y muros de contención entre otros.

Una idea atractiva para realizar este tipo de tareas es utilizar los materiales existentes en el lugar, aunque no todos los materiales son utilizables hay algunos que con ayuda de otros materiales de fácil acceso como cal hidratada o cemento pueden modificar características físicas y mecánicas de los suelos y generar significativos ahorros en costos y tiempo.

Los rellenos fluidos pueden fabricarse con materiales comúnmente disponibles en el medio, también adquieren propiedades que un suelo normal nunca podría desarrollar; por ejemplo el simple hecho de poder ser colocados en presencia de agua empozada los hace una atractiva opción para trabajos que se ejecutan en invierno.

Un relleno fluido es un material que tiene dos etapas bien marcadas en su tiempo de vida, al inicio se comporta como un mortero y su desempeño se mide como tal, cantidad de agua según la cantidad de cemento, tiempo de fraguado e inclusive se puede medir el asentamiento.

Después que esta mezcla ha endurecido tiene un comportamiento que se asemeja mas a un suelo y resulta interesante evaluar su desempeño en condiciones de servicio como el desgaste a la erosión, capacidad soporte y resistencia a la compresión.

1. RELLENOS FLUIDOS

1.1 Generalidades

Los rellenos fluidos o CLMS por sus siglas en inglés “Controlled low-strength materials” son una variedad de materiales de relleno y son principalmente usados para reemplazar el uso de materiales granulares que tradicionalmente se compactan para estabilizar suelos. Sin lugar a dudas es el tiempo de aplicación de estos materiales lo que hace que se considere la aplicación de esta tecnología en proyectos para permitir la realización de estos trabajos en tiempos y condiciones impensables hasta hoy.

1.2 Descripción

Para tener una idea clara del tema en discusión se iniciará describiendo el material. El comité ACI 229 Controlled low-strength materials lo define como “Material cementante autocompactable de una baja densidad controlada, usado principalmente como relleno en sustitución de un relleno compactado”.

Se describe como un sustituto de suelo que se coloca de forma casi líquida, autonivelante, en menos tiempo que una base granular compactada y una vez endurecido presenta un mejor comportamiento y mejores propiedades que las de un relleno compactado tradicional hecho con materiales granulares.

Por ser un material que incluye agua, cemento, agregados y aditivos no se debe olvidar que en realidad este material es un mortero (si no contiene agregados mayores a 6 mm.) y por lo tanto se comportará como tal, es decir tendrá una proporción de estos materiales, un tiempo de mezcla, un tiempo de

vida útil de la mezcla (que se ajustan a las necesidades), una fluidez manejable según el requerimiento, un tiempo de fraguado y resistencias con rangos que se clasifican según los usos y aplicaciones que se requieran.

Fue desarrollado como alternativa para obras donde se requiere rellenar un volumen con un material estable, tarea hasta hoy ocupada normalmente por materiales granulares compactados (suelos).

Por poseer dos estados es necesario dividir las características de este material cementicio en dos fases: estado fresco y estado endurecido.

Estando en estado fresco es posible ajustar su fluidez a las necesidades con un revenimiento entre 10 a 26 cm. (4 a 10 pulg.) usando como referencia la prueba con el cono de revenimiento ASTM C 143 aunque esta característica debe medirse con un ensayo que describe la Norma ASTM D 6103. Esta propiedad esta relacionada a las necesidades de colocación y con el peso unitario que se necesite, con un comportamiento autonivelante entre 18 a 26 cm. (7 a 10 pulg.), según la prueba ASTM D 6103; esto lo hace ideal para trabajar en áreas ajustadas de espacio o con acceso restringido como cunetas, cavernas, zanjas, pozos, etc. en donde el colocado y la compactación de un relleno granular sería muy difícil, peligroso o imposible. Se podría necesitar que el revenimiento fuera menor entre 10 y 18 cm. (4 y 7 pulg.) esto es ideal para rellenar una zanja en una calle inclinada o dar pendientes a una azotea (pañuelos) lográndolo sin la necesidad de utilizar un equipo de vibrado o de compactación.

Su peso unitario varía entre 1600 a 2100 Kg/m³ aunque se pueden requerir pesos más ligeros ocasionalmente, esta propiedad es de interés para el diseño y control de calidad de la mezcla y es relevante por las características de conductividad térmica y excavabilidad que presentara el relleno fluido en su estado endurecido.

En estado endurecido o sólido se pueden obtener resistencias a la compresión a los 28 días desde 7 hasta 84 Kg /cm² (100 a 1200 psi) después de este rango el material sería considerado un concreto y un valor relativo soporte (VRS) superior al 50 y 80%, es excavable con diferentes métodos según su resistencia a la compresión y presenta una buena resistencia al lavado o erosión del material fino que lo conforma.

1.3 Otros nombres utilizados

En Guatemala no es muy utilizado y conocido este material pero si es identificado con diferentes nombres, el más común de ellos es Lodocreto; término que al parecer viene de la vecina república de El Salvador donde ya se usa desde hace algunos años.

En la república de México se le da otros nombres como Suelo Líquido, Suelo Cemento Líquido y Relleno Fluido.

Tal vez su nombre más técnico en español es Material de baja resistencia controlada, nombre que corresponde a la traducción de "Controlled low-strength materials" o CLSM por sus siglas en inglés, nombre que el Comité ACI 229R-99 le da a este material.

Se le conoce con nombres como "K-Krete", este nombre proviene de la empresa K-Krete Inc. Empresa que surgió de la fusión en 1,970 de las empresas Kuhlman Corporation y Detroit Edison Company. La K-Krete Inc. Fue la primera empresa que se dedicó a estudiar de que forma se podían utilizar las cenizas volantes que es un material de desecho resultante de la fabricación de acero y que es ecológicamente difícil de manejar, esta empresa encontró una buena utilización de este material, usándolo como agregado en la producción

del concreto, naciendo de esta manera los “Controlled low-strength materials” Materiales con baja densidad controlada.

Otro nombre con el que aparece en literatura de habla inglesa es “Controlled density fill (CDF)”; este nombre responde a la necesidad de la industria de la construcción para desarrollar otras especialidades de rellenos de baja resistencia para aplicaciones tales como base para pavimentos, rellenos estructurales y rellenos térmicos. A un inicio los CDF contenían Cenizas volantes, cemento Pórtland, agregados finos y agua, desarrollando a los 28 días una resistencia alrededor de 0.7 Mpa (100.00 psi). En el año de 1,984 la “American Concrete Institute” (ACI) decidió formar el comité ACI 229 y aquí se decide tomar el nombre de “Controlled low-strength material” (CLMS) sobre el de CDF por ser mas general y cubrir mas tipos de material de relleno; las características y pruebas de este material aparecen en la norma ASTM STP 1331.

Para este trabajo de estudio se denominará a este material Relleno Fluido ya que esta denominación abarca tanto su función más frecuente, que es la de trabajar como un relleno, como su consistencia que es talvez la característica que hace mas versátil a este material y que por lo general se le utiliza con un buen grado de fluidez. Describe entonces en dos palabras sus principales características y aplicaciones: “Relleno Fluido”.

1.4 Propiedades

Las propiedades del Relleno Fluido dependen de los materiales y cantidades de estos con que se haga la mezcla, del diseño de la mezcla que se emplee y esta a su vez estará sujeta a las necesidades que el trabajo demande.

En países como Estados Unidos hay una gran variedad de rellenos fluidos o CLSM (como se les conoce en el lugar), esta variedad es debido a que se utiliza cenizas volantes (Fly ash, material del que se hablará en el capítulo 2), este material es un residuo resultado de la producción del acero o de la combustión del carbón para producir electricidad, prácticas que en la región son muy escasas lo que no permite contar con este material en cantidades accesibles y suficientes. Como sustitución de este material en regiones como las de Centro América y México se utilizan aditivos que incluyen aire a la mezcla en un rango entre el 6 al 25 % del volumen, esto permite hacer variaciones en el Peso Unitario de la mezcla, lo que da lugar a materiales con propiedades diferentes a los CLSM que se denominan rellenos fluidos con densidad controlada.

Para estudiar las propiedades de este material se dividirán en dos partes: Propiedades en estado fresco y en estado endurecido y los procedimientos y normas para determinarlos se tocarán a detalle en el capítulo tres.

1.4.1 Propiedades en estado fresco

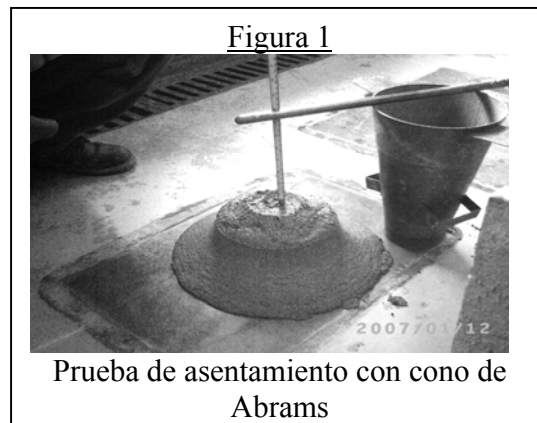
Las propiedades relevantes al estado fresco están relacionadas con la facilidad de colocación, transportación, tiempo de fraguado y el peso unitario.

1.4.1.1 Consistencia

En las ocasiones en las que en Guatemala se han utilizado los Rellenos Fluidos se ha tomado la prueba de revenimiento con el cono de Abrams para medir el asentamiento de la mezcla, esto se ha tomado como una práctica aceptable para este material, pero es la norma ASTM D 6103 la que indica la forma de medir la consistencia del relleno fluido aunque por facilidad y

accesibilidad se ha usado la prueba del cono de asentamiento que describe la norma ASTM C 143 (ver figura 1) esta se comenta en el capítulo 3.

La consistencia o fluidez es una forma de medir la habilidad de los rellenos fluidos para ser colocado en los diferentes elementos según se necesite. La habilidad de fluir se incrementa con el contenido de agua y aire de una mezcla y disminuye con el incremento del contenido y tipo de agregados en la mezcla.



1.4.1.2 Peso unitario

La media se encuentra entre los 1,600 y 2,100 Kg/m³, aunque se pueden diseñar mezclas mas ligeras según se requiera, debe tenerse en cuenta que esta característica va muy ligada a la resistencia que el material desarrolle ya que tienen una relación proporcional, es decir que a menos peso unitario, menos resistencia y de ser necesario una mayor resistencia el peso unitario aumentará.

Estos ajustes en la mezcla se logran por medio de adiciones químicas que funcionan como inclusores de aire al ser agregados a la mezcla, esto hace que el

material se vuelva más o menos denso incluyendo cierto grado de porosidad microscópica en el material, usando un poco el sentido común se concluye que un material poroso no podrá desarrollar más resistencia a la compresión que un material más denso.

Esta propiedad es muy importante para el diseño y control de calidad de la mezcla, es valido recordar que estas mezclas son por lo general producidos en plantas de producción de concreto y despachadas en camiones mezcladores o mixers; estas plantas proporcionan los materiales por peso y son requeridas por el usuario final por volumen debido a que es mas práctico obtener el volumen del elemento a llenar, la característica que relaciona un volumen (que es el dato que se conoce) con el peso (que el proveedor usará para producir la mezcla) es la densidad o “peso unitario” ρ .

$$\rho = M / V$$

Donde:

ρ = densidad en Kg/m³

M = masa en Kg

V = volumen en m³

Hay que tener presente que cuando se solicite un material de este tipo al proveedor junto con el volumen, se le debe especificar el peso por metro cúbico que se desee, o comentarle el servicio que se requiere que la mezcla preste para obtener el material adecuado para cubrir la necesidad.

1.4.1.3 Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es de interés para predecir la trabajabilidad y transportabilidad. Puede ser definido en dos estados separados. El primer estado, es el estado de fraguado inicial, de manera que pueda soportar a una persona parada encima dentro de 3 a 4 horas. El tiempo final de fraguado corresponde a la estabilidad del producto colocado o sus características de carga y usualmente ocurre dentro de 1 a 2 días. Cuando la mezcla contiene cenizas volantes clase F requieren la adición de cemento o cal para el fraguado. Con cenizas volantes de poca reacción, el tiempo de fraguado puede tomar mucho tiempo para que la mezcla sea de utilidad. El tiempo de fraguado es especialmente importante cuando se coloca rellenos de fondo en pendientes o en climas extremos.

1.4.1.4 Fluidez y flotabilidad

Típicamente la flotabilidad de un relleno fluido es tal que este debe ser depositado y se espera que migre bajo la gravedad o corrientes sin confinamiento. Sin embargo si el material va a ser transportado bajo presión dentro de orificios mas pequeños, su fluidez es evaluada. La fluidez es una medida de la habilidad de los rellenos fluidos para fluir a través de aparatos cónicos de fluido estándar de conformidad con el método de pruebas estándar ASTM Método de fluido Cónico C939 del que se hablará mas adelante. Un "Asentamiento" es medido conforme con el ASTM C 143, que da resultados en el rango de 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cms) o menos, proveerá un material que permanecerá en su sitio; mientras que un asentamiento de 7 a 10 pulgadas (18 a 26 cms) o más, proveerá un material que fluirá a través de largas distancias desde su punto de descarga, penetrando en grietas finas y encapsulando

cualquier cosa en su recorrido. La habilidad para fluir aumenta con el contenido de agua y disminuye con el contenido de agregados.

El relleno fluido ha demostrado tener buenas condiciones para ser colocado en lugares con presencia de agua, esta será desplazada gradualmente hacia arriba mientras el material llena el elemento sin sufrir cambios significativos en las propiedades de la mezcla.

1.4.1.5 Desarrollo de la resistencia

El control apropiado del desarrollo de resistencia en variadas aplicaciones de rellenos fluidos es un criterio importante en el desarrollo de diseños de mezclas. No solamente debe cumplirse el desarrollo de resistencia mínima para proveer soporte de estructura, sino también usualmente debe controlarse el desarrollo de resistencia máxima. La prueba de resistencia a compresión no-confinada es típicamente utilizada para monitorear el desarrollo de resistencia en rellenos fluidos. Esta prueba puede ser realizada ya sea en muestras cilíndricas, generalmente con un radio altura-a-diámetro de 2:1 (ver figura 9), o bien en cubos de mortero de 2 pulgadas (5 cm). La mayoría de la información generada en las aplicaciones de rellenos fluidos se obtiene a pruebas conducidas en muestras cilíndricas.

1.4.2 Propiedades en estado endurecido

En este estudio se dividió en dos partes las propiedades de los rellenos fluidos, se considera importante hacer esta diferenciación ya que el diseño de una mezcla de este tipo debe satisfacer requerimientos específicos en cada una de estas dos etapas. Se deja a criterio del lector ubicar la propiedad de desarrollo de la resistencia, ya que es esta característica la que define el cambio entre ambos estados.

1.4.2.1 Características de contracción por secado

Un relleno fluido desarrolla una resistencia sobre el tiempo, y sus características de contracción por secado y compresibilidad mejoran con este. El departamento de pruebas de transporte de Iowa ha indicado que una subsidencia potencial de 1/8 de pulgada (3.175 mm.) por pie lineal vertical es aceptable. La contracción por secado que ocurrirá una vez el relleno fluido se haya asentado es despreciable.

1.4.2.2 Permeabilidad

La permeabilidad puede ser determinada utilizando los principios de cabeza-constante o de cabeza-caída, muy parecido a las pruebas de suelos utilizando aparatos triaxiales. Debido a los posibles cambios de volumen en las mezclas de relleno fluido es preferible realizar las pruebas en una membrana con una apropiada presión de confinamiento. Notese que en un laboratorio son medidas las mejores muestras de continuidad posible. Frecuentemente la discontinuidad ocurrirá en aplicaciones de campo con la formación de grietas por encogimiento, lo cual puede afectar la permeabilidad efectiva por varios ordenes de magnitud.

1.4.2.3 Resistencia al congelamiento

La prueba de resistencia al congelamiento puede, o no ser apropiada para algunas aplicaciones o localidades de la mayor parte del país. Si una mezcla de relleno fluido es utilizada bajo la línea de penetración del congelamiento, esta prueba no es aplicable. Es una medida de la habilidad del material a resistir los cambios climáticos sobre el tiempo sin pérdida en la resistencia. La durabilidad del gradiente de congelamiento es frecuentemente evaluada por

medio de la prueba de saturación de aspirado descrita de acuerdo a la especificación estandar ASTM (C593) para cenizas volantes y otros materiales puzolanicos para su uso con cal. Para una composición base de camino, se prefiere un criterio de resistencia mínima de 400 psi (2.7 MPa) después del saturado de aspiración según recomendaciones de la American Stone Mix Inc.

1.4.2.4 Pruebas de capacidad soporte (CBR)

El diseño de pavimentos tiene como objetivo proteger la sub-rasante de los esfuerzos causados por la carga del tráfico, principalmente de los vehículos pesados. Esa protección se suministra por medio de una estructura compuesta por varias capas de materiales con las propiedades físico-mecánicas que garanticen el desempeño del pavimento en el período de diseño, ante las cargas y los agentes ambientales. Para la selección adecuada de la estructura del pavimento se requiere conocer la capacidad de soporte de la sub-rasante, es decir mientras su capacidad de soporte sea menor, mayor protección (espesor de pavimento) será requerida.

La correcta evaluación de la sub-rasante, y de las capas de la estructura del pavimento existente en el caso de las rehabilitaciones o reconstrucciones, es uno de los aspectos claves del proceso de diseño. De la evaluación depende que las obras no sean sub diseñadas y fallen prematuramente, o lo contrario, que sean sobre diseñadas incrementando los costos de construcción de forma innecesaria. Para medir la capacidad de soporte de un material como el relleno fluido hay varias pruebas, la mas adecuada puede ser la Prueba de Plato Estático de la que se hablará en la sección 3.2.2.1; lastimosamente en el medio no es una prueba muy conocida y no hay acceso al equipo necesario para hacerla.

En Guatemala la prueba de CBR (California Bearing Ratio) es generalmente la prueba que determina la resistencia de la capacidad de un suelo para soportar cargas, esta se efectúa en el sitio donde el material es colocado. En la sección 3.2.2.2 de este trabajo se desarrolla el procedimiento de esta prueba.

1.5 Clasificación de rellenos fluidos

Existen varios puntos de vista para clasificar este material, se le puede clasificar por el tipo de uso que tendrá, por si va a ser removido o no en el futuro, por la cantidad de esfuerzo que se requiera para removerlo, por el tiempo de secado, por cantidad de aire incluido, por su consistencia, por su resistencia a la compresión, por su capacidad de soporte de carga, etcétera.

Sin temor a equivocaciones la principal clasificación para este material la determina la resistencia que logre desarrollar, usualmente medida con pruebas de resistencia a los 28 días de edad (por contener materiales cementicios), el American Concrete Institute (ACI) presenta una clasificación que ordena siete clases de mezclas relacionando rangos de densidad del material ya seco con una compresión mínima a los 28 días de edad, esta clasificación se puede ver en la tabla 1.

Tabla I. Clasificación de Rellenos fluidos por densidad y resistencia		
Clase	Densidad en Servicio Kg/ m3	Compresión mínima Kg/cm2
I	288 – 384	0.70
II	384– 480	2.81
III	480 – 536	5.62
IV	536 – 673	8.44
V	673 – 800	11.25
VI	800 – 1281	22.50
VII	1281 – 1922	35.16

Este trabajo no pretende limitar la clasificación de los rellenos fluidos con la clasificación de la ACI, pretende mas bien motivar al lector a que experimente con este material y así poder lograr una clasificación propia según los requerimientos a cumplir.

A continuación se presentan clasificaciones de diferentes aspectos evaluados.

Tabla II. Clasificación por Consistencia de la mezcla		
Grado de fluidez	Rango de asentamiento cm. (pulgadas)	Tipo de aplicación
Bajo	Menos de 15 (6.0)	Colocación en pendientes
Mediano	15 a 20 (6 a 8)	Nivelación manual
Alto	20 a 53 de diametro*	Auto nivelante

*después de los 20 cm de asentamiento, se mide el diámetro dibujado por la mezcla (prueba de cono invertido).

Tabla III. Clasificación por excavabilidad		
Resistencia Kg. / cm ² (psi)	Equipo de excavación	Clasificación ACI
Menor a 7 (20)	Excavación manual	I, II, III
7 a 21 (20 a 300)	Retroexcavadora	IV y V
21 o mayor	Aserrado y demolición	VI y VII

Tabla IV. Clasificación por tiempo de fraguado		
Fraguado inicial	Tiempo horas	Usos
Acelerado	Menos de 3	Pendientes, climas fríos, ahorro de tiempo
Normal	3 a 4	Relleno de zanjas, oquedades, etc.
Retardado	4 o mas	Climas calidos, grandes volúmenes

2. MATERIALES

2.1 General

Las mezclas de rellenos fluidos convencionales usualmente consisten de agua, ligante (Cemento Portland, cal o la combinación de ambos), agregados finos, en ocasiones agregados gruesos, espuma preformada y aditivos. Aunque los materiales usados en los rellenos fluidos cumplan con los requerimientos de los estándares ASTM o con los otros estándares, el uso de materiales estandarizados no siempre es necesario. La selección de materiales debe basarse en la disponibilidad en el lugar, costo, especificaciones de la aplicación y las características necesarias de la mezcla, incluyendo fluidez, resistencia, excavabilidad, densidad, etc.

2.2 Cemento

El cemento provee la cohesión y la resistencia para los rellenos fluidos. Para la mayoría de las aplicaciones normalmente se utiliza Cemento Pórtland Tipo I o Tipo II conforme a las especificaciones ASTM C 150. Otros tipos de cemento, incluyendo los cementos mezclados o con adiciones, conforme a la especificación ASTM C 595, pueden ser utilizados si pruebas previas indican resultados aceptables.

2.3 Agregados

Los agregados constituyen el componente mayor en la mezcla de rellenos fluidos. El tipo, granulometría y forma de los agregados pueden afectar las

propiedades físicas como fluidez, auto-colocación y resistencia a la compresión. Los agregados que cumplen con la ASTM C 33 pueden ser utilizados debido a que los productores de concreto mantienen existencia con control de calidad de estos materiales, esta norma no debe tomarse como una regla, pero puede servir de guía.

Los materiales de excavación granular con propiedades de calidad menores que las de los agregados para concreto son una fuente potencial de materiales para rellenos fluidos y deberían ser considerados. Sin embargo, las variaciones de las propiedades físicas de estos componentes tendrán un efecto significativo en el rendimiento de la mezcla. Los agregados finos con un máximo del 20 por ciento de lodos que pase el tamiz 200 han dado resultados satisfactorios.

También suelos con amplias variaciones en sus granulometrías han demostrado ser efectivas. Sin embargo, los suelos con arcillas finas han mostrado problemas de mezclado incompleto, formación de grumos en la mezcla, excesiva demanda de agua, contracción volumétrica y variaciones en la resistencia por lo que su uso no es recomendado. Los agregados que han sido utilizados con éxito incluyen:

- Agregados especificados en la ASTM C 33 dentro de la granulometría especificada
- Gravilla fina con arena
- Agregado menores a $\frac{3}{4}$ pulg. con arena
- Suelos de arena del lugar, con mas del 10 por ciento que pase el tamiz 200
- Productos de desperdicio de cantera, generalmente agregados menores a $\frac{3}{8}$ pulg.

- Selecto, nombre que en el medio se le da a la grava arcillosa.

Para la elaboración de rellenos fluidos en Guatemala se recomienda usar los agregados que estén accesibles al lugar de colocación o fabricación. Por lo general se utilizan arenas, gravas trituradas, selecto, etcétera; en ocasiones se puede incluso usar el mismo material que se obtiene en el corte de un terreno si cumple con requisitos especificados.

La tabla V presenta rangos recomendados de granulometría para el agregado fino para rellenos fluidos.

Tabla V. Graduación para agregado fino para rellenos fluidos		
Tamiz No.	% que pasa, recomendado	% que pasa (ASTM C-33)
3/8"	100	100
4	---	95 – 100
8	90 – 100	80 – 100
16	60 – 100	50 – 85
30	45 – 80	25 – 90
50	12 – 50	10 – 30
100	5 – 25	2 – 15
200	0 – 10	0 – 5

2.4 Cenizas volantes

Algunas veces son utilizados materiales tales como las cenizas volantes, las cuales son obtenidas del producto residual de la quema del carbón natural o escoria del proceso de la fundición del hierro, para mejorar la fluidez en los rellenos fluidos. Su uso podría incrementar la resistencia y reducir la exudación, contracciones y permeabilidad. Las mezclas con alto contenido de cenizas volantes tienen como resultado rellenos fluidos con menor densidad cuando se compara con otras mezclas con alto contenido de agregados. La mayoría de cenizas volantes utilizadas en rellenos fluidos son las que se describen en la ASTM C 618 y cumplen con las clasificaciones C o F. Sin embargo, también pueden ser utilizadas las cenizas volantes que no cumplan con estas especificaciones. Las cenizas volantes clase C son utilizadas en cantidades de hasta 207 kg/m^3 ; Las cenizas volantes clase F van desde cero hasta $1,187 \text{ kg/m}^3$, sirviendo como un agregado de relleno. La cantidad de cenizas volantes a utilizar será determinada por las necesidades de disponibilidad y fluidez del proyecto. En todos los casos, indistintamente de si las cenizas volantes cumplen o no con las especificaciones del ASTM C 618, deben prepararse mezclas de prueba para determinar si la mezcla cumple con los requerimientos especificados.

2.5 Agua

El agua que es aceptable para mezclas de concreto también es aceptable para mezclas de rellenos fluidos. La norma ASTM C 94 provee información adicional sobre los requerimientos de calidad del agua. Se utiliza mayores cantidades de agua en rellenos fluidos que en concreto. El agua sirve como un lubricante para proveer características de alta fluidez y promover la consolidación de materiales. Los contenidos de agua típicamente van desde

193 hasta 344 kg. / m³ para la mayoría de rellenos fluidos con contenidos de agregados. El contenido de agua para mezclas de cenizas volantes clase F y cemento puede ser de hasta 594 kg. /m³ para alcanzar una buena fluidez. Este rango tan amplio se debe principalmente a las características de los materiales utilizados en rellenos fluidos y del grado de fluidez deseada. Los contenidos de agua serán mayores en mezclas con agregados finos.

2.6 Aditivos

2.6.1 Espuma preformada

Se define a la espuma preformada como un aditivo el cual se aplica combinado con el agua de la mezcla, esta mezcla debe hacerse con aire comprimido y es aplicada por una unidad de mezclado o generador de espuma, con esto se logra expandir 20 veces la mezcla formando una micro burbuja de espuma estable.

El concentrado de espuma debe tener una composición química capaz de producir células de aire estables, que resistan las fuerzas físicas y químicas durante el mezclado, colocación y asentamiento del relleno fluido. Sí la estructura molecular no es estable se tendrá por resultado un incremento no uniforme en la densidad. Los procedimientos para evaluar los concentrados de espuma están especificados en la ASTM C 796 y en la ASTM C 869.

En Guatemala se encuentran productos que hacen estas funciones, es el caso de Rheocell 30, este producto ofrece un índice de expansión de 20 a 25 veces el volumen de la mezcla resultante de diluir dicho producto en agua en proporciones de 1 a 20 o hasta 40 partes de agua dependiendo de la aplicación. Para la aplicación de este producto es necesario contar con equipo especial que inyecte presión a la mezcla de agua y aditivo en el orden de los 30 psi.

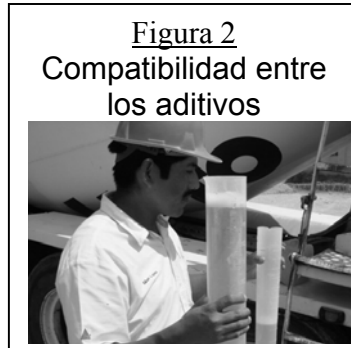
2.6.2 Adiciones a la mezcla

También es posible encontrar en el mercado guatemalteco otro tipo de productos con los que se logran los contenidos de aire sin necesitar equipo especial para su aplicación tal es el caso de SikaLightcrete aditivo líquido que actúa como agente espumante para la elaboración de concretos celulares y rellenos fluidos y no necesita de ningún equipo especial para su aplicación únicamente un tiempo de mezcla adecuado, la hoja técnica se adjunta en el apéndice A.

Rheosell Rheofill, este es un producto en polvo con presentaciones en sacos pequeños para su aplicación por yarda cúbica, en nuestro medio se acostumbra trabajar por metro cúbico así que se debe hacer la conversión para dosificar adecuadamente el producto ($1 \text{ yd}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$); la hoja técnica de este producto se adjunta en el apéndice B.

En la aplicación de cada uno de estos productos son necesarias las pruebas de laboratorio y de campo ya que los materiales (agregados finos y gruesos) con los que podemos fabricar los rellenos fluidos variarían según nuestra ubicación, necesidad, disponibilidad y costo; estas variantes definitivamente afectarán el comportamiento de los aditivos y es por el método de ensayo y error que se puede determinar la forma óptima de su aplicación.

Características como la fluidez y la ganancia de resistencias tempranas se pueden lograr con ayuda de otro tipo de aditivos con la previo revisión de la compatibilidad entre los aditivos a usar (sinergia).



2.7 Materiales no estándar

Los materiales no-estándar, los cuales suelen estar disponibles y son más económicos, también pueden ser utilizados en mezclas de rellenos fluidos dependiendo de los requerimientos del proyecto. Sin embargo, estos materiales deben ser probados antes de su uso para determinar su aceptabilidad en mezclas de rellenos fluidos.

Algunos ejemplos de materiales no-estándar que podrían ser adecuados como agregados para rellenos fluidos incluyen cenizas de fondo producto del proceso de combustión del carbón, residuos de arena cernida, ripio de concreto rechazado.

Debe evitarse el uso de agregados o mezclas que se hinchen en servicio como la arcilla debido a reacciones expansivas aunque estas pueden ser estabilizadas incluyendo cal en la mezcla. Las cenizas volantes con contenidos de carbón de hasta un 22 por ciento han sido utilizadas con éxito en rellenos fluidos, en este trabajo no se profundizará en el tema de las cenizas volantes debido a lo escaso de este material en el medio.

El material resultante como desecho después de cernir la arena que se utiliza para los trabajos de albañilería, es un buen material para ser usado en

los rellenos fluidos, esto es un dato importante ya que siempre hay presencia de este “cascajo” en las obras o en las trituradoras que deben cernir o tamizar la arena para proporcionar un material uniforme y de calidad, esta situación deja la oportunidad de aprovechar un material de desecho y de obtenerlo a un precio razonable.

En todos los casos, deben determinarse las características de los materiales no-estándar y debe probarse que los mismos son adecuados y cumplen con los requerimientos especificados del relleno fluido.

¿Se pueden utilizar los suelos o materiales accesibles en el lugar que se está trabajando y cuales?. Esta pregunta se responde con dos actividades: clasificación y pruebas.

Uno de los objetivos de este trabajo es proporcionar un listado de materiales accesibles que puedan ser utilizados para elaborar rellenos fluidos, por su accesibilidad y por ser comúnmente conocidos este listado se podría limitar a los materiales siguientes:

- Arenas de río o trituradas
- Piedrin o grava de 0.6 a 2.54 centímetros
- Cascajo (sobrante del cernido de arena)
- Base tritura
- Selecto

Sin embargo, esta lista limitaría mucho el uso de otros materiales que se pueden utilizar y que están presentes en el medio, y debido a los diferentes nombres que puede recibir un mismo material en diferentes regiones del país,

se mencionarán los métodos de clasificación de suelos para poder identificar los materiales.

Los sistemas de clasificación generan un lenguaje común para expresar, en forma concisa, características generales de los suelos, las cuales pueden ser infinitamente variadas sin descripciones complejamente detalladas. Los suelos que contienen propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento.

Existen dos sistemas de clasificación de suelos utilizados por los ingenieros de suelos, los cuales usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos: Sistema AASHTO y Sistema Unificado ASTM.

2.7.1 Sistema AASHTO

Sistema utilizado principalmente por los departamentos de caminos. Desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos. Desde sus orígenes ha sufrido varias revisiones, con la versión actualizada (1945) por el Comité para la Clasificación de Materiales para Sub-rasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras (Prueba D-3282 de la ASTM; método AASHTO M145).

De acuerdo con el Sistema de Clasificación AASHTO actualmente en uso, el suelo se clasifica en siete grupos mayores del A-1 al A-7 dentro de la clasificación de los primeros tres grupos (A-1 al A-3) son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. El resto de suelos (A-4 al A-7) son los que mas del 35% pasan por el tamiz No.200. En su mayoría estos últimos están formados por materiales tipo limo y arcilla. Si se considera usar un material ubicado según esta clasificación se recomienda que

el contenido de limo y arcilla no exceda del 20% ya que pruebas han demostrado que estos materiales en porcentajes mayores dan problemas de contracción y homogeneidad en la mezcla.

2.7.2 Sistema Unificado ASTM

Sistema generalmente preferido por los ingenieros geotécnicos. Propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952.

En la actualidad es ampliamente usado por los ingenieros (Prueba D-2487 de la ASTM). Este sistema clasifica los suelos en dos amplias categorías:

- A. Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por el tamiz No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

- B. Los suelos de grano fino con 50% o mas pasando por el tamiz No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica y o para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos con alto contenido orgánico.

Otros símbolos de uso común son:

W: bien graduado

P: mal graduado

L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

Tabla VI. Suelos que pueden utilizarse según clasificación del sistema unificado para la elaboración de rellenos fluidos (ASTM, 1998).

GW	< 15% arena	→	Grava bien graduada
	≥ 15% arena	→	Grava bien graduada con arena
GP	< 15% arena	→	Grava mal graduada
	≥ 15% arena	→	Grava mal graduada con arena
GW-GM	< 15% arena	→	Grava bien graduada con limo
	≥ 15% arena	→	Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	< 15% arena	→	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena	→	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	< 15% arena	→	Grava mal graduada con limo
	≥ 15% arena	→	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	< 15% arena	→	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena	→	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	< 15% arena	→	Grava limosa
	≥ 15% arena	→	Grava limosa con arena
GC	< 15% arena	→	Grava arcillosa
	≥ 15% arena	→	Grava arcillosa con arena
GC-GM	< 15% arena	→	Grava limo-arcillosa
	≥ 15% arena	→	Grava limo-arcillosa con arena
SW	< 15% grava	→	Arena bien graduada
	≥ 15% grava	→	Arena bien graduada con grava
SP	< 15% grava	→	Arena mal graduada
	≥ 15% grava	→	Arena mal graduada con grava
SW-SM	< 15% grava	→	Arena bien graduada con limo
	≥ 15% grava	→	Arena bien graduada con limo y grava
SP-SC	< 15% grava	→	Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% grava	→	Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	< 15% grava	→	Arena mal graduada con limo
	≥ 15% grava	→	Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	< 15% grava	→	Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% grava	→	Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	< 15% grava	→	Arena limosa
	≥ 15% grava	→	Arena limosa con grava
SC	< 15% grava	→	Arena arcillosa
	≥ 15% grava	→	Arena arcillosa con grava
SC-SM	< 15% grava	→	Arena limo-arcillosa
	≥ 15% grava	→	Arena limo-arcillosa con grava

De los suelos clasificados en la tabla 6 todos los suelos pueden ser utilizados para la elaboración de rellenos fluidos, debido a que según la ACI 229R-99 todo material con grava o arena con un porcentaje no mayor al 20 % de contenido de limos o arcillas se puede utilizar.

Si el lector desea profundizar mas en los sistemas de clasificación de suelos se recomienda buscar un texto de mecánica de suelos donde se podrá estudiar el tema a detalle, actividad que no es objetivo de este trabajo de investigación; se menciona el tema ya que llevando una muestra del suelo que se pretende usar a un laboratorio de suelos se puede solicitar una clasificación del suelo y analizar si es factible utilizarlo para hacer un relleno fluido.

Una de las ventajas del relleno fluido es que es una mezcla que puede usar los suelos que se tengan cerca del lugar donde se necesita y los materiales que se tiene en la obra son los primeros candidatos a considerar, si estos después de hacer pruebas demuestran ser eficientes se pueden aprovechar, generalmente estos materiales son considerados como desperdicio y su aprovechamiento traerá importantes ahorros a los costos del proyecto.

En la **Tabla VII**: se presenta para describir como contribuye cada uno de los componentes del relleno fluido en sus variadas características.

Tabla VII.							
Efecto de los materiales en las propiedades de los Rellenos Fluidos							
Propiedad Material	Resistencia	Densidad	Fluidez	Costo	Ambiente	Excavabilidad	Bombeo
Cemento	++	+	+	+	0	-	+
Agua	- / 0	-	++	0	0	+	+
Arena	+	+	0	+	0	0	0
Agregado grueso	+	+	0	+	0	-	0
Ceniza volante	+	- / +	++	+	+	- / 0	+
Aire	-	-	++	+	0	+	+
Espuma pre-formada	-	--	++	+	0	+	+
Mate. No estándar	- / +	+	- / 0	- / 0	+	0	0

Donde:

- ++** Influye o contribuye muy positivamente
- +** Influye o contribuye positivamente
- 0** No contribuye
- / 0** Influye negativamente o no influye
- Influye negativamente
- Influye o contribuye muy negativamente

3. PROPIEDADES Y PRUEBAS

Como se hizo en el capítulo 1, se dividen a las propiedades y las pruebas de los rellenos fluidos en dos grupos, primero las que se pueden analizar en el estado plástico, fase en la cual el material se comporta mas como un concreto o mortero; y segundo en su estado sólido donde se comporta y trabaja como un suelo.

3.1 Propiedades plásticas

En su fase de fabricación los rellenos fluidos se comportan como un concreto, esto definitivamente hace la diferencia con otros materiales usados como relleno, esto permite modificar las propiedades plásticas o en estado trabajable como se hace con el concreto, se usa el mismo equipo para fabricar, mezclar distribuir y colocar el concreto, luego de terminada esta etapa, el relleno fluido pasa a comportarse mas como un suelo que como un concreto.

3.1.1 Pruebas de fluidez

La fluidez es la propiedad que hace al relleno fluido un material único como sistema de relleno. Esta le permite ser autonivelante función indispensable para llenar cavidades de formas no definidas, ya que por su naturaleza “fluida” tiende a ocupar todo el espacio y a tomar la forma del elemento que lo contenga y al ser auto-compactable no requiere de equipo de compactación ni de la ayuda de equipo para la colocación como el concreto que requiere vibradores de inmersión.

Esta característica representa una gran ventaja para los rellenos fluidos comparado con los métodos tradicionales de relleno que deben ser colocados y compactados por medios mecánicos lentos y a veces inseguros para el personal operativo, y que hacen que este rubro incremente el costo de trabajo.

La norma ASTM D 6103 “Prueba de Fluidéz Modificada” describe el procedimiento que consiste en llenar un cilindro vertical abierto de 3 pulgadas (7.60 cm) de diámetro por 6 pulgadas (15.24 centímetros) de alto sobre una superficie nivelada, se llena el cilindro hasta el tope con el relleno fluido en una capa. Después el cilindro es levantado verticalmente, se deja que el material fluya a extensión de la superficie. Una buena fluidez es alcanzada cuando no se nota segregación y el material describe un diámetro de 8 pulgadas (20.32 cm).

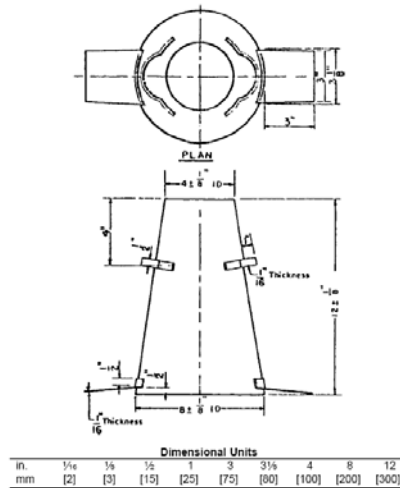
Por facilidad y costumbre se a utilizado la prueba de revenimiento (ASTM C 143) para evaluar la consistencia o fluidez del material y los revenimientos típicos son de 18 a 24 cm. (7” a 9.5”) aunque se pueden obtener revenimientos menores si la aplicación lo requiere.

Los rangos de fluidez asociados con el cono de asentamiento pueden clasificarse como lo muestra la figura 4.

ASTM C 143 “Método de Prueba estándar para el Asentamiento del Concreto con Cemento Hidráulico”:

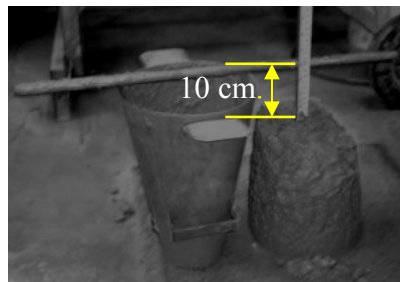
Por ser esta prueba ampliamente conocida en nuestro medio se omitirá la descripción, en la figura 3 se presenta la descripción del cono utilizado en dicha prueba:

Figura 3
Modelo del Cono para Prueba de Asentamiento

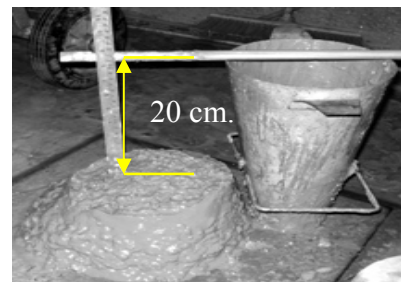


Fuente: Norma ASTM C 143/C 143M - 00

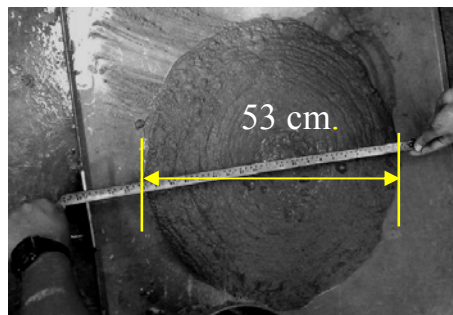
Figura 4
Diferentes asentamientos para Rellenos Fluidos



Baja fluidez
Menos de 15 cm.
(6 pulgadas)



Mediana Fluidez
Entre 15 y 20 cm.
(6 a 8 pulgadas)



Fluidez alta
más de 20 cm.
A partir de los 20 cm. se mide el diámetro de desplazamiento

Existen otras pruebas menos conocidas en el medio y por su poca aplicación solo se describirán brevemente:

Norma ASTM C 939 “Método Estándar para Pruebas de Fluidéz de Concreto Grout con agregado pre-colocado”. (Método del cono de fluidéz).

El Departamento de Transportes de Florida y el Departamento de Transportes de Indiana, especifica un tiempo de flujo de 30 segundos \pm 5 segundos. Este procedimiento no es recomendado para mezclas de rellenos fluidos que contengan agregados mayores de 6 mm. (1/4 de pulgada) y es muy poco utilizado por el equipo especial que necesita.

Norma Corp of Engineers CRD-C611 “Método de Prueba para la fluidéz de Mezclas de Grout”:

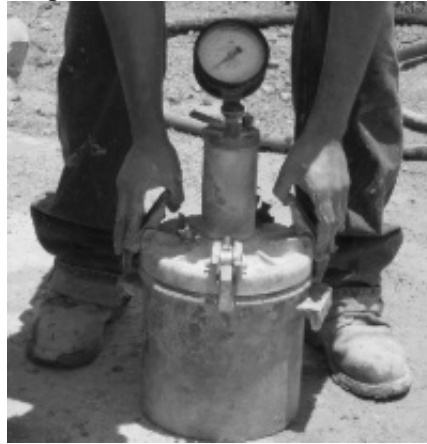
El departamento de Tránsito de Iowa, especifica que para morteros fluidos se requiere lograr un tiempo de flujo cerca de 12 segundos, como todo mortero no debe contener agregados mayores a $\frac{1}{4}$ de pulgada (6 mm.).

3.1.2 Pruebas peso unitario

Norma ASTM C 138 “Método Estándar para Densidad (Peso Unitario), Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto” la importancia de esta prueba para un relleno fluido la encontramos en que nos da el peso (en kilogramos) por unidad de volumen (metro cúbico), datos que juntos nos dan la densidad de la mezcla.

La densidad para un relleno fluido es una variable que hay que tener bajo observación ya que de ella dependen muchos factores como el aislamiento térmico, la fluidez, permeabilidad y la resistencia entre otras.

Figura 5
Recipiente de medición para la prueba de contenido de aire



Vale recordar que uno de los nombres que recibe este material es Material de Baja Resistencia Controlada y para una mezcla que utiliza un ligante como el cemento hidráulico su resistencia es directamente proporcional a su densidad.

También puede considerarse usar la Norma ASTM D 4380 "Método Estándar para Densidad de Lechadas de Bentonita".

No se recomienda la aplicación de esta norma con mezclas que tengan agregados mayores a $\frac{1}{4}$ de pulgada (6 mm.).

3.1.3 Segregación

Se llama segregación a la pérdida de homogeneidad de una mezcla, es un estado que se puede percibir a simple vista, por lo general se presenta cuando una mezcla tiene exceso de agua, exceso de aditivo o bien exceso de mezcla, esto provoca que la pasta que es la mezcla del agua con la parte cementante se vuelva muy líquida, esto permite que las partículas de mayor peso por acción de la gravedad se depositen al fondo de la mezcla y las partículas con menor peso que son las mas solubles en el agua se observen en la superficie, esta situación puede presentarse con mucha frecuencia en los rellenos fluidos, ya que generalmente interesa colocar este material de la forma mas fluida posible, para que en los rellenos fluidos la segregación se presente este debe contener agregados gruesos, si este no fuera el caso y la mezcla no contenga partículas que no superen el $\frac{1}{4}$ " de pulgada entonces se obtendrá un sangrado, este suceso es fácil de observar ya que se puede observar el agua en exceso de la mezcla en la parte superior o en la orilla de la mezcla de prueba y en el fondo la concentración de los sólidos.

La segregación afecta la mezcla principalmente en homogeneidad, y afecta directamente propiedades como el peso unitario y la trabajabilidad así como la capacidad de poder ser bombeada.

Para un relleno fluido de alta fluidez sin segregación se requiere de una cantidad de agregados finos adecuada para proveer la cohesividad adecuada.

3.1.4 Subsistencia o diferencial volumétrico

La subsistencia tiene que ver con la reducción en el volumen de los rellenos fluidos conforme estos liberan agua y aire atrapado por medio de la consolidación de la mezcla. El agua usada para la fluidez en exceso de la que realmente se requiere para la consolidación e hidratación de los agregados y material cementicio es generalmente absorbida por el suelo de los alrededores o liberada a la superficie en forma de gotas o vapor de agua. La mayor parte de subsistencia ocurre durante la colocación y el grado de la misma depende de la cantidad de agua libre liberada. Típicamente se han reportado subsistencia $1/8$ a $1/4$ de pulgada por un pie de profundidad esto es 1% al 2% en mezclas con alto contenido de agua.

Las mezclas con bajos contenidos de agua tienen muy poca o ninguna diferencia volumétrica y las muestras o cilindros tomados para evaluar la resistencia no presentan cambios en la altura que sean medibles desde el momento de la toma de muestras hasta su ensayo.

3.1.5 Pruebas de endurecimiento

Esta variable es medida en el tiempo y puede variar según la necesidad, ya que sea necesario, atrasar el inicio del endurecimiento o fraguado de la mezcla por que la distancia entre el lugar de fabricación al lugar de colocación sea muy grande o porque se trabaje en pocas horas sobre el relleno y así cumplir con los plazos del proyecto.

El tiempo de endurecimiento es el periodo requerido por el relleno fluido para ir del estado plástico a un estado más duro, con la suficiente fuerza para soportar el peso de una persona.

Una guía para saber el estado de endurecimiento del relleno es observar la cantidad de agua exudada. Cuando este exceso de agua que los materiales no usaron para hidratarse deja la mezcla, las partículas sólidas se re-acomodan en un contacto íntimo y la mezcla entonces se vuelve rígida.

El tiempo de endurecimiento depende grandemente del tipo y cantidad de material cementoso en el relleno fluido.

Los factores que normalmente afectan el tiempo de endurecimiento son:

- Tipo y cantidad de material cementoso
- Tipo del material usado como agregado
- Permeabilidad y grado de saturación del suelo de los alrededores que este en contacto con el relleno fluido
- Grado de fluidez del relleno
- Proporcionamiento de la mezcla
- Temperatura ambiente y de la mezcla
- Humedad ambiente
- Profundidad del relleno

El tiempo de endurecimiento puede ser tan corto como 1 hora, pero generalmente toma de 3 a 5 horas bajo condiciones normales.

Para adaptar la velocidad del endurecimiento nuevamente se apoya en la aplicación de aditivos, haciendo pruebas previas a la producción final del

relleno, puede utilizarse la prueba de resistencia de penetración de acuerdo a la ASTM C 403 para medir el tiempo de endurecimiento o la capacidad soporte.

Norma ASTM C 403 “Método Estándar para el Tiempo de Fraguado por Resistencia a la Penetración para Mezclas de Concreto”.

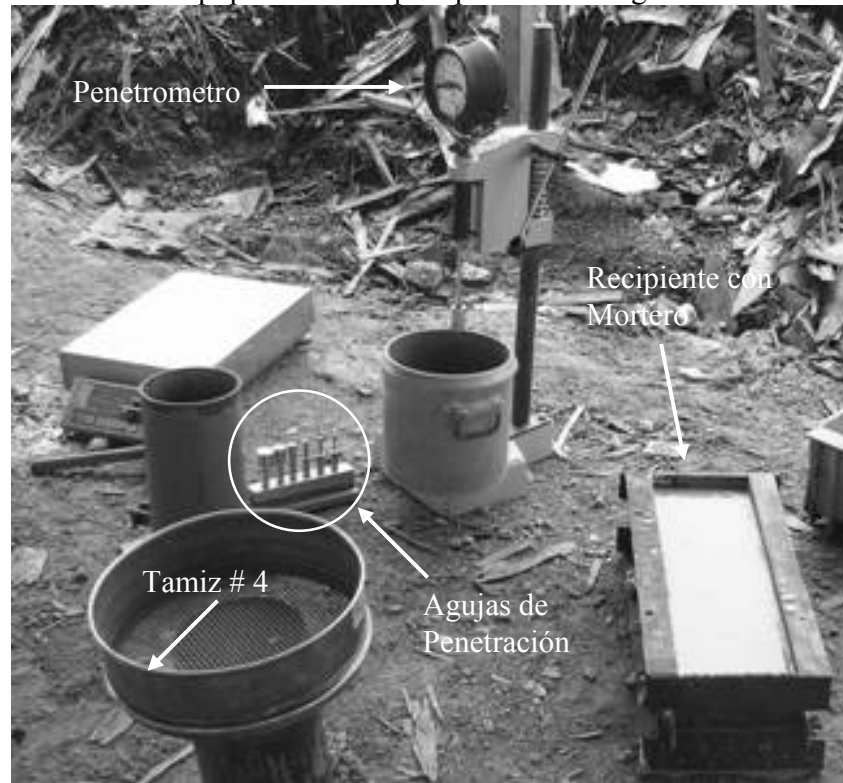
Este método evalúa las resistencias de los morteros o los morteros de un concreto cribando la mezcla de cemento y agregados finos o menores a 6 mm. (1/4 de pulgada) de diámetro con la ayuda de un tamiz # 4, esto debe hacerse con la mezcla fresca o recién mezclada. El mortero es colocado en un contenedor el que se almacena a temperatura ambiente.

Con intervalos regulares de tiempo la resistencia del mortero es medida con un penetrómetro al cual se le colocan diferentes agujas especialmente calibradas para determinar la dureza de la mezcla conforme avanza el tiempo, el penetrómetro mide la fuerza necesaria para hacer la penetración y las agujas dan el área de aplicación, con estos datos se determina la presión que el mortero va necesitando o desarrollando conforme el tiempo transcurre y se determina la resistencia de la mezcla.

Con esta prueba se obtiene el grado de dureza del relleno fluido. El Departamento de Tránsito de California requiere un mínimo de penetración de 650 antes de colocar el pavimento sobre la base.

Dependiendo de la aplicación se requieren normalmente números de penetración desde 500 hasta 1500.

Figura 6
Equipo necesario para pruebas de fraguado



3.1.6 Bombeo

Los rellenos fluidos pueden transportarse exitosamente mediante equipo de bombeo de concreto convencional. Igual que con el concreto, el proporcionamiento de la mezcla es crítico. La línea de bombeo debe ser llenada adecuadamente, evitando fugas de la mezcla entre las uniones de tubería para poder conducir el relleno fluido por la línea de bombeo (tubería). La mezcla debe proveer la cohesividad adecuada, esta será conducida bajo presión y no debe de presentar segregación.

Vacíos en la mezcla pueden producir segregación de la mezcla dentro de la tubería de bombeo y puede causar el bloqueo de la tubería. También es importante mantener un flujo constante de la mezcla para que la tubería no se bloquee; un flujo interrumpido podría causar segregación dentro de la tubería, hay que recordar que esta mezcla es rica en aire y agua y una mezcla estática sometida a altas presiones 210 kg / cm² (aprox. 3000 psi) sería prácticamente exprimida, sacando el aire y el agua de la mezcla dejando grumos de material dentro de la tubería formando obstrucciones.

Figura 7
Descarga de Relleno Fluido en
Bomba para concreto



Se han bombeado rellenos fluidos con alto contenido de aire aunque debe observarse que la presión de la bomba se mantenga lo mas baja posible, un incremento de la presión puede causar una perdida en el contenido de aire, causar segregación en la mezcla dentro de la tubería formando “tapones” que detengan el bombeo de la mezcla y cambios en el peso específico de la misma.

3.2 Propiedades en servicio

A partir de este punto el relleno fluido se verá mas como un suelo y se dejará de ver como un concreto o mortero, es de recordar que la razón de ser de este material es prestar servicio como un suelo y algunas de sus propiedades a partir de este punto se medirán como tal.

Hay que considerar que la cohesión de los Rellenos Fluidos es lograda por el material cementante que lo compone, esto permite hacer ensayos de resistencia como si se tratara de un concreto o un mortero. La resistencia de los rellenos fluidos puede ser medida por varios métodos. Las pruebas de resistencia a la compresión no confinada son las más comunes, sin embargo otros métodos como los penetrometros o el Método de Plato de Carga también son utilizados. Los testigos a usar en ensayos a la compresión varían desde cubos de 5 por 5 centímetros (2 por 2 pulgadas) como los que se utilizan para medir la resistencia del cemento hasta cilindros de 15 cm. de diámetro por 30 cm. de alto como los utilizados en el control de calidad del concreto hidráulico.

Debe de manejarse con sumo cuidado testigos de rellenos fluidos de muy bajas resistencias cuando se hacen los ensayos y observar que la velocidad de carga sea la adecuada.

3.2.1 Resistencia

La resistencia a la compresión no confinada es una medida de la capacidad de carga de los rellenos fluidos, una resistencia a la compresión de 3.5 a 7.0 Kg / cm² (50 a 100 psi) equivale a una capacidad soporte permitida para un suelo bien compactado.

Los métodos de curado específicos para el concreto no son considerados esenciales para los rellenos fluidos aunque pueden ser usados a criterio del usuario.

Mantener la resistencia en un nivel bajo es uno de los objetivos que comúnmente se demanda a los rellenos fluidos, esto debido a que se podría requerir excavaciones posteriores.

Algunas mezclas con resistencias aceptables a edades tempranas continúan ganando resistencia con el tiempo haciendo que futuras excavaciones sean complicadas; el tema de la excavabilidad se retomará en detalle en el inciso 3.2.8.

Para tomar las muestras de la mezcla se sigue el procedimiento descrito por la Norma ASTM D 4832, esta norma cubre aspectos como la toma de muestras, elaboración, curado, transporte y ensayo de testigos.

Norma ASTM D 4832 “Método de Preparación y Ensayo de cilindros de Suelo Cemento”. Esta prueba es la habitualmente usada para la preparación de cilindros que determina la resistencia a la compresión de los rellenos fluidos y se hará una breve descripción de los procedimientos; para tener información más detallada se recomienda consultar la norma.

3.2.1.1 Toma de muestras

El procedimiento describe que la muestra debe tomarse de la mitad de la descarga del camión en una carretilla, posteriormente se debe homogenizar la muestra y se deben de tomar por lo menos dos cilindros por cada edad (7, 14, 28 días) que se desee ensayar, se deben de sacar dos testigos de reserva.

Figura 8
Obtención de muestras



3.2.1.2 Elaboración de testigos

Se utilizan moldes de 15 cm de diámetro por 30 de alto iguales a los que se usan para el concreto, estos se deben llenar en una capa, golpeando suavemente en cuatro puntos del diámetro del cilindro con un martillo de caucho.

Se dejan reposar los cilindros 15 minutos y se enrasan. Posteriormente se deben de tapar.

Figura 9
Moldes para testigos



3.2.1.3 Curado y transporte

Se debe procurar que el lugar donde se hagan los cilindros este a la sombra y no este expuesto al viento, vibraciones o personas curiosas.

Los testigos se dejan en el lugar de hechura durante cuatro días y se deben de humedecer con agua permanentemente.

Al cuarto día se deben trasladar al sitio de curado, se deben de tener todos los cuidados al momento de transportar los cilindros y estos deben estar lo mas frescos que sea posible, y si es factible trasladarlos inmersos en agua.

El sitio de curado es un tanque o pila con agua, con el nivel de líquido suficiente para cubrir los testigos, la temperatura del agua debe de permanecer entre los 16° y 27°.

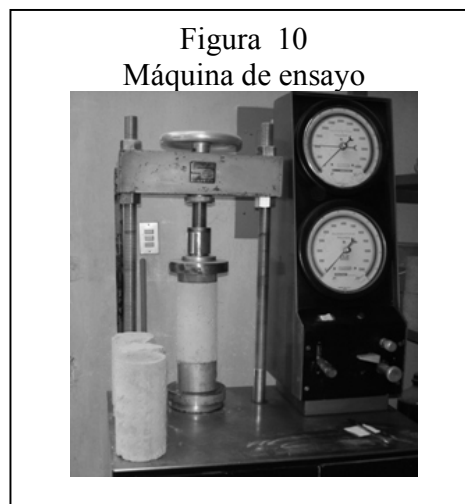
3.2.1.4 Ensayo

Se sacan los testigos del sitio de curado como mínimo 8 horas antes del ensayo.

Se usa el mismo sistema de nivelación que se utiliza para los testigos de concreto, esta puede ser con mortero de azufre o con plantillas de neopreno de baja densidad, se debe garantizar la adherencia a las superficies de ambos extremos de los testigos.

La máquina de ensayo debe tener capacidad de variar la velocidad de carga, esta se debe aplicar sin golpes bruscos.

En ningún caso los testigos pueden fallar antes de los dos minutos de aplicada la carga debiendo buscar una velocidad de la aplicación de la carga para cada resistencia y edad. Con la lectura de la máquina se determina la carga que resiste el elemento hasta el momento de su fallo, luego da como resultado el área superior del cilindro para determinar la capacidad de carga o fuerza por una unidad de área (presión). En el medio se acostumbra dar este dato el en sistema ingles Libras / Pulgada cuadrada (PSI).



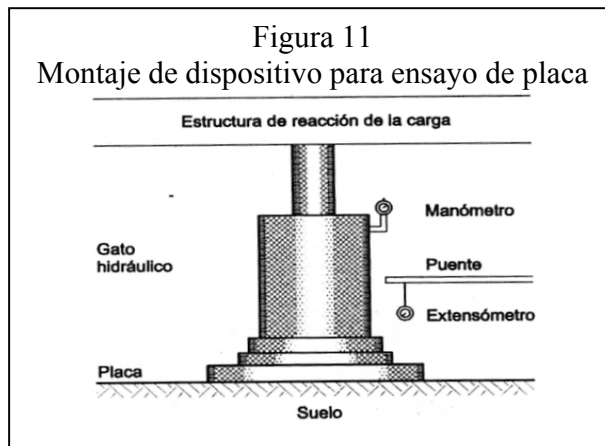
3.2.2 Capacidad soporte

Hay varios métodos para analizar este desempeño, a continuación se comentarán dos de estos métodos:

3.2.2.1 Plato estático

ASTM D 1196 “Método Estándar No Repetitivo del Plato estático de Cargas para Suelos y Evaluación y Diseño de Componentes de Pavimentos Flexibles para Pavimentos de Aeropuertos y Carreteras”.

Esta prueba se utiliza para evaluar la capacidad de sub-rasantes, rellenos, bases y ocasionalmente pavimentos terminados. Sin embargo, su mayor uso es la determinación in situ del llamado “Módulo de reacción de la sub-rasante k” para el diseño de pavimentos rígidos. El ensayo se hace por medio de varias placas concéntricas de acero (6,12, 18, 24 y 30 pulgadas de diámetro y 1 pulgada de espesor), las que se someten a un sistema de carga por medio de un gato hidráulico, soportadas por un equipo pesado (Por ejemplo: un camión cargado). La sub-rasante se somete a presiones conocidas, a una velocidad de carga predeterminada, y se mide la deflexión de la placa por medio de instrumentos especiales de medición colocados a cada 120o en el borde exterior de la placa. Los medidores están sujetos a una viga anclada a cierta distancia del área de carga. El módulo “k” se calcula dividiendo la carga unitaria en psi sobre la deflexión de la placa en pulgadas.

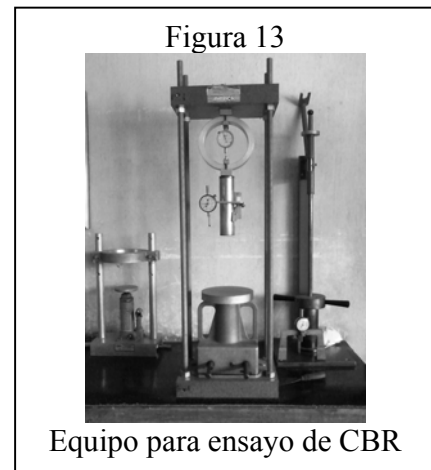


3.2.2.2 CBR

ASTM D 4429 Método estandarizado para CBR (California Bearing Ratio) de Suelos *in Situ*.

Esta prueba sirve para determinar la resistencia relativa de los rellenos fluidos en el lugar donde fueron colocados.

En esta prueba ASTM D 1883 se moldean muestras de materiales utilizados en las capas de la estructura (sub-base y base), en distintos niveles de compactación (90%, 95% y 100% de AASHTO estándar o modificado); se someten a saturación por cuatro días y se prueban por medio de la penetración de un pistón de tres pulgadas de área a una velocidad de 0.05 pulgadas por minuto. Se anotan los valores de penetración cada 0.1 pulgadas, hasta llegar a 0.5 pulgadas. Los resultados de carga sobre área (en psi) se comparan con valores de referencia obtenidos con piedra triturada de alta calidad, que a una penetración de 0.1 pulgada le corresponde 1000 psi. De tal manera que si un determinado material presenta un esfuerzo de 120 psi (360 libras de carga para la penetración de 0.1", dividido entre el área del pistón) el CBR de ese material es 12% del material de referencia (120 sobre 1000).



En la prueba de CBR para un material como el relleno fluido, hay que considerar que a diferencia de los materiales tradicionalmente utilizados (granulares) éste contiene cemento (un ligante hidráulico); esto influye tanto en la resistencia a la compresión, como a la penetración del pistón que mide la capacidad soporte. Esto provoca variaciones marcadas en los primeros días de edad, por lo general estas variaciones tienden a crecer con el tiempo.

Un estudio de este comportamiento se presenta en el capítulo 4 de este trabajo, en el se puede observar que la capacidad soporte de los rellenos fluidos crece con el tiempo (ver Apéndice I) y es afectado también por el contenido de aire que tenga la mezcla; por lo general a más contenido de aire, menor capacidad desarrollará con el tiempo, aunque esta variable también es influida por la cantidad de cemento que tenga la mezcla.

Cabe mencionar que para este tipo de pruebas es importante hacer un ensayo de CBR a los 56 días, ya que el crecimiento de capacidad soporte que se da a esta edad es significativamente diferente a los ensayos a 28 días, esta

característica es importante ya que el cemento de la región usa puzolanas, esto da a las mezclas una ganancia de resistencia significativa aun después de los 28 días.

En la tabla 8 se muestran algunos índices de CBR de materiales comúnmente compactados y el CBR de un relleno fluido con aire incluido a 56 días de edad.

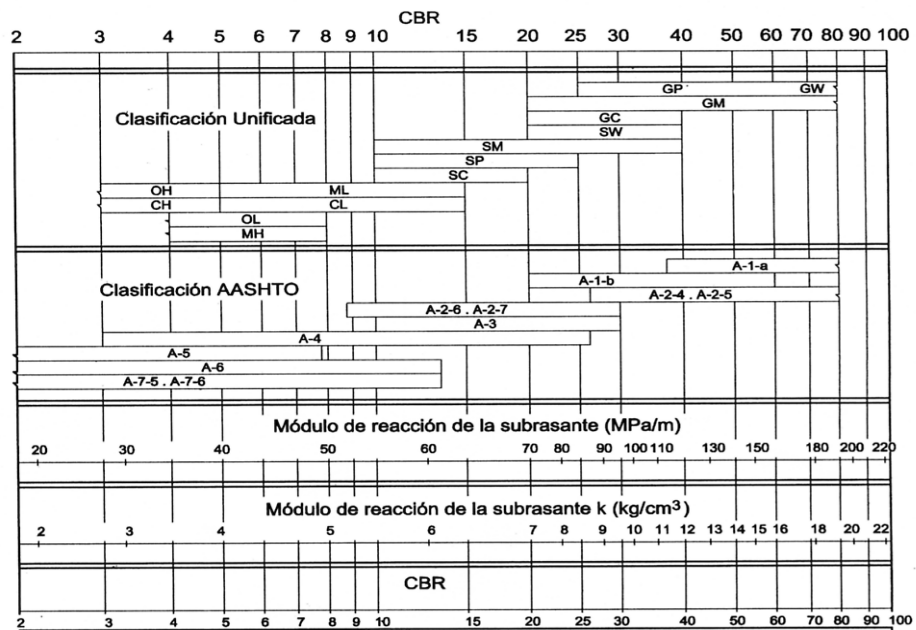
Por lo general el CBR no es analizado en los rellenos fluidos y normalmente para ver su desempeño se usa Norma ASTM D 4832 “Método de Preparación y Ensayo de cilindros de Suelo Cemento” descrita en el inciso anterior.

Tomando en cuenta ambos métodos es posible hacer una gráfica que relacione la capacidad soporte y la resistencia a la compresión de un relleno fluido, este gráfico será desarrollado en el capítulo 4 de este trabajo.

En el libro Diseño, construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto del Ing. Civil Cipriano A. Londoño N. (Colombia) se presenta una correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los ensayos de Módulo de reacción de la sub-rasante K y el CBR, a continuación se incluye dicha tabla para que el lector pueda tener una idea de las propiedades de un suelo clasificado y estas propiedades.

Tabla IIIV. Índices de CBR	
Descripción del suelo	Rango CBR (%)
Relleno fluido con aire a los 56 días	50 – 130
Base de rocas bien graduada	60 – 80
Grava mal graduada	35 – 60
Grava, uniformemente graduada	25 – 50
Grava y cieno	40 – 80
Grava arcillosa	20- 40
Cieno, cieno arenoso, cieno gravoso	5 – 15
Arcilla fina, arcilla arenosa, arcilla gravosa	5 – 15
Cieno orgánico, arcilla orgánica fina	4 – 8
Arcillas gruesas, arcillas orgánicas	3 - 5

Tabla IX. Correlación aproximada entre clasificación de suelos y ensayos de capacidad soporte



3.2.3 Densidad

La densidad normal de un relleno fluido en sitio puede estar en el rango de 282 a 2,100 Kg/m³, siendo mayor a la densidad de los materiales compactados. El uso de cenizas volantes permite hacer mas ligeras (1440 a 1600 kg/m³) ya que en el medio este material no es accesible, las mezclas serán mas densas, aunque es posible obtener mezclas mas ligeras con el uso de agregados livianos o ingresando a la mezcla contenidos altos de aire y mezclas espumosas.

Después de la resistencia que desarrolle un relleno fluido la característica mas significativa es su densidad; el reporte del Comité 229 de la ACI hace una clasificación de los rellenos fluidos según su densidad y resistencia (ver tabla No. 1), también indica que las clases VI y VII pueden ser subdivididas en rangos mas pequeños para aplicaciones específicas.

Es necesario recordar que si se va a solicitar a un proveedor de concreto pre-mezclado el relleno fluido se debe especificar tanto la densidad como la resistencia a la compresión a los 28 días; o si se va a producir en obra la mezcla, estos dos parámetros son la base para el diseño.

3.2.4 Asentamiento diferencial

Los rellenos compactados por métodos mecánicos pueden sufrir asentamientos diferenciales después de haber alcanzado sus niveles de compactación.

Los rellenos fluidos no se asientan una vez se han endurecido. Se han realizado varias mediciones varios meses después de la colocación de un relleno grande con relleno fluido y no mostraron ninguna deformación que pudiera ser medida.

Lo usual para determinar este comportamiento es conocer la profundidad del elemento a rellenar, luego de haber llenado al nivel requerido el elemento se observe si a las 24 o 48 horas ocurrió algún asentamiento en el nivel de llenado. Para un proyecto en Seattle Washington, en el cual se usaron 601 m³ para rellenar un pozo de 37 m de profundidad, la colocación tomó 4 horas y el asentamiento total reportado fue de 3 mm.

3.2.5 Conductividad / aislamiento térmico

Los rellenos fluidos convencionales son considerados como buenos materiales aislantes de la temperatura. Cuando se requiere aislamiento, la mezcla debe ser proporcionada para obtener una baja densidad y alta porosidad. Las mezclas con contenido de aire convencionales reducen la densidad e incrementan el valor de aislamiento térmico disminuyendo de 1% a 3% la conductividad térmica por cada punto porcentual que se incremente en el contenido de aire. Los agregados de peso ligero pueden ser utilizados para la reducir la densidad. Las espumas celulares tienen densidades muy bajas y muestran buenas propiedades de aislamiento.

3.2.6 Permeabilidad

La permeabilidad de la mayoría de rellenos fluidos excavables es similar a los rellenos granulares compactados, pero presentan mejor resistencia a la erosión debido a la cohesión que el cemento da a las partículas de la mezcla.

Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad K están en el rango de 10^{-4} a 10^{-5} cm. / seg. características similares a un suelo entre arenoso y arcilloso. Las mezclas de mayor resistencia y mayor contenido de finos de rellenos fluidos pueden alcanzar permeabilidades tan bajas como 10^{-7} cm. / seg. La permeabilidad es incrementada, a medida que se disminuyen los materiales cementantes y se aumentan los contenidos de agregados (particularmente arriba del 80 %).

Los materiales normalmente utilizados para reducir la permeabilidad, tales como arcilla, bentonita, y tierra de diatomeas, podrían afectar otras propiedades, sin embargo, deben realizarse pruebas antes de su uso.

3.2.7 Encogimiento

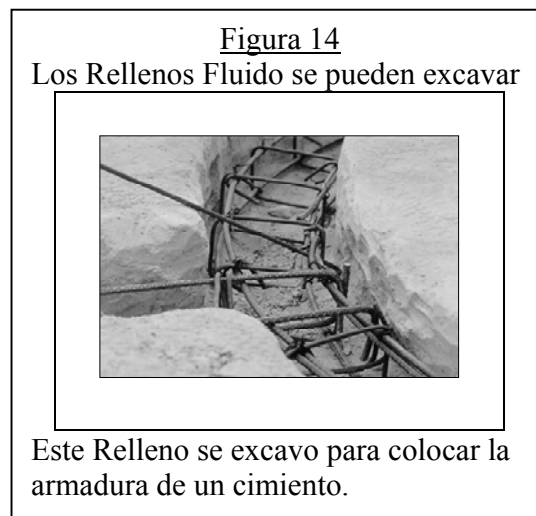
El encogimiento o contracción plástica no afecta el rendimiento de los rellenos fluidos. Varios reportes han indicado que se da muy poca contracción en este material, la contracción lineal típica esta en el rango de 0.02 a 0.05%. A diferencia de la contracción plástica esta medida se hace observando si se observan espacios entre el molde o contenedor de la mezcla, cuando este comportamiento es muy brusco, también produce grietas a lo ancho del elemento fundido.

3.2.8 Excavabilidad

La posibilidad de excavar los rellenos fluidos en años posteriores es una consideración importante. Por lo general un relleno fluido de 3.5 Kg/cm². (50 psi) o menos puede ser excavado manualmente. Se utiliza equipo mecánico como retro excavadoras para resistencias compresivas de 7.0 Kg/cm² a 14.0 Kg/cm² (100 a 200 psi). Ver tabla III.

Los límites de excavabilidad son de alguna manera arbitrarios, dependiendo del diseño del relleno fluido. Las mezclas que utilizan altas cantidades de agregados gruesos pueden ser muy difíciles de remover a mano, incluso a resistencias bajas. Las mezclas que usan arenas finas o solo cenizas volantes como agregado de relleno, pueden ser excavables con una retro excavadora a una resistencia de 21.09 kg/cm² (300 psi).

Cuando es de importancia la excavabilidad en años posteriores, entonces el tipo y cantidad de materiales cementicios es de importancia. Un rendimiento aceptable a largo plazo se ha logrado con proporciones de cemento de 24 a 59 kg. / m³. Los contenidos de cal que excedan un 10% del peso pueden afectar cuando el incremento a largo plazo no es deseado.



Además de limitar la cantidad de material cementicio de la mezcla se puede usar la incorporación de aire para mantener bajas las resistencias.

Debido a que los rellenos fluidos típicamente continuarán ganando resistencia mas allá del periodo de prueba convencional de 28 días, se sugiere

en especial para los rellenos fluidos con alto contenido de material cementicio (cemento y cal), que se realicen pruebas de resistencia a largo plazo para estimar el potencial para una excavación posterior con los años.

En la tabla III se presenta una clasificación de rellenos fluidos que relaciona su resistencia a la compresión no confinada a los 28 días con el equipo necesario para excavarlo.

Una forma para medir el grado de excavabilidad es determinando el Modulo de Remoción (MR). Este parámetro se determina relacionando la densidad del material ya fraguado W (en libras/ pie cúbico) en conjunción con la resistencia a la compresión a los 28 días. El material puede considerarse excavable si en la formula el Módulo de Remoción es igual o menor que 1.

Módulo de Remoción (MR)

$$MR = \frac{w^{1.5} \times 104 \times f'c^{0.5}}{10^6} < 1$$

Donde:

W = Peso Unitario seco (lb. / pie³)

f'c = Resistencia a la compresión a los 28 días (psi)

Esta característica es muy importante en el diseño y utilización de los rellenos fluidos, debido a que debe tomarse en cuenta al momento de usar este material, además, una correcta evaluación del módulo de remoción influirá directamente en el costo de la mezcla, haciendo competitiva su utilización, comparada con los métodos tradicionales.

4. PROPORCIONAMIENTO

El proporcionado de los rellenos fluidos en gran parte se ha realizado a base de prueba y error, hasta obtener las mezclas con las propiedades adecuadas. La mayoría de especificaciones disponibles proveen una receta de ingredientes que producirán un material aceptable, aunque algunas especificaciones se inclinan por las facilidades del rendimiento y dejan el proporcionado a criterio del fabricante.

4.1 Método

El lector puede ayudarse del método que mejor domine para el diseño de mezclas por lo general se ha utilizado la norma ACI 211, Practica estándar para la selección de proporciones de peso pesado, y concreto en masa; sin embargo aún queda mucho trabajo por hacer para establecer una confiabilidad consistente cuando se utiliza este método.

En este capítulo se expone el método de Volúmenes Absolutos para el diseño de mezclas y del Método de Producción donde se describirán las prácticas de mezclado, transporte y colocación como una guía para la elaboración de rellenos fluidos.

Antes de considerar cualquier método que el lector de este trabajo considere de su preferencia es necesario establecer consideraciones mínimas que serán de ayuda para el diseño de un relleno fluido:

- **Cemento:** los contenidos de cemento generalmente van desde 30 a 130 Kg/m³ (1 a 5 sacos) dependiendo de los requerimientos de cantidad y ganancia de la resistencia, esta referencia no limita el contenido de cemento ya que dependiendo de los requerimientos ésta podría ser mayor. El incrementar la cantidad de los contenidos cementosos (por lo general cemento o cal) a la vez que se mantienen todos los demás factores, normalmente aumentan la resistencia, pero aumentan el costo por metro cúbico. Es recomendable al momento de diseñar la mezcla usar sacos de cemento completos o en números fáciles de dosificar en campo, esto ayudará a tener un mejor control del material de mayor costo de la mezcla.
- **Cenizas Volantes:** Los contenidos de cenizas volantes clase F van desde cero hasta tan altos como 1200 kg./m³, y básicamente son utilizadas como agregado de relleno. Las cenizas volantes clase C son utilizadas en cantidades de 210 kg./m³, hay que recordar que este tipo de material no es accesible en la región, así que su uso se considerará muy poco.
- **Agregados:** Una práctica normal es usar arena como agregado en los rellenos, esto se debe a que los proveedores de mezclas listas tiene inventario disponible de este material y el usarla facilita el proceso de producción; aunque se pueden usar otros materiales como se comentó en el capítulo 2, se requiere hacer pruebas para comprobar si estos cumplen con los resultados deseados. Los agregados gruesos generalmente no son utilizados en rellenos fluidos tan frecuentemente como los agregados finos. Sin embargo, cuando estos se utilizan el contenido de agregados gruesos es por lo general muy parecido al contenido de agregados finos.

- Agua: Se utiliza mas cantidad de agua en los rellenos fluido que en el concreto. El agua sirve como lubricante para proveer características de alta fluidez y promueve la consolidación de los materiales. Los contenidos de agua típicamente van desde 195 a 347 kg/m³, para la mayoría de mezclas de rellenos fluidos que contengan agregados.

El contenido de agua para las mezcla con solo cenizas volantes clase F y cemento, puede ser tan alto como 600 Kg/m³ para lograr una buena fluidez. Este amplio rango es debido principalmente a las características de los materiales utilizados en los rellenos fluidos y el grado de fluidez deseado, los contenidos de agua aumentarán si aumenta la cantidad de agregados finos en la mezcla. No es de extrañar que se encuentre relaciones de agua cemento en rangos desde 0.5 hasta 6.5.

4.1.1 Método de volúmenes absolutos

Se sugiere el uso de este método ya que su uso es simple y práctico, y los datos que necesita para su desarrollo son pocos y accesibles.

Se define que es un volumen absoluto:

El Volumen absoluto de un material granular como el cemento y los agregados es el volumen de la materia sólida en las partículas y no incluye el volumen de los vacíos de aire entre ellas. El volumen absoluto se calcula a partir del peso de los materiales y los pesos específicos relativos (densidad relativa), como sigue:

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{Peso del material suelto}}{\text{Peso específico relativo del material x densidad del agua}}$$

Se usará el método de volumen absoluto, para determinar el volumen del agregado, este se determina sustrayendo de un metro cúbico, los volúmenes de los otros ingredientes conocidos o que son asumidos como dato inicial para ver el comportamiento de la mezcla.

El volumen absoluto del agua, cemento, aditivos, agregado grueso (si se usara) se calcula dividiendo la masa conocida de cada uno de los componentes entre el producto de su peso específico relativo o densidad por la densidad del agua; para el volumen absoluto del aire en la mezcla se expresa en metros cúbicos y es igual al contenido deseado de aire en la mezcla en porcentaje dividido 100 y se expresa en metros cúbicos.

4.1.1.1 Ejemplo

Se define el tipo de mezcla que se desea:

Se desea obtener una mezcla con una resistencia a la compresión de 15 kg/cm² a los 28 días, una densidad de 1686 kg/m³, con una alta fluidez para que sea de fácil colocación y un contenido de aire del 18.5%; estos datos de inicio se pueden asignar según las necesidades de cada aplicación.

El diseño inicia estimando el número de sacos de cemento que tendrá la mezcla, debido a que este dato definirá la resistencia a la compresión que debe llegar a obtener y se define según el uso o tipo de servicio que la mezcla brinde.

Para determinar el contenido de cemento se toma como referencia la tabla 1 en la que se ubica la mezcla deseada entre clase V (11.25 Kg/cm²) y una clase VI (22.50 Kg/cm²). En la tabla III se observa que ambas clases de rellenos son clasificados por su facilidad a ser excavados, y para esta acción se

requiere de una retroexcavadora; esto sugiere una buena cantidad de cemento en la mezcla. Por lo que se inicia el diseño con un contenido de 3 sacos de cemento de 42.5 Kg.

Esto es equivalente a $C = 127.50$ Kg.

Se recomienda empezar por el cemento ya que constituye el material más influyente en costo y además determina en gran manera la resistencia obtenida; una buena práctica es hacer diseños que se puedan dosificarse en múltiplos de sacos completos, esto ayudará al control de producción e inventario que por lo general se realiza en obra.

Luego que se eligió la cantidad de cemento, se determinará la cantidad de agua que agregaremos a la mezcla, usando la relación agua / cemento, ya que esta relación tiene un rango muy alto (entre 0.5 a 6.0) es recomendable empezar por el punto medio, aunque aquí hay que considerar el grado de fluidez que se obtiene en la mezcla.

Ya que la fluidez requerida es alta y no se puede omitir la resistencia que depende de esta relación, se usa una relación A/C de 2.0 por lo tanto la cantidad de agua a usar será de:

$$A / C = 2.0 \text{ entonces, } A = 2.0 \times C$$

Como $C = 127.50$, entonces

$$A = 230 \text{ kg.}$$

El contenido de aire se especificó un contenido de 18.5% por metro cúbico, esto es igual:

$$\text{AIRE} = 18.5/100 = 18.5$$

Esto se logrará con la ayuda de aditivos inclusores de aire, hay que tener presente que a mayor contenido de aire en la mezcla la resistencia a la compresión será disminuida con una proporción de 1 a 10, es decir 1% de aire restará un 10 % de resistencia a la compresión.

En este punto, las cantidades de los ingredientes se conocen a excepción del agregado. En el método del volumen absoluto, el volumen del agregado se determina restando de un metro cúbico, los volúmenes absolutos de los ingredientes conocidos; se determina con la formula 4.1, los cálculos del volumen para un metro cúbico del diseño de mezcla son como sigue:

$$\text{Cemento} = \frac{127.50}{2.94 \times 1000} = 0.0434 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{230}{1 \times 1000} = 0.2300 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{18.5}{100} = 0.1850 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total de los ingredientes} = 0.4584 \text{ m}^3$$

Para obtener la cantidad de agregado o relleno de la mezcla se resta el volumen total de los ingredientes de 1.

$$\text{Agregado} = 1 - 0.4584 = 0.5416 \text{ m}^3$$

Por si fuera de utilidad saber el peso del agregado hay que multiplicar el volumen por el peso específico del material por la densidad del agua, entonces:

$$\text{Peso del agregado} = 0.5416 \times 2.44 \times 1000 = 1351.50 \text{ Kg.}$$

La Tabla VI describe diferentes ajustes de esta mezcla de prueba, siendo la prueba 1 la que describe los resultados de la mezcla del ejemplo, en las pruebas 2 y 3 se utilizó un segundo tipo de arena y en la prueba 4, se cambió el tipo de cemento.

Para este método es indispensable conocer el peso o masa específico de los componentes de la mezcla; la mayoría de los agregados naturales tienen pesos específicos relativos que varían de 2.4 a 2.9 con peso específico correspondiente de las partículas de 2,400 a a 2,900 Kg. / m³ los métodos de ensayo para determinar el peso específico relativo de los agregados se describen en la Norma ASTM C 127.

En el capítulo dos se mencionan los materiales mas comúnmente utilizados para rellenos fluidos; también se presentan dos formas de clasificación de materiales que pueden ser de ayuda para el lector.

4.1.2 Proporcionamiento con mezclas de prueba

Cuando no hay registro de ensayos de campo disponibles o son insuficientes para el proporcionamiento a través de métodos de experiencia en campo, las proporciones de la mezcla elegidas se deben basar en mezclas de prueba.

Las mezclas de prueba deben utilizar los mismos materiales que se usarán en obra. Se deben elaborar tres mezclas con tres relaciones agua / cemento distintas o tres contenidos de cemento diferentes, a fin de producir un rango de resistencias que contengan un promedio de resistencia requerido. Se debe apuntar también el revenimiento y un contenido de aire de cada mezcla. Se deben producir y curar tres pares de cilindros para cada mezcla y estos se ensayan a una edad determinada para determinar su resistencia a la compresión.

Con los resultados se debe producir una curva de resistencia versus relación agua/cemento, que se puede usar para proporcionar la mezcla, también es de interés dibujar diferentes curvas que relacionen contenido de aire, contenido de agua, densidad del material o asentamiento contra la resistencia; esto servirá para tener un panorama completo del comportamiento de la mezcla. Para que estas curvas empiecen a tener certeza de debe contar con un mínimo de 20 datos.

Cuando se trabajen las mezclas de prueba se debe pre-humedecer los agregados y secar hasta llegar a una condición Saturada con Superficie Seca SSS, para simplificar los cálculos y eliminar los errores causados por las variaciones en el contenido de humedad de los agregados.

Los agregados se deben colocar en recipientes cubiertos para que se mantenga la condición SSS hasta que se apliquen a la muestra.

Se debe determinar la humedad de los agregados y los pesos de prueba y se deben corregir adecuadamente.

Pruebas de mezcla mayores producirán datos más precisos y un mejor comportamiento de los aditivos en especial los inclusores de aire que suelen tener dosificaciones muy bajas. Es obligatorio el uso del mezclador mecánico y con revoluciones adecuadas, mayores revoluciones por minuto darán mejores mezclas.

El tamaño de la mezcla depende de los equipos disponibles y del número y tamaño de los cilindros de prueba que se van a utilizar.

4.2 Pruebas

4.2.1 Relleno con arenas

En la Tabla X, se muestran los resultados de tres pruebas de mezcla, con la intención de poder observar el comportamiento de un relleno fluido hecho solo con arenas del medio guatemalteco, con diferentes contenidos de humedad y con dos tipos de cemento que son accesibles en el medio, manteniendo constante la dosificación del aditivo Sikalightcrete para poder observar su comportamiento con diferentes mezclas, la hoja técnica de dicho producto puede leerse en los apéndice A de este trabajo.

Tabla X. Pruebas con arenas

MATERIALES UTILIZADOS	DIMENSIONAL	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Arena	kg.	64.58	55.54	62.38
Densidad Arena	Kg./L	2.69	2.44	2.69
Humedad	%	0.06	0.02	0.06
Arena humedad	kg.	68.23	56.80	65.93
Cemento UGC	kg.	5.33	5.33	6.67
Sikalighcrete	ml	18.00	18.00	18.00
Agua utilizada	kg.	8.33	10.52	9.80
RESULTADOS				
Revenimiento	Centimetros	22.86	22.86	22.23
Peso Unitario	kg./m3	1878.00	1686.00	1892.00
Aire	%	18.00	18.50	15.40
Masa Total	kg.	78.25	70.25	78.83
Volumen Real	m3	0.04	0.04	0.04
Agua Total	kg.	11.98	11.78	13.35
Relación A/C		2.25	2.21	2.00
Resistencia a 7 días	Kg./cm2	73.53	81.94	284.33
Resistencia a 28 días	Kg./cm2	107.85	152.67	439.10

En el apéndice C se puede ver una grafica que describe el comportamiento de las pruebas con arenas 1, 2 y 3 para ejemplificar la curva de resistencia vrs. relación agua/cemento de la que se observa en el proporcionamiento con mezclas de prueba.

Se puede observar en el apéndice F que hay una tendencia, a menor relación agua cemento, mayor será la resistencia que se obtendrá en la muestra; esta gráfica se muestra solo para indicar la tendencia de la relación, para poder tener una gráfica que de tendencias estadísticamente aceptables se deberían de hacer como mínimo 20 pruebas.

4.2.2 Rellenos con cascajo o base triturada

En la tabla XI se encuentran los datos de un Relleno fluido hecho con cemento tipo ARI 24, cal Hidratada tipo S y un suelo conocido como base triturada o cascajo clasificado como CL, Grava Arena Arcillosa color beige. Se usaron dos aditivos inclusores de aire: Rhehosel que es un aditivo en polvo y Sikalighcrete para comparar su desempeño.

Se variaron las cantidades de agua en cada mezcla para comparar la resistencia con diferentes relaciones agua/cemento.

La intervención de la cal ayudó a mejorar la plasticidad de la mezcla, contribuyendo con el tiempo a incrementar la resistencia, esto debido a la reacción química que la cal produce con la arcilla.

Los resultados fueron satisfactorios y con la prueba 4 se realizaron pruebas de bombeo como lo muestra la figura 7.

Tabla XI. Pruebas con Cascajo

MATERIALES UTILIZADOS	DIMENSIONAL	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4
Cascajo Seco	Kg.	54.33	54.33	54.33	54.33
Densidad Cascajo	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
Humedad	%	0.06	0.08	0.09	0.08
Cascajo Húmedo	Kg.	57.61	58.81	58.96	58.84
Cemento	Kg.	4.13	4.13	4.13	4.13
Cal	Kg.	0.97	0.97	0.97	0.97
Aditivo*	g	1.25	1.50	2.00	20.00
Agua utilizada	Kg.	11.54	13.37	13.00	15.00
RESULTADOS					
Revenimiento	Centímetros	20.30	20.30	20.30	20.30
Peso Unitario	kg/m3	1987.98	1877.54	1810.30	1915.59
Aire	%	0.04	0.05	0.08	0.02
Masa Total	kg	74.25	77.28	77.06	78.94
Volumen Real	m3	0.04	0.04	0.04	0.04
Agua Total	kg	14.82	17.85	17.63	19.51
Relación A/C		3.59	4.32	4.27	4.73
Resistencia a 3 días	Kg./cm2	58.50	52.93	30.65	83.58
Resistencia a 7 días	Kg./cm2	142.08	128.15	64.07	147.64
Resistencia a 28 días	Kg./cm2	174.00	161.97	80.45	117.06

*En las Pruebas 1, 2 y 3 se Uso Rehosel y en la prueba 4 Sikalighcrete como inclusor de aire.

Cuanto más aditivo se agregue a la mezcla, mayor cantidad de aire se incorpora a la mezcla y esto hace que la resistencia disminuya; este comportamiento lo describe en el grafico del apéndice D, no se tomó en cuenta la prueba 4 de cascajo debido a que en ella se utilizó un aditivo diferente.

El cascajo, cemento y cal se mantuvieron constantes y solo se varió la dosificación del aditivo y el contenido de agua en cantidades no significativas. En el apéndice D se puede observar una clara tendencia que indica que entre mas aditivo se utilice (manteniendo constante el cemento y el agua) la resistencia bajará a razón de 40 Kg/cm² por cada 0.25 gramos de aditivo que en referencia al peso de cemento utilizado es un 0.6 %.

4.2.3 Rellenos con toba o selecto

En la tabla XII se encuentran los datos de un Relleno fluido hecho con cemento UGC, y un suelo conocido como Toba o Selecto, clasificado como SM, Arena Limogravosa color beige. Como inclusor de aire se utilizó Sikalightcrete ya que en las pruebas anteriores demostró ser más estable en pruebas pequeñas y su costo-beneficio resulto más eficiente.

Se mantuvieron constantes las cantidades de cemento y aditivo, haciendo variaciones en la toba y el agua.

Tabla XII. Pruebas con Toba o Selecto

MATERIALES UTILIZADOS	DIMENSIONAL	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Toba	kg.	46.88	43.90	42.71
Densidad Toba		2.18	2.18	2.18
Humedad	%	0.04	0.05	0.08
Toba humedad	kg.	48.76	46.10	46.13
Cemento UGC	kg.	3.54	4.38	5.21
Sikalighcrete	ml	11.13	11.13	11.13
Agua utilizada	kg.	16.88	19.92	21.04
RESULTADOS				
Revenimiento	Centimetros	20.30	20.30	20.30
Peso Unitario	kg./m3	1570.30	1601.10	1558.40
Aire	%	9.00	5.50	5.50
Masa Total	kg.	48.79	68.25	68.96
Volumen Real	m3	0.04	0.04	0.04
Agua Total	kg.	18.76	22.12	24.46
Relación A/C		4.76	4.55	4.04
Resistencia a 3 días	Kg./cm2	6.93	80.43	123.75
Resistencia a 7 días	Kg./cm2	38.94	141.05	255.69

En el gráfico del apéndice E se muestra una tendencia en el comportamiento de la cantidad de cemento en una mezcla, que a manera que se incrementa la cantidad de cemento la resistencia aumenta de forma lineal.

En la prueba 1 se tiene una relación de 3.54 Kg de cemento por 48.76 Kg de Selecto la relación en peso es de 7.26 % y se obtuvo una resistencia a los 7 días de 38.94 Kg/cm², en la prueba 2 la relación en peso es de 9.5% y la resistencia de 141.05 Kg/cm² y en la prueba 3 la relación es de 11.29% y la resistencia llegó a 255.69 Kg/cm². Obteniendo una ganancia promedio de resistencia de 77.71 Kg/cm² por cada kilogramo de cemento que se incremento a la mezcla (independiente de la cantidad de Toba).

En la gráfica del apéndice F, se puede observar un comportamiento lineal que aunque la cantidad de agua va en incremento (ver el apéndice G); manteniendo la relación agua / cemento con una relación decreciente, la resistencia aumenta.

Con las condiciones antes mencionadas para las pruebas con toba, la gráfica del apéndice H demuestra que mayor cantidad de toba o agregado la resistencia disminuye, esto puede ser por la cantidad de agua que este material absorbe (2.68 % en peso), eso hace que el agua disponible para hidratar las partículas de cemento disminuya en la mezcla y esto afecta el desarrollo de la resistencia.

4.3 Pruebas de resistencia vrs. CBR

Para un mortero que va ser usado principalmente usado como un suelo, resulta interesante hacer una comparación entre la ganancia de resistencia a la compresión (prueba que se hace a concretos y morteros), con un CBR, prueba que es ampliamente utilizada para comparar la capacidad soporte que un suelo desempeña en servicio.

Para esta comparación se hizo una mezcla que se detalla en la Tabla 13, a la que denominaremos Prueba No. 5, se tomaron muestras en cilindros para su ensayo a la compresión y para la C. B. R. como se muestra en la figuras 15 y 16.

El ensayo de C. B. R. (iniciales del nombre de este ensayo en ingles California Bearing Ratio) esta descrito por la norma ASTM 1883, el alcance de esta norma establece que este método es usado en pavimentos, bases, sub-bases y sub-rasantes para determinar el rango de contenido de agua para un grado de compactación para un suelo con un determinado peso especifico (que se mide en estado seco método ASTM D 698 o ASTM 1557).

Este grado de compactación es comparado con la compactación de un material estandarizado, al hacer la comparación con ese material es que logramos tener un porcentaje de referencia; es por eso que la prueba de C. B. R. no tiene dimensional y su valor se expresa en porcentaje.

Para el ensayo de C. B. R. en la prueba 5 se hicieron algunos modificaciones a la prueba, se decidió curar los testigos únicamente 48 horas, esto para simular mejor las características del material puesto en servicio (que no es curado) y evitar de esta forma que la resistencia del material se eleve a un grado excesivo, que no pueda medirse la penetración del pistón en el ensayo. Hay que recordar que una base granular se satura por 96 horas previo al ensayo del CBR, con el fin de obtener un contenido de agua óptimo del material, condición que no es relevante para un relleno fluido.

Figura 15



Toma de muestras

Figura 16



Moldes para CBR

La dosificación de materiales de la prueba No. 5 se detalla en la tabla XIII.

Tabla XIII. Prueba 5

MATERIALES UTILIZADOS	DIMENSIONAL	PRUEBA 1
Arena	kg.	39.40
Densidad Arena		
Humedad	%	2.50
Arena + humedad	kg.	40.39
Cemento ARI	kg.	4.13
Retardante	ml	14.45
Sikalighcrete	ml	10.00
Agua utilizada	kg.	4.38
RESULTADOS		
Revenimiento	Centímetros	7.60
Peso Unitario	kg./m3	1923.00
Aire	%	15.00
Masa Total	kg.	76.92
Volumen Real	m3	0.04
Agua Total	kg.	5.36
Relación A/C		1.30
RESULTADOS DE ENSAYOS		
Edad	Resistencia	CBR
Días	Kg./cm2	% CBR
3	326.70	288.00
7	508.44	297.00
14	391.68	305.91

En el apéndice I se muestra una gráfica que dibuja una curva y su tendencia en el plano Y la resistencia y en el plano X el C. B. R. en tres edades (3, 7 y 14 días) de la mezcla de la prueba 5.

La pendiente de la tendencia es positiva, esto indica que con el tiempo la resistencia y el valor soporte tienden a crecer. De la ecuación de la línea de tendencia es $Y = 12.998*X - 3395.2$ (ver apéndice I), con la ayuda de esta ecuación se calcula la pendiente que da un valor de 0.1047, se interpreta este dato comentando que por cada 10 puntos que crezca el valor de la resistencia, el valor del C. B. R. crecerá 1 punto para esta mezcla en particular.

El apéndice J muestra el crecimiento de la resistencia del diseño de mezcla No. 5 en el tiempo y el apéndice K muestra el crecimiento del C. B. R. en el tiempo.

Esta mezcla en particular demostró un desempeño muy alto superando las condiciones que en servicio se demanda a una base para pavimento o un cimiento donde se requieren porcentajes de compactación en un rango del 95 al 100 %. Se puede concluir por lo descrito en las líneas de tendencia de las tres gráficas de los apéndices I, J y K que para un Relleno Fluido las condiciones de resistencia y CBR crecen con el tiempo en los primeros días de vida de la mezcla.

En este caso en particular se decidió hacer las pruebas hasta los 14 días por el desempeño tan alto que la mezcla presentó a esta edad, lo normal y recomendable es hacer ensayos hasta los 56 días, a esta edad el crecimiento de la resistencia y el % C. B. R. tiende a crecer pero a un ritmo más lento.

Una prueba de C. B. R. no es la más indicada para evaluar el desempeño de un Relleno Fluido, se hizo este ensayo y comparación para tener una referencia entre compresión y el método más tradicional en el medio usado para evaluar la capacidad soporte de un suelo; para determinar la capacidad soporte de un material como el Relleno Fluido se recomienda usar la prueba del Plato Estático brevemente descrita en el inciso 3.2.2.1 de este trabajo de investigación.

4.4 Pruebas extranjeras

La tabla XIV presenta un número de diseños de mezcla que han sido desarrollados y utilizados en diferentes estados de la Unión Americana; observe que los materiales cambian por localidad. Lo que funciona en una región o para un proveedor, podría ser inapropiado en otro sitio o aplicación. Los materiales con los que se diseñen para una mezcla debe hacerse con lo que localmente sea accesible, considerando disminuir los costos, logrando el desempeño logrado.

Por lo tanto la información en la tabla XIV se provee como una guía y no debe usarse para propósitos de diseño sin primero probar con materiales disponibles localmente.

Tabla XIV. Diseño de mezcla en la Unión Americana

FUENTE	Dimensional	Colorado	Los Angeles	Florida	Illinois	Indiana		Okland	Michigan		Ohio		SC	Relleno sin Contracción ¹	Agregado Grueso ¹⁶		Cenizas Volantes ¹⁴		
						Mezcla 1	Mezcla 2 ⁴		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 1	Mezcla 2			Con aire ¹³	Mez-S-2 ¹⁵	Mez-S-3 ¹⁶	Mez-S-4 ¹⁷	
Contenido de Cemento	Kg.	23	45	23 - 45 ³	23	27	84	23 min	45	23	45	23	23	28	23	23	44	72	66
Cenizas Volantes	Kg./m ³		180	0 - 356 ⁴	180 Clase F 120 Clase C	196		150	1190 Clase F	325 Clase F	150	150	355		150	150	58 Clase F	94 Clase F	85 Clase F
Agregado Grueso	Kg./m ³	1010 ¹							Ver nota # 7				1012 3/4" Max.	1130 1" Max.	1130 1" Max.				
Agregado Fino	Kg./m ³	1095 ²	1540	1630 ⁵	1720	1700	1590	1730	Ver nota # 7	1690	1730	1485	1175	865	800				
Contenido de Agua Aproximado	Kg./m ³	193	350	300 Maximo	223	303	297	297 Maximo	395	196	297	297	273 - 320	153 ⁹	160 ¹²	151 ¹²	635	625	680
Resistencia a la Compresión a los 28 días	Kg./cm ²	42.18	35.15 - 105.50										56.25	11.95 @ 1 día	70.31		28.12 @ 56 días	42.18 @ 56 días	35.15 @ 56 días
	psi	60	50 - 150										80	17.00 @ 1 día	100		40 @ 56 días	60 @ 56 días	50 @ 56 días

- 1 ASTM C33, No. 57
- 2 ASTM C33
- 3 La cantidad de cemento puede ser incrementada sobre estos límites solo cuando se requiera de una alta resistencia temprana y su remoción sea poco probable.
- 4 Escoria granulada expansiva de caldera puede ser utilizada en reemplazo de las cenizas volantes.
- 5 Usar este material para ajustar el rendimiento de 1 metro cúbico.
- 6 Con una dosis de 5 a 6 onzas de aditivo, se producen contenidos de aire en el orden del 7% al 12%.
- 7 Se utilizó 1690 kg. / m³ de material granular de 6 mm (1/4") de tamaño máximo.
- 8 Emery, J. y Johnston, T. "Relleno sin contracción para restauración de cortes utilitarios" ACI, edición especial 93 – 10, 1986.
- 9 Produce un asentamiento de 15 cm. (6 pulgadas).
- 10 Fox, T.A. "Uso de agregados gruesos en Rellenos Fluidos" Tabla de investigación de transporte 1234, 1,989.
- 11 Produce un contenido de aire de 1.5 % aproximadamente.
- 12 Produce de 13 a 20 cm. (5 a 8 pulgadas) de asentamiento.
- 13 Se trabaja con 5% de contenido de aire.

- 14 Naik, T. R., Ramme, B. W. y Kolbeck, H. J., « Relleno de Subterráneo Abandonado con Relleno Fluido con Cenizas Volantes” Concrete Internacional, Julio 1,990.
- 15 Produce una Fluidéz Modificada de 21 cm. (8 ¼”) de diámetro, contenido de aire de 0.8 %; densidad en la lechada Kg. / m³.
- 16 Produce una Fluidéz Modificada de 26.7 cm. (10 ½”) de diámetro, contenido de aire de 1.1%; densidad de lechada de 54 Kg. / m³.
- 17 Produce una Fluidéz Modificada de 42.5 cm. (16 ¾”) de diámetro, contenido de aire de 0.6%; densidad de lechada de 53.8 Kg. / m³.

4.5 Mezclado

El mezclado, transportación y colocación de los rellenos fluidos siguen los procedimientos dados en la norma ACI 304. Sin embargo, otros métodos podrían ser aceptables si se encuentran disponibles datos de experiencias y rendimientos previos.

Independientemente de los métodos y procedimientos que sean utilizados, el criterio principal es que el relleno fluido sea homogéneo y consistente, y que satisfaga los requerimientos del propósito para el que es requerido.

Los rellenos fluidos pueden ser mezclados por varios métodos, incluyendo plantas de concreto de mezclado central, camiones mezcladores y tolvas con equipo de básculas. Para mezcla con alto contenido de cenizas volantes o materiales muy finos como el polvo de piedra en donde estos materiales finos son transportados desde silos a los equipos de mezcla las operaciones pueden resultar ser muy lentas.

Para realizar una carga en camión mezclador a una velocidad normal se sugiere seguir la siguiente secuencia:

- 1er. Paso agregar el 70 al 80% del agua de la mezcla,
- 2do. Paso agregar 50% del agregado de relleno (arenas y gravas),
- 3er. Paso incluir el 100% del material cementicio,
- 4to. Paso completar la porción de agregados de relleno y
- 5to. Paso completar la carga de agua.

Se recomienda como mínimo dar un periodo de mezcla de 15 minutos.

4.6 Transporte

La mayoría de mezcla de rellenos fluidos son transportadas en camiones mezcladores (figura 18), se requiere la agitación de la mezcla durante su traslado al lugar de colocación y durante el tiempo de espera a la descarga para mantener el material en suspensión y homogéneo.

Bajo ciertas circunstancias como mezclas de poco asentamiento los rellenos fluidos han sido transportados distancias cortas en equipo sin agitación como camiones de volteo (ver figura No 17). Aunque los camiones mezcladores proveen acción de mezclado, podrían no proveer la suficiente acción mezcladora para prevenir que los materiales se segreguen.

Los rellenos fluidos han sido transportados efectivamente por bombas y fajas transportadoras, al momento de bombear la mezcla los finos de la misma sirve de lubricante para reducir la fricción en la tubería, sin embargo por la misma textura fina que estos agregados tienen demandan que la bomba esté en excelentes condiciones y apropiadamente limpia. Se recomienda también

usar la presión mas baja de bombeo en la bomba, ya que son mezclas ricas en finos y contenido de aire, si mezcla de este tipo son sometidas a presiones altas pueden ser fácilmente exprimidas dentro de la tubería de la bomba y formar obstrucciones que interrumpirían en bombeo.

Mezclas que presenten alto grado de cohesividad darán problemas de bombeo, en estos casos es posible modificar la viscosidad de la mezcla con ayuda de aditivos, variando el contenido de aire o cambiando el contenido de materiales plásticos como las arcillas que agregan cohesividad a la mezcla y nunca deben de superar el 20% de la mezcla.



4.7 Colocación

Los rellenos fluidos pueden ser colocados por medio de canales, grúas con cuchumbos, cubetas, carretas, bombeado o por gravedad; todo depende de la aplicación y la accesibilidad y características de la mezcla.

La vibración interna y compactación no son requeridas ya que el relleno fluido debe consolidarse por su propio peso. Aunque es posible colocarlo en todo tipo de clima incluso con agua empozada, si hay que evitar su colocación

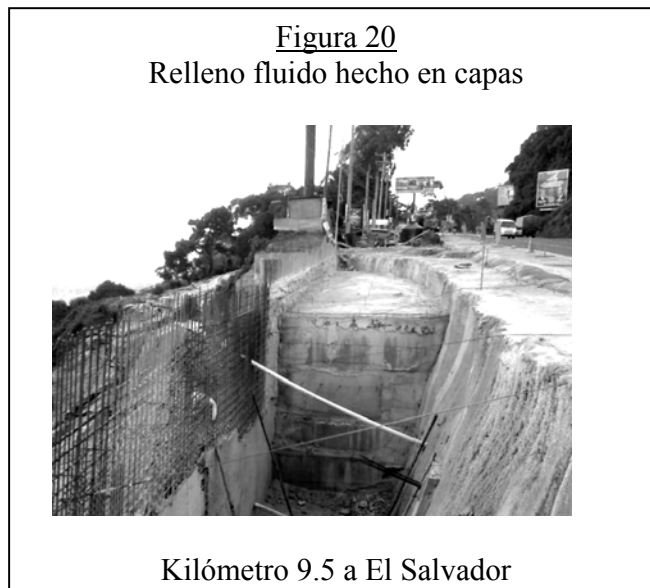
si se ven que condiciones de congelamiento lo puedan afectar en su periodo de endurecimiento.

Para el relleno de canales, trincheras y cunetas la colocación suele hacerse de forma continua, procurando tener suficiente material sin interrupciones entre cargas, esta característica es la que hace que este sistema de relleno sea práctico y eficiente.

Para contener el relleno fluido cuando se llenan zanjas, túneles, canales o cualquier estructura con los extremos abiertos se pueden bloquear los extremos con sacos rellenos de arena de forma que soporten la presión al momento de la colocación.



Para encajamientos de tuberías se podría requerir que el relleno fluido se colocara en capas para prevenir la flotabilidad de la tubería. Se debe permitir el endurecimiento de cada capa antes de continuar con la colocación de la capa siguiente. Otros métodos de prevenir la flotabilidad de la tubería sugieren usar sacos con arena sobre la tubería para agregar peso o fijarlo con cintas de alambre ancladas a la base de la zanja.

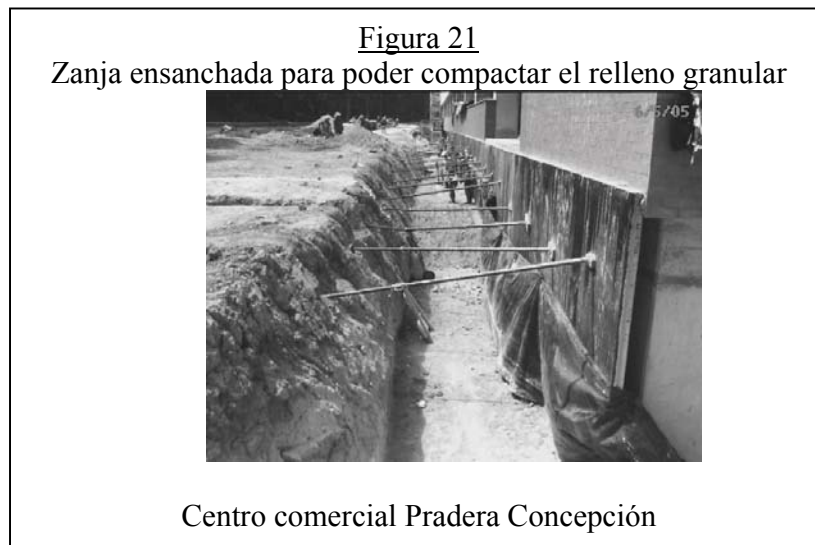


Los rellenos fluidos no son auto soportables y pone una carga sobre la tubería y el área de superficie que lo contenga, para tuberías largas y tuberías de pared flexible la colocación debe hacerse en capas a manera de desarrollar un soporte lateral a lo largo de los lados de la tubería o muros de contención como se ve en la figura 20.

En rellenos contra muros de contención también podrá requerirse la colocación en capas a manera de prevenir un exceso de presión sobre la pared si esta no puede ser reforzada con puntales.

En la figura 21 se puede observar parte de esta labor y lo complicada que puede llegar a ser ya que ella requiere de bastante personal (horas Hombre) para realizar las tareas de trasladar el material de relleno, luego compactarlo con equipo que produce vibración y ruido, esto introduce el peligro a la tarea, ya que se esta trabajando a la par de un muro prefabricado que necesita ser apuntalado mientras el suelo es reemplazado por el nuevo relleno.

No hay que perder de vista el ancho de la zanja, esta se dejó de esta dimensión precisamente para poder realizar esta labor, esta dimensión se pudo haber disminuido en un porcentaje considerable si se hubiera utilizado un relleno fluido.



Los rellenos fluidos han sido colocados efectivamente directamente dentro de agua por medio del método Tremi sin segregación significativa. En áreas confinadas el relleno fluido desplazara el agua hacia la superficie, en donde puede ser fácilmente drenada.

Debido a su consistencia fluida, el relleno fluido puede fluir a través de largas distancias para rellenar cavidades agujeros localizados en lugares de difícil acceso. Los huecos u orificios no necesitan ser limpiados ya que la mezcla llenara las irregularidades y encapsulara cualquier material suelto como piedra y bloques de material, sí la basura fuera orgánica, es necesario removerla.

5. APLICACIONES

Es este capítulo se pretende mencionar las aplicaciones más frecuentes de los Rellenos Fluidos, en ningún momento se pretende restringir estas aplicaciones únicamente a las que aquí se mencionan, es tarea del lector utilizar los conceptos que aquí se discute usando su experiencia, criterio e imaginación para adaptar las bondades de estos materiales a las necesidades del trabajo.

El Relleno Fluido al no requerir la colocación en capas la mayoría de las veces, ni vibrado, compactación ni curado simplifica en gran manera el proceso constructivo, pues una vez descargado directamente del camión al punto de descarga, el material cubrirá hasta los lugares mas inaccesibles exactamente como lo haría un líquido que llena a su totalidad el elemento que lo contiene. Esto representa facilidad, velocidad, limpieza y reducción de personal; comparado con el método tradicional de compactar por capas suelos granulares.

5.1 Rellenos estructurales

Con un diseño adecuado se pueden utilizar el Relleno Fluido para soportar edificaciones de tres a cuatro niveles con excelentes resultados, esta experiencia se vivió en la ciudad de México, en donde el cambiar el proceso tradicional de compactar capas de suelo cemento se logró reducir la ejecución del proyecto de 2.5 meses a 1.5 semanas.

Otra aplicación de esta clase, es el relleno que se debe efectuar después que se ha terminado el levantado o montaje de muros que quedan debajo del

nivel de las propiedades vecinas, esto es típico de observar en la edificación de edificios con sótanos. Estos muros es necesario impermeabilizarlos por el lado exterior para obtener una protección correcta y efectiva, después de estas tareas generalmente es necesario amplia la zanja donde se trabajó (siempre que las colindancias lo permitan). Un ejemplo se presenta en la figura No.21, aquí se aprecia como se tuvo que ensanchar el zanjeado para poder trabajar tanto en la impermeabilización como en la compactación del relleno.

Hoy en día existen aditivos que pueden ayudar a impermeabilizar integralmente el relleno Fluido, de esta manera se combate de una forma más efectiva y económica la humedad que pueda atacar a la estructura.

5.2 Rellenos de aislamiento

En el medio esta aplicación se utiliza comúnmente cuando se quiere reducir la temperatura que los rayos del sol producen sobre las losas de concreto, se puede también aprovechar este procedimiento y dar los declives a los niveles de la losa para que el agua de lluvia no se estanque y corra hacia las bajadas de agua. Rellenos fluidos con buen contenido de aire harán que la mezcla sea liviana, sin aplicando peso en exceso y por ser un material poroso es un buen aislante de la temperatura.

Figura 22
Losa con aislamiento y bajadas de agua



Figura 23
Losa nivelada con relleno fluido con ayuda equipo láser



En las figuras 22 y 23 se muestran dos formas diferentes de nivelar las pendientes requeridas del relleno fluido; la figura 22 muestra la forma tradicional de hacer pendientes o “pañuelos” para que las losas tengan una adecuada pendiente para el drenaje del agua. La figura 23 muestra la nivelación del relleno fluido con ayuda de equipo mas moderno, un nivel láser envía ondas a la máquina niveladora que se desplaza por el área dando una nivelación uniforme a la losa, pudiendo ser plana o con pendiente, según la instrucción que se le de al nivel.

5.3 Bases para pavimento

Las mezclas de rellenos fluidos pueden ser utilizadas como base de pavimento o sub-bases. La mezcla puede ser colocadas directamente desde el camión mezclador o camión de volteo, para que el relleno respete los niveles y cotas deseadas se deben de colocar formaletas que sirvan como molde y guía (ver Figura No.24) estas deben de ser colocadas con la guía de equipo topográfico. Para el diseño del curso de las bases bajo pavimentos flexibles, existen coeficientes estructurales para bases creadas con productos que contengan cemento, estos datos fueron obtenidos en varios estados de la Unión

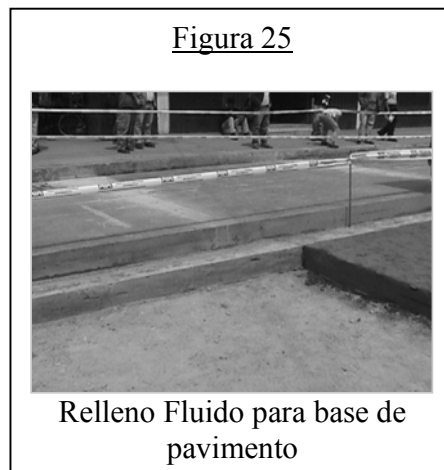
Americana, el coeficiente estructural de una capa de relleno fluido podría estimarse que va desde los 0.16 hasta los 0.28 para fuerzas de compresión desde los 28 kg. / cm² (400 psi) hasta los 84 kg. / cm² (1200 psi).



Se requiere de un buen sistema de drenaje que incluya bordillos, alcantarillas, cunetas, desagües, etc. y un pavimento adecuado de buena calidad. Daños por congelamiento se podrían presentar afectando la durabilidad, si el material estuviera saturado de agua y se presentarían condiciones de congelación.

Siempre se requiere aplicar una capa de rodadura (asfalto o concreto) a los rellenos fluidos y estos no se pueden usar como capa de rodadura, debido a su pobre resistencia al desgaste. Mayor información respecto a los materiales para bases de pavimentos puede consultarse en la ACI 325 “Guía para el Diseño de Bases y Hombros para Pavimentos de Concreto”.

En la figura 25 se observa como es posible colocar el pavimento de concreto sobre el Relleno Fluido y seguir trabajando sin complicaciones en el carril adenaño para un ágil avance de la obra,



Hay que recordar que con el método tradicional, es necesaria la presencia de equipo de compactación, este equipo produce vibraciones y estas producen grietas en los pavimentos de concreto recién colocados. Otra bondad que diferencia a los rellenos fluidos de las bases granulares compactadas, es que no sufren de asentamientos posteriores. Por estas dos últimas características mencionadas y la velocidad a la que puede aplicarle este método de construcción en los proyectos de pavimentación son características que puede pesar a la hora de decidir que tipo de base se usara en el proyecto, si el tiempo es determinante por las fechas de entrega del proyecto el Relleno Fluido es la mejor alternativa.

Para este uso se pueden diseñar mezclas con resistencias entre 25 a 30 Kg/cm^2 (360 a 430 PSI aprox.), aunque se han diseñado mezclas de 50 Kg/cm^2 (714 PSI) estas tienden a comportarse mas como un concreto, requieren de ayudas mecánicas para su colocación y no son económicas y aunque pueden

ganar mejores resistencias a mas temprana edad; si este requisito no es indispensable se recomienda no exceder los 30 Kg/cm^2 (43 psi).

Las bases hechas con rellenos fluidos distribuyen las cargas en áreas mas amplias y si trabajan en conjunto con un Pavimento Rígido como el de concreto, la fuerza se distribuye en un área aun menor, disminuyendo la profundidad del bulbo de presiones, las figuras 26, 27 y 28 buscan explicar estas diferencias de una forma gráfica aunque no tengan una representación a escala.

Figura 26

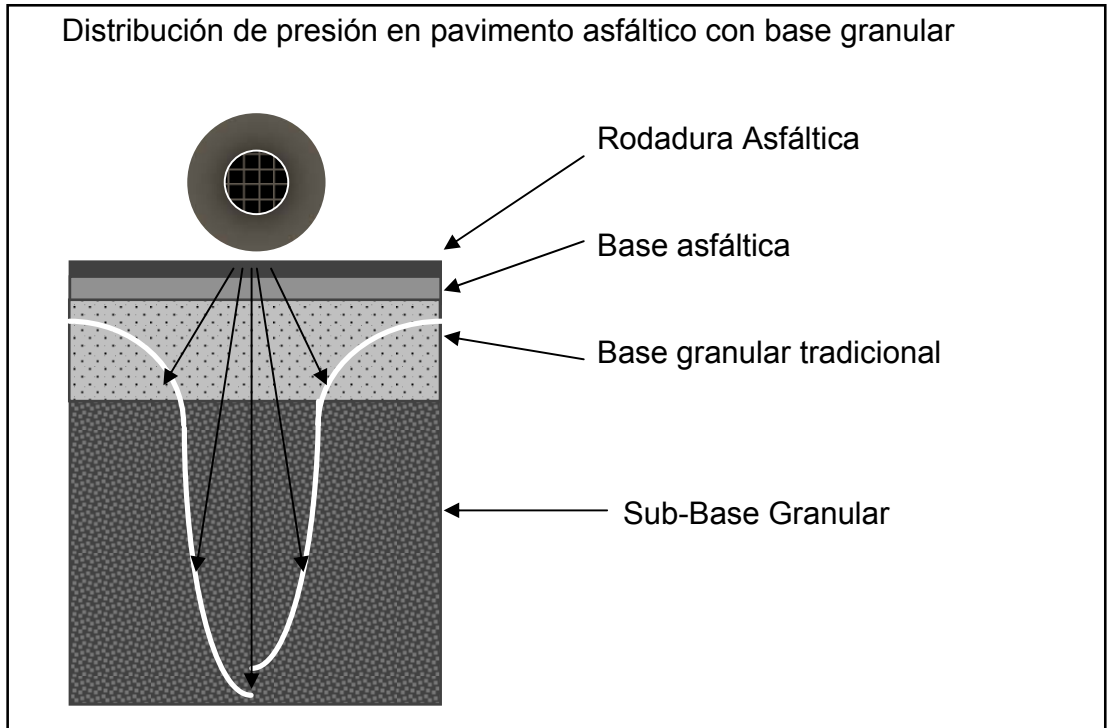
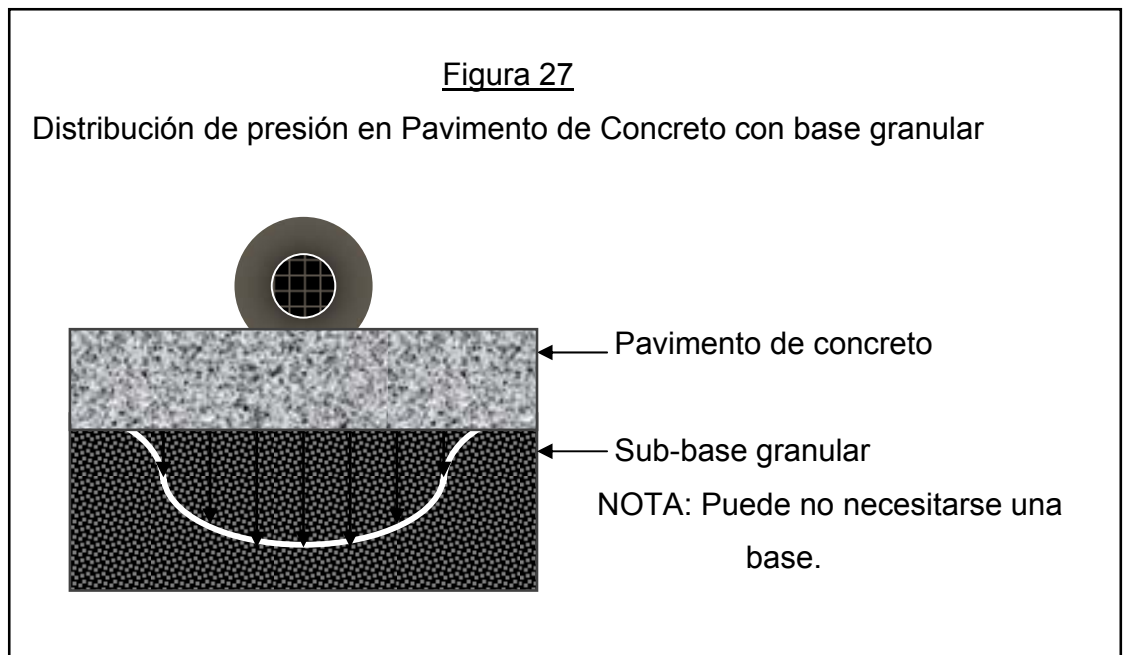
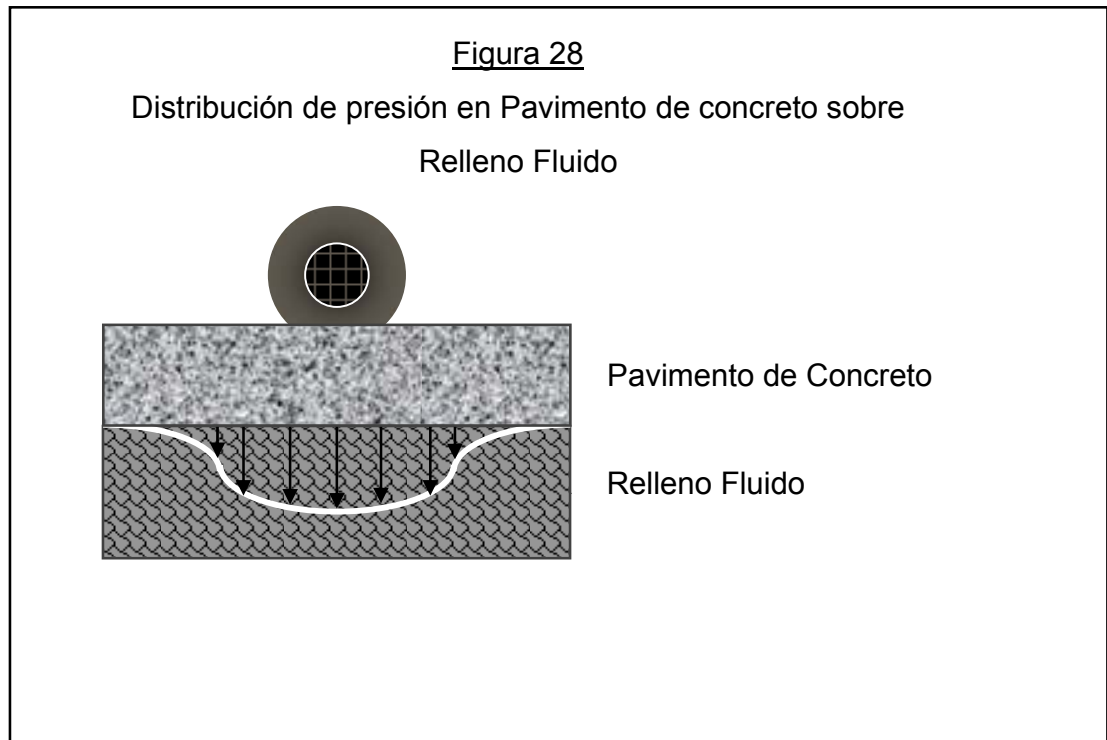


Figura 27





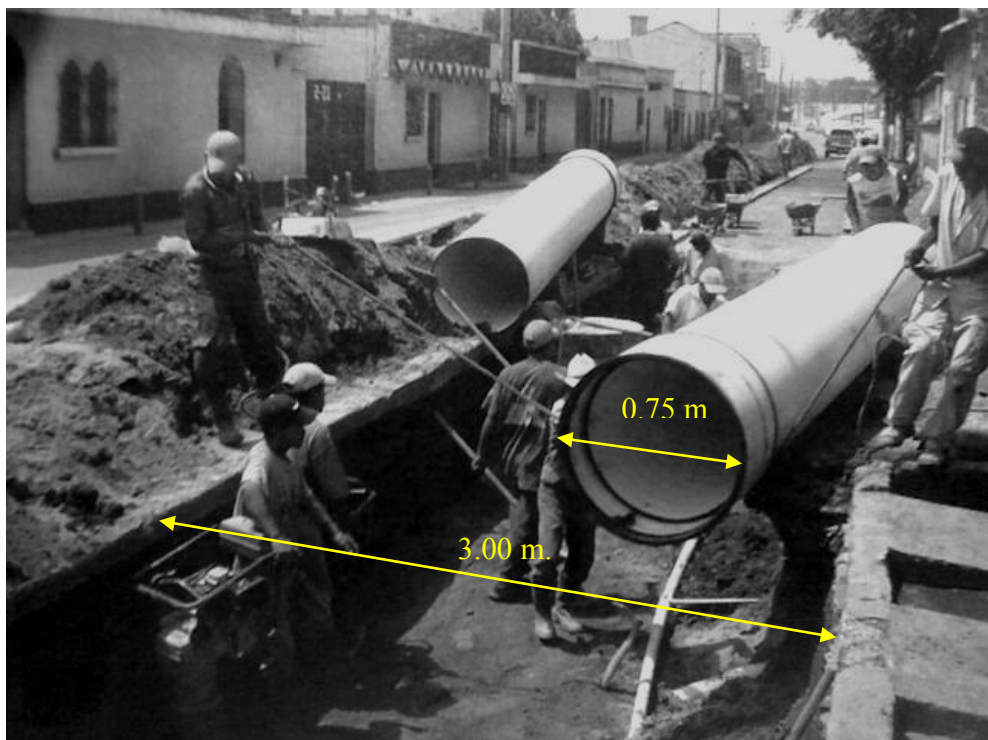
5.4 Encamamiento de conductos

Esta es una de las principales aplicaciones de los rellenos fluidos en esta aplicación es notable lo eficiente que este método de relleno de zanjas puede ser, observe el trabajo que ilustra la figura 29, compare el ancho de la zanja con el diámetro de la tubería, la porción de la calle que fue tomada para hacer la canalización del drenaje y se dejó de utilizar la calle completa inhabilitada para realizar el trabajo; también fue necesario excavar con cuidado ya que la excavación descubrió tubería del servicio de agua potable.

Ahora considere el costo de demoler en concreto existente, el tiempo (mano de obra) que esta actividad necesita y el costo que se emplearía en reponer el concreto.

Con la utilización del relleno fluido se reducen considerablemente el ancho de la zanja o trinchera, solo es necesario dar un margen de 5 a 10 cm. por lado al diámetro de la tubería, esto se debe a que el espacio extra para colocar la tubería o para introducir el equipo de compactación no es necesario.

Figura 29
Introducción de drenajes



Fuente: Memoria de labores 2006, Municipalidad de Villa Nueva

El relleno fluido como material trabaja mejor que una base compactada por medios mecánicos aunque solo cubra los 5 ó 10 cm. a los lados la tubería.

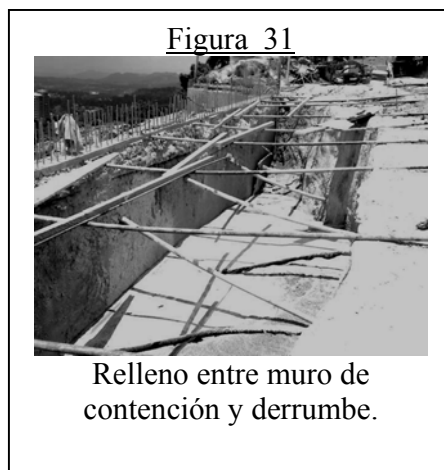
Talvez esta ventaja se puede apreciar mejor cuando el diámetro de la tubería no es tan grande como el de la Figura 29. Observe el encajamiento de la tubería en la Figura 30 el ancho de la zanja es de 30 cm. y la profundidad debajo del concreto es de 20 cm esto genera un volumen de 0.06 m^3 por metro lineal de zanja, esto representa rapidez para realizar el trabajo en un área de mucho tráfico industrial y minimiza los costos del trabajo. De costos específicamente se trata en el capítulo 6 donde se menciona esta aplicación como ejemplo.



Es importante destacar la distancia que a recorrido el material contemplando el punto de descarga, por ser un área plana es necesario ayudar al material a correr, después de esto el mismo material tiende a auto nivelarse, permitiendo que la fundición para reponer el concreto demolido en el ancho de la zanja, sea colocado al siguiente día.

5.5 Relleno de agujeros

La aplicación de los Rellenos fluidos en este tema es muy interesante, ya que por sus características de fluidez y auto nivelación convierten a este material en una alternativa eficaz cuando el acceso a es difícil o peligroso para el personal operativo.



En el caso que se observa en las figuras 31 y 32 se utilizó un relleno fluido para rellenar un hundimiento ocurrido en el km. 9.5 de la carretera al El Salvador.

Para estabilizar el talud primero se construyó un muro de contención que se logró llegar a la altura de la cinta asfáltica, posteriormente seguía efectuar el relleno entre el terreno y el muro, pero se presentaron problemas de presencia de agua por nivel freático, problema que originó el hundimiento. En este punto es riesgoso poner personal a trabajar dentro del derrumbe por lo inestable del terreno. Se decidió usar un relleno fluido por sus propiedades de auto nivelación y fluidez, permitiendo que el relleno se realice sin arriesgar la vida del personal operativo. En ambientes como este donde hay posibilidades de presencia de agua es necesario hacer un drenaje para desviar el agua que brota de la tierra, y aunque el relleno fluido presta un buen servicio en condiciones de humedad la presencia de agua corriente puede erosionar el material.

6. ANÁLISIS DE COSTOS

Siempre que se considere emplear un relleno fluido como una alternativa para completar un proceso constructivo es necesario hacer una comparación económica, esta no se debe de limitar a considerar los costos de los materiales y los tiempos de mano de obra; también deben considerarse los tiempos de ejecución entre ambos métodos ya que el tiempo que puede pasar una calle sin ser transitada, una bodega sin ser utilizada, el tiempo que se suspendan actividades en una empresa, hospital o comunidad puede ser el punto mas importante para realizar el trabajo que el costo mismo.

El primer ejemplo a evaluar será el trabajo que se representa en la Figura 29, a continuación se presentan tres tipos de presupuestos para este trabajo, en el primer presupuesto se presentan los datos que originalmente presentó el trabajo por haberlo ejecutado levantando la mitad de la calle (3.00 m de ancho) el método tradicional, en el siguiente cuadro se presenta el presupuesto del mismo trabajo pero realizado con las recomendaciones ideales para ser ejecutado con un relleno fluido, observe que el mayor cambio en el trabajo es el ancho de la zanja y esto no solo reduce los trabajos de demolición y excavación, también reduce significativamente los días en los que el trabajo es ejecutado. Como dato de estudio se incluye un tercer presupuesto en el que se considera hacer el trabajo de zanqueo con los mismos tres metros de ancho, pero usando el relleno fluido para volver a conformar las zanjas; considere que aunque el costo se eleva combinando los dos métodos, el tiempo de ejecución se reduce considerablemente. Considere que la calle tiene un trafico alto y que es muy importante re habilitar el paso vehicular a la brevedad, y que cada día

que esta vía no este disponible provocara gastos en atrasos y gastos de combustible.

Tabla XV.

INTRODUCCIÓN DE DRENAJES EN VILLA NUEVA
Método Tradicional

ALCANCE

Introducción de drenaje de 75 cm. de diámetro para aguas negras para un tramo de 100 metros lineales la calle actualmente posee trafico alto en horas pico y tiene un pavimento de concreto de 15 cm. de espesor

DIMENSIONES			
Ancho de Zanja	3.00	m	Dato de diseño
Profundidad de Zanja	1.10	m	Dato fijo
Longitud de zanja	100.00	m	Dato fijo

DEMOLICION DE PAVIMENTO						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Trazo	100	m	1 albañil 2 ayudantes	0.25	Q 1.70	Q 170.00
Corte para demolición	400.00	m	1 corte de 3 m cada 0.75	1	Q 6.00	Q 2,400.00
Volumen de demolición	45	m ³	3 albañiles y 6 ayudantes	4	Q 107.56	Q 4,840.00
Acarreo de ripio	58.5	m ³	1.3 factor de inchamiento	4	Q 69.00	Q 4,036.50
Cargador Frontal	4	días	Jornada de 8 horas	4	Q 250.00	Q 8,000.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	5	Q 225.00	Q 450.00
						Q 19,896.50

EXCAVACIÓN DE ZANJA						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Mano de Obra	330	m ³	3 albañiles y 6 ayudantes	14	Q 21.64	Q 7,140.00
Herramientas varias	14	días	Palas, carretas, etc.	14	Q 100.00	Q 1,400.00
Plomero	14	días	Para cubrir emergencias	14	Q 100.00	Q 1,400.00
Acarreo de ripio	429	m ³	1.3 factor de inchamiento	14	Q 69.00	Q 29,601.00
Cargador Frontal	14	días	Jornada de 8 horas	14	Q 250.00	Q 28,000.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	14	Q 630.00	Q 1,260.00
						Q 68,801.00

COLOCACIÓN DE DRENAJE						
SE OMITIESTE PASO POR SER EL MISMO EN AMBOS CASOS						

RELLENO Y COMPACTACION DE ZANJA						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Selecto para relleno	371.8	m ³	1.3 factor de inchamiento	14	Q 45.00	Q 16,731.00
Mano de Obra	14	días	3 albañiles y 6 ayudantes	14	Q 510.00	Q 7,140.00
Alquiler bailarinas	3	Unidad	1 por cada grupo	14	Q 125.00	Q 5,250.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	14	Q 630.00	Q 1,260.00
						Q 30,381.00

REPOSICIÓN DE PAVIMENTO						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Colocación de formaleta	100	m		1	Q 215.00	Q 215.00
Formaleta y equipo	100	m	Formaleta en alquiler	2	Q 2.00	Q 400.00
Concreto	49.5	m ³	1.1 factor de desperdicio	0.5	Q 730.00	Q 36,135.00
Colocación	300	m ²		0.5	Q 12.15	Q 3,645.00
Curado	300	m ²		0.5	Q 6.00	Q 1,800.00
Corte	220	m	Cotes cada 2.50	0.5	Q 4.50	Q 990.00
Sello	220	m	Sellar a los 28 días	1	Q 12.00	Q 2,640.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	3	Q 135.00	Q 270.00
						Q 46,095.00

RESUMEN

Días laborados	22
Días con cierre de calle	28
Costo Total	Q165,173.50
Costo Unitario por metro lineal de zanja	Q1,651.74

Tabla XVI.

INTRODUCCIÓN DE DRENAJES EN VILLA NUEVA

Relleno fluido con zanja a 1.00 m. de ancho

ALCANCE

Introducción de drenaje de 75 cm. de diámetro para aguas negras para un tramo de 100 metros lineales la calle actualmente posee trafico alto en horas pico y tiene un pavimento de concreto de 15 cm. de espesor

DIMENSIONES			
Ancho de Zanja	1.00	m	Dato de diseño
Profundidad de Zanja	1.10	m	Dato fijo
Longitud de zanja	100.00	m	Dato fijo

DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Trazo	100	m	1 albañil 2 ayudantes	0.25	Q 1.70	Q 170.00
Corte para demolición	233.33	m	1 corte de 3 m cada 0.75	1	Q 6.00	Q 1,400.00
Volumen de demolición	15	m ³	3 albañiles y 6 ayudantes	1.33	Q 107.29	Q 1,609.30
Acarreo de ripio	19.5	m ³	1.3 factor de inchamiento	1.33	Q 69.00	Q 1,345.50
Cargador Frontal	1.33	días	Jornada de 8 horas	1.33	Q 250.00	Q 2,660.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	2	Q 90.00	Q 180.00
						Q 7,364.80

EXCAVACIÓN DE ZANJA						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Mano de Obra	110	m ³	3 albañiles y 6 ayudantes	5.66	Q 26.24	Q 2,886.60
Herramientas varias	5.66	días	Palas, carretas, etc.	5.66	Q 100.00	Q 566.00
Plomero	5.66	días	Para cubrir emergencias	5.66	Q 100.00	Q 566.00
Acarreo de ripio	143	m ³	1.3 factor de inchamiento	5.66	Q 69.00	Q 9,867.00
Cargador Frontal	5.66	días	Jornada de 8 horas	5.66	Q 250.00	Q 11,320.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	5.66	Q 254.70	Q 509.40
						Q 25,715.00

COLOCACIÓN DE DRENAJE						
SE OMITE ESTE PASO POR SER EL MISMO COSTO EN AMBOS CASOS						

RELLENO DE ZANJA						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Relleno Fluido	72.6	m ³	1.1 factor de desperdicio	1	Q 450.00	Q 32,670.00
Mano de Obra	1	días	1 albañiles y 2 ayudantes	1	Q 170.00	Q 170.00
Alquiler bailarinas	0	Unidad	1 por cada grupo	0	Q 125.00	Q -
Banderilleros	1	Ayudante	1 por entrada de calle	1	Q 45.00	Q 45.00
						Q 32,885.00

REPOSICIÓN DE PAVIMENTO						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Colocación de formaleta	100	m		1	Q 170.00	Q 170.00
Formaleta y equipo	100	m	Formaleta en alquiler	2	Q 2.00	Q 400.00
Concreto	16.5	m ³	1.1 factor de desperdicio	0.25	Q 730.00	Q 12,045.00
Colocación	100	m ²	Vibrado y emparejado	0.25	Q 12.15	Q 1,215.00
Curado	100	m ²	producto y aplicación	0.25	Q 6.00	Q 600.00
Corte	240	m	Cotes cada 2.50	0.25	Q 4.50	Q 1,080.00
Sello	240	m	Sellar a los 28 días	1	Q 12.00	Q 2,880.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	3	Q 135.00	Q 270.00
						Q 18,660.00

RESUMEN

Días laborados	12
Días con cierre de calle	14
Costo Total	Q84,624.80
Costo Unitario por metro lineal de zanja	Q846.25

Tabla XVII.

INTRODUCCIÓN DE DRENAJES EN VILLA NUEVA

Relleno fluido con zanja a 3.00 m. de ancho

ALCANCE

Introducción de drenaje de 75 cm. de diámetro para aguas negras para un tramo de 100 metros lineales la calle actualmente posee trafico alto en horas pico y tiene un pavimento de concreto de 15 cm. de espesor

DIMENSIONES			
Ancho de Zanja	3.00	m	Dato de diseño
Profundidad de Zanja	1.10	m	Dato fijo
Longitud de zanja	100.00	m	Dato fijo

DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Trazo	500	m	1 albañil 2 ayudantes	0.25	Q 0.34	Q 170.00
Corte para demolición	500.00	m	1 corte de 3 m cada 0.75	1	Q 6.00	Q 3,000.00
Volumen de demolición	45	m ³	3 albañiles y 6 ayudantes	4	Q 107.56	Q 4,840.00
Acarreo de ripio	58.5	m ³	1.3 factor de inchamiento	4	Q 69.00	Q 4,036.50
Cargador Frontal	4	días	Jornada de 8 horas	4	Q 250.00	Q 8,000.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	2	Q 90.00	Q 180.00
				4		Q 20,226.50

EXCAVACIÓN DE ZANJA						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Mano de Obra	330	m ³	3 albañiles y 6 ayudantes	14	Q 21.64	Q 7,140.00
Herramientas varias	14	días	Palas, carretas, etc.	14	Q 100.00	Q 1,400.00
Plomero	14	días	Para cubrir emergencias	14	Q 100.00	Q 1,400.00
Acarreo de ripio	429	m ³	1.3 factor de inchamiento	14	Q 69.00	Q 29,601.00
Cargador Frontal	5.66	días	Jornada de 8 horas	14	Q 250.00	Q 11,320.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	14	Q 630.00	Q 1,260.00
				14		Q 52,121.00

COLOCACIÓN DE DRENAJE						
SE OMITIÓ ESTE PASO POR SER EL MISMO COSTO EN AMBOS CASOS						

RELLENO DE ZANJA						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Relleno Fluido	286	m ³	1.1 factor de desperdicio	1	Q 450.00	Q 128,700.00
Mano de Obra	2	días	1 albañil y 2 ayudantes	2	Q 170.00	Q 340.00
Alquiler bailarinas	0	Unidad	1 por cada grupo	0	Q 125.00	Q -
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	2	Q 90.00	Q 180.00
				2		Q 129,220.00

REPOSICIÓN DE PAVIMENTO						
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLES	TIEMPO EN DÍAS	COSTO UNITARIO	COSTO
Colocación de formaleta	100	m		1	Q 170.00	Q 170.00
Formaleta y equipo	100	m	Formaleta en alquiler	2	Q 2.00	Q 400.00
Concreto	49.5	m ³	1.1 factor de desperdicio	1	Q 730.00	Q 36,135.00
Colocación	300	m ²	Vibrado y emparejado	1	Q 12.15	Q 3,645.00
Curado	300	m ²	producto y aplicación	1	Q 6.00	Q 1,800.00
Corte	320	m	Cotes cada 2.50	0.25	Q 4.50	Q 1,440.00
Sello	320	m	Sellar a los 28 días	1	Q 12.00	Q 3,840.00
Banderilleros	2	Ayudante	1 por entrada de calle	3	Q 135.00	Q 270.00
				3		Q 47,700.00

RESUMEN

Días laborados	23
Días con cierre de calle	30
Costo Total	Q 249,267.50
Costo Unitario por metro lineal de zanja	Q2,492.68

Gráfico 1. Comparación de costos

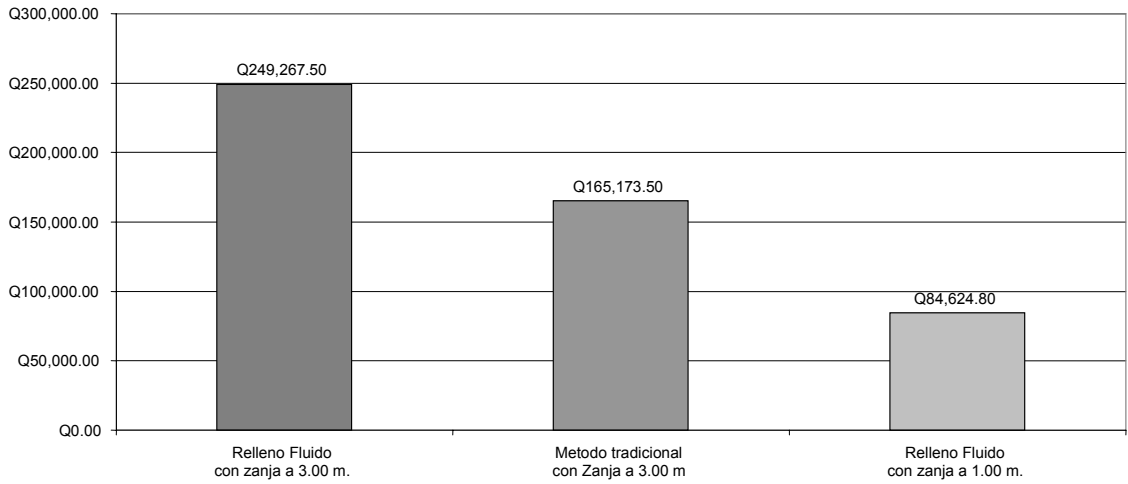
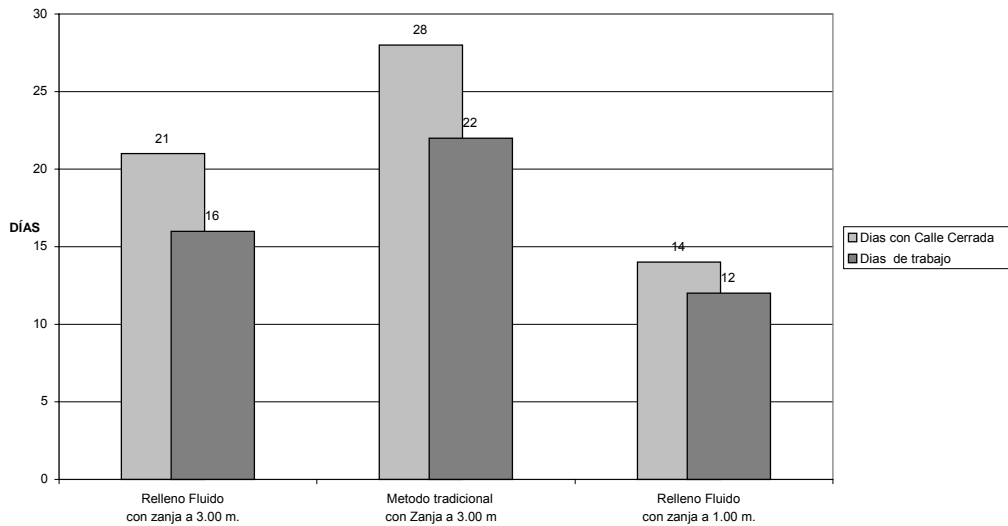


Gráfico 2. Comparación de días de trabajo

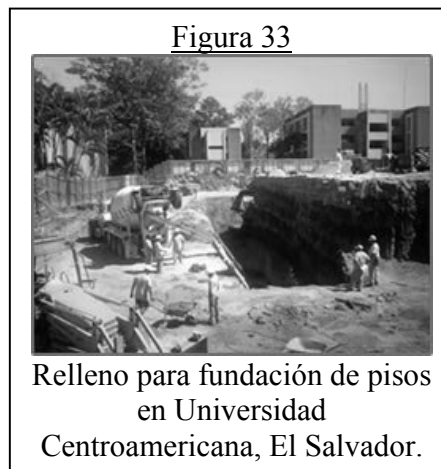


7. EXPERIENCIAS

7.1 Extranjeras

En países vecinos como El Salvador y México se ha utilizado el “Lodocreto” como se le conoce en El Salvador para la preparación de bases para pavimentos.

En la construcción de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas se utilizaron 1,500 m³ de relleno fluido, este fue utilizado para fundación de pisos.



También en este país se utilizó el relleno fluido para relleno de zanjas, relleno de cavidades, rellenos estructurales, rellenos aislantes térmicos, bases para pavimentos y para controlar la erosión.

En control de erosión es posible utilizar este material debido a que en ensayos comparativos han demostrado que el relleno fluido resiste mejor la erosión que un suelo arenoso o arcilloso; cuando estos materiales fueron sometidos a un flujo de agua a 51.8 cm. /s el relleno fluido demostró tener mejor comportamiento tanto en el material perdido como en material suspendido.

Lastimosamente a pesar del amplio uso de este material en El Salvador no se encontró documentación sobre los trabajos realizados.

En México el uso de este material se hace desde varios años, en un artículo de Guillermo Cervantes publicado en la revista Portada “Relleno Fluido, un Suelo Líquido”, documenta varias aplicaciones que se han utilizado con mucho éxito en este país, de dicho artículo se mencionan las siguientes experiencias:

- Ciudad de México: Se utilizó este material como Relleno Estructural, para soportar edificaciones de tres y cuatro niveles, para hacer este trabajo tradicionalmente se contemplaba hacer un relleno por capas con suelo cemento; al hacer el cambio de método se logró reducir el tiempo de ejecución del relleno 2.5 meses a 1.5 semanas.
- Taxco, Guerrero: Estabilización de talud, se construyeron terrazas para estabilizar un talud, proceso que se realizó en varias capas, se aprovecharon las propiedades mecánicas y constructivas del relleno fluido y se usó un relleno fluido ciclópeo, aprovechando el estado plástico de relleno recién colocado se le agregó piedra bola o piedra de río de canto rodado sirviendo como relleno y aportando mayor cuerpo al

relleno, en este método el relleno fluido prácticamente funciona como material cementante en la pega de las piedras que se agregan al relleno.

- México, DF, Edificio Cemex: Relleno de cavernas, la mejor ubicación para construir un nuevo edificio administrativo era sobre un área donde existían cavernas resultantes de la extracción minera de arena, se aprovecharon las características de baja contracción, así como la alta fluidez y resistencia mecánica del relleno fluido.
- Celaya, Guanajuato: Bacheo de calles, el uso del relleno fluido como base de soporte para el bacheo de calles de pavimento asfáltico es un uso que hace bastante competitivo el uso de este material comparado con el uso del relleno granular tradicional, aquí se gana tiempo y se reducen los problemas de almacenamiento y transporte de materiales para el material que se usará en el bacheo, recordando que esta actividad se hace en calles en uso y que por lo general tiene alta densidad de tráfico. Se aprovecharon las propiedades de auto compactación y el hecho de no presentar asentamientos posteriores a su fraguado, dejando una reparación de buena calidad.
- Acapulco, Guerrero: Reparación de losas de pista y plataforma en aeropuerto. La velocidad de trabajo en una Terminal aérea es determinante, el no tener funcionando áreas por mantenimiento en un aeropuerto representa pérdidas tan altas que se miden en costo por hora. El uso de un relleno fluido de fraguado rápido y desarrollo de resistencia como base de pavimento a edades tempranas para las losas reparadas hizo posible hacer este trabajo en menor tiempo, con menos equipo circulando en pista y de forma más segura. El relleno fluido

combinado con un concreto especial permitió la puesta en operación del pavimento en cuestión de horas.

Figura 34



Bacheo en aeropuerto de Acapulco, México

- Ciudad de México y Tijuana: Actualmente se emplea el relleno fluido para dar pendientes en las losas de azotea, posteriormente se puede aplicar el impermeabilizante directamente sobre el relleno fluido. En esta aplicación se aprovechan las características de conductividad térmica haciendo ambientes mas frescos en el interior de las viviendas y el peso liviano del relleno fluido.

Figura 35



Aislamiento térmico, Tijuana México

7.2 Nacionales

En Guatemala el uso de los rellenos fluidos esta creciendo cada día, esto se debe a las necesidades crecientes que este material a demostrado ser capaz de cumplir satisfactoriamente, el ambiente en la construcción guatemalteca es cada vez mas exigente en tiempos de entrega como en la eficiencia de utilización de los recursos, estar desactualizado en métodos de construcción o en la tecnología puede representar a una empresa de construcción perder licitaciones por tiempos de entrega, sostenimientos de calidad de obra o por no cumplir con los tiempos de ejecución requeridos. Este ambiente a permitido tanto a proveedores de concreto premezclado como a consumidores utilizar este material; a continuación se relatan algunas aplicaciones que ha tenido este material en Guatemala:

7.2.1 Relleno en derrumbe de talud

En el kilómetro 10 de la carretera que conduce de la ciudad de Guatemala a El Salvador se produjo un derrumbe a la orilla de dicha carretera, esta vía es de vital importancia para los usuarios ya que desde hace 10 años es el área con más proyectos habitacionales nuevos en la región metropolitana, aunque el deslave no afectó la carretera creó una condición insegura para todos los vehículos que por allí transitan.

Esto hizo que se iniciaran de inmediato los trabajos para recuperar y estabilizar el terreno, para lo cual se construyó un muro de contención apoyado en pilotes que fueron asentados en estratos de roca firme; al terminar de construir este elemento se necesitaba rellenar el espacio que quedó entre el talud inestable y el nuevo muro de contención, siendo peligroso para el personal operativo hacerlo de la forma tradicional con un material granular compactado con equipo que produce vibración.

Se decidió a usar un relleno fluido con calidad de base con una resistencia de 35.16 kg/cm^2 (500 psi) este relleno se fue colocando por capas, por tener una forma irregular no fue posible precisar un volumen de relleno, así que se fundían diariamente 18 m^3 , requiriéndose al final un total de 300 m^3 para llegar a un nivel de relleno de 0.50 debajo del nivel del pavimento existente. Imágenes de este trabajo se pueden ver en las figuras 31, 32 y 36.

Figura 36



Relleno en derrumbe del km. 9.5 a El Salvador

7.2.2 Relleno de derrumbes en perforación de pozos

En Guatemala el relleno fluido ha sido utilizado con mucho éxito como material de relleno de estratos con cavernas en la perforación de pozos.

La empresa líder en Guatemala para la perforación de pozos que abastecerán de agua potable para consumo humano o a la industria, utiliza perforadoras de gran profundidad para poder llegar al nivel subterráneo donde se encuentra el preciado líquido.

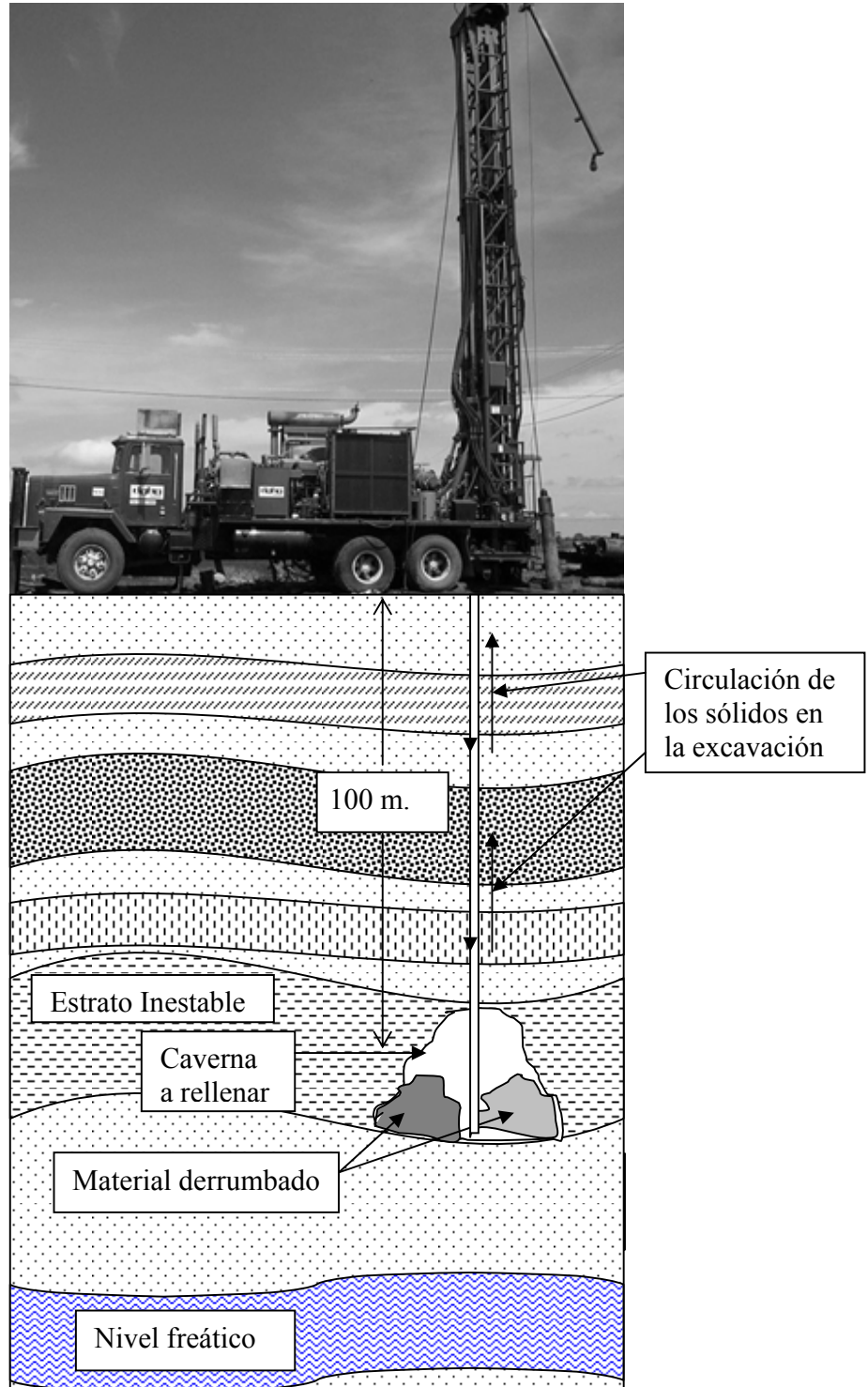
Estas perforadoras usan la recirculación de sólidos para hacer las perforaciones, conforme una broca especial que se coloca en la punta de la tubería de excavación va perforando el pozo con un movimiento circular similar al de un barreno, por la tubería se inyecta agua a gran presión que al mezclarse con la tierra del suelo perforado por la broca forma lodos, estos lodos son expulsados hacia fuera debido a la presión con la que es inyectada el agua

en el pozo, así se produce el flujo de circulación de sólidos mientras se profundiza la perforación.

El problema se presenta cuando la perforación se encuentra con un estrato de suelo inestable o con cavernas subterráneas que hacen que el agua que llega a presión se libere en la caverna y rompa la recirculación de sólidos. Este problema se ha corregido dejando caer por gravedad el relleno fluido desde la abertura del pozo, recorriendo profundidades de hasta 100 metros. Gracias a que el material cuenta con una gran fluidez puede recorrer estas distancias sin sufrir segregaciones y la caverna es rellenada con un material sólido.

Al quedar la caverna llenada con el relleno fluido, la perforación es reanudada al día siguiente y gracias a que este material es re-excavable la perforación del pozo llega hasta el estrato donde se encuentra el agua.

Figura 37. Perfil de la excavación de un pozo con cavidad



7.2.3 Relleno de derrumbe en Barrio San Antonio

El 22 de febrero del 2007 se presentó en la 24 calle y 24 avenida de la zona 6 de la ciudad de Guatemala un suceso particularmente extraño, vecinos del Barrio San Antonio despertaron con retumbos de tierra y fuertes temblores, al salir de sus viviendas se dieron cuenta que una parte de la calle había desaparecido, llevándose con ella dos casas y la vida de dos personas.

Investigaciones posteriores concluyeron que la fuga de un drenaje subterráneo había socavado el terreno produciendo el derrumbe y dejando un agujero de 60.00 m. de diámetro en su base, 20.00 de diámetro a nivel de la calle y 65.00 m. de profundidad.

Figura 38



Imagen del Barrio San Antonio el 22 de febrero del 2007

Las causas específicas que dieron origen a este fenómeno no son el tema de este trabajo de graduación, pero en definitiva el uso de Relleno Fluido es la solución más viable debido a las condiciones de trabajo; para el mes de Julio del mismo año ya se tenía a una empresa encargada de realizar el relleno de este hundimiento.

El proceso que se siguió se describe en el artículo de la figura 39 y el mismo contempla una cantidad de 68,000 metros cúbicos de relleno Fluido o “lodocreto” como se le nombra en dicho artículo.

Figura 39. Artículo publicado en Prensa Libre, sobre el relleno en el Barrio San Antonio

Proceso para rellenar el hundimiento en zona 6

Esta semana comenzaron los trabajos de perforación de cuatro túneles en las paredes del hundimiento en el barrio San Antonio, zona 6, para poder rellenar el área afectada, que deberá estar a nivel del suelo a principios de octubre.

A través de los túneles se inyectarán unos 65 mil metros cúbicos de lodocreto para cubrir el espacio del hundimiento.

Los túneles evitarán que la maquinaria se instale cerca de la orilla del agujero y que puedan producirse otros derrumbes.

En la primera semana de agosto comenzarán a rellenar el hundimiento, dijo Sergio Aycinena, ingeniero de la empresa Geocimisa, encargada de la obra.

Desvío de agua

Antes de esta operación procederán a retirar toda el agua que está en el fondo, por lo cual instalarán un sistema de tuberías para desviar el caudal que estaba perforando la base del agujero.

A principios de octubre podría estar concluido el proceso de relleno del hundimiento.

La municipalidad capitalina y el Ministerio de Comunicaciones deberán definir el futuro uso de la superficie del agujero.

Paso a paso

Esta semana comenzó el proceso para rellenar el hundimiento en la zona 6, el cual deberá estar terminado en poco más de dos meses.

- 1 **Introducirán tuberías** para reencauzar el agua que se mantiene en el fondo del hundimiento. Esta labor tendría que estar concluida en 15 días.
- 2 **Perforarán cuatro túneles** de 50 metros de largo por 50 centímetros de diámetro y una inclinación de 45 a 60 grados, para introducir el lodocreto. Este trabajo deberá estar terminado la primera semana de agosto.
- 3 **Relleno del hoyo** con lodocreto, que deberá estar completo en dos meses más.



Los operarios deberán canalizar de nuevo el agua que hay en el fondo, antes de rellenar el agujero.

Foto Prensa Libre: ARCHIVO



50 mts.

Colectores de agua

Candela Ribblock

Túneles por donde se inyectará el lodocreto.

Tubos que se instalarán

Colector de desfogue

Se usarán aproximadamente 65 mil metros cúbicos de lodocreto.

Lodocreto es una combinación de lodo y concreto.

Infografía Prensa Libre: VÍCTOR MANSILLA

La logística para llevar a cabo este relleno fue práctica, se ubicó una planta dosificadora de concreto con mezclador central a unos 500 m. del derrumbe en un terreno con un banco de Selecto, con material suficiente para hacer los miles de metros cúbicos de relleno fluido que el proyecto demandaba.

Figura 40



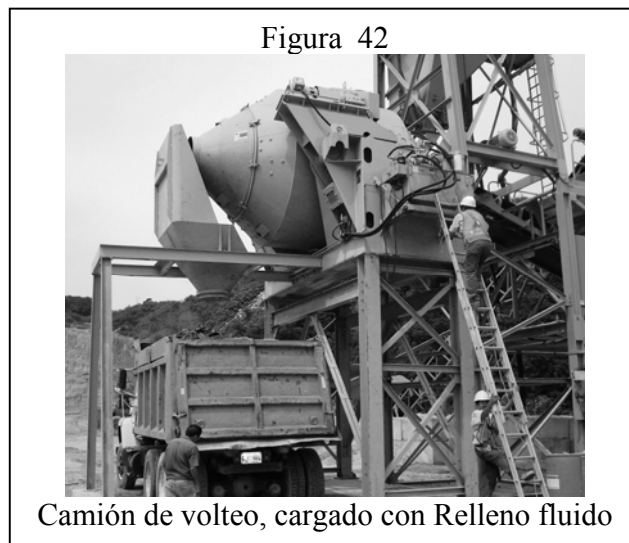
Planta ubicada en Barrio San Antonio

Figura 41



Banco de Selecto para Relleno Fluido en hundimiento del Barrio San Antonio

Para el transporte de relleno se usaron camiones de volteo, esto se pudo lograr gracias al mezclador central de la planta dosificadora y la cercanía de la ubicación de la planta al lugar del relleno, de ser esta distancia muy larga, la mezcla llegaría a obra segregada y no podría transportarse por camión de volteo sino en camión mezclador.



Para poder descargar los camiones de una forma rápida se prepararon puntos de descarga en forma de embudo conectados a tubería de PVC con un grado de inclinación de 45 °; debido a la fluidez con la que la mezcla era producida estas condiciones fueron suficientes para que la mezcla se drenara por la tubería y al salir de la misma cayera un promedio de 40.00 m hasta el fondo del agujero.

Figura 43

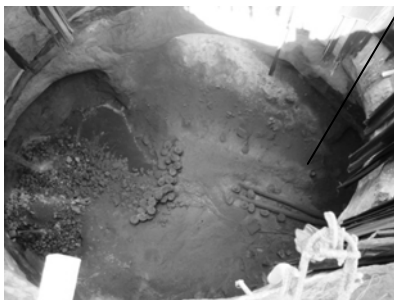
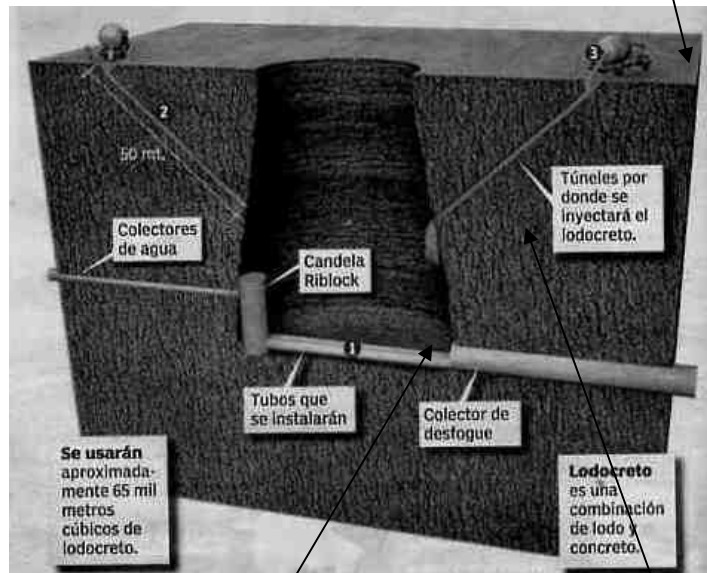
Diagrama del proceso del relleno en Barrio San Antonio



Banco y carga de materiales



Punto de descarga



Vista del fondo



Caída del Relleno fluido

La apariencia final del Barrio San Antonio se puede observar en la Figura 44, y también se muestran imágenes que muestran como el nivel del relleno fue subiendo hasta llegar al nivel que el suelo tenía antes del derrumbe. Es importante resaltar que después de varios meses de terminado el trabajo de relleno no se observaron asentamientos o subsidencia en el relleno, pese a tener 65.00 metros de profundidad.

Figura 44

Avance del nivel del relleno en el Barrio San Antonio



Vista final del relleno en el Barrio San Antonio

CONCLUSIONES

1. En Guatemala existen diversos materiales que pueden ser utilizados para elaborar Rellenos Fluidos, no pretendiendo limitar esta diversidad de materiales, clasificar el material a usar tomando como parámetro base que no contenga más de un 20 % de arcillas.
2. Cuando un relleno fluido usa mas de 127.50 Kg de cemento (3 sacos) o más, el costo de este material lo hace económicamente poco atractivo.
3. Si bien el costo de este material no es su atractivo principal, si lo es el tiempo de aplicación y su habilidad de llegar a rincones peligrosos o poco accesibles.
4. El empleo de materiales sobrantes de procesos industriales como cenizas volantes, cascajo, ripio, etcétera; convierte a los rellenos fluidos en un material ecológico que aprovecha estos materiales que son contaminantes del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Siempre evalúe hacer rellenos fluidos con los materiales que existan en el proyecto, como segunda opción analice el uso de materiales que estén próximos, siempre que el costo del acarreo no encarezca el costo total.
2. Ya sean materiales que se tenga referencia de haber sido usados anteriormente o no en la elaboración de rellenos fluidos, se recomienda hacer las pruebas mencionadas en este trabajo para evaluar su desempeño y el proporcionamiento rentable de sus componentes
3. Se sugiere antes de aplicar un relleno fluido en un proyecto hacer una comparación costo, beneficio y tiempo de aplicación con los métodos tradicionales para escoger la mejor opción, según la prioridad que de estas variables tenga el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Junta directiva capitulo Peruano. **ACI, Diseño y construcción de pavimentos y pisos de concreto:** Peru: Editorial univertario 2004, p 23
2. ACI Committee. **Controlled Low Strength Materials (CLSM):** American Concrete Institute: Farmington Hills 2000, p 68.
3. CLEM. Don A. **How the ready mixed concrete producer views fltable fill:** Colorado Ready Mixed Concrete Association Estado Unidos 1999: p 69.
4. CLEM. Don A. **Innovative uses of controlled low strength material (CLSM) in Colorado:** American Society for Testing and Materials Estados Unidos 1997. 1 – 45 p.
5. Comite ACI 304. **Guia para la medición, mezclado, transporte y colocación de concreto:** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México 1993.
6. Hitch, Jenny y otros. **Innovations in controlled Low-strength material (fltable Fill):** ASTM Inernacional, Estados Unidos 1993.
7. Londoño N. Cipriano A. **Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto:** Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Colombia 2006. p 78.
8. Mancilla Víctor. **Proceso para rellenar el hundimiento en zona 6:** Reportaje de Prensa Libre, jueves 26 de julio, Guatemala. P 6.
9. Sika. **Manual de productos Sika 2006 – 2007:** Sika Mexicana S. A. De C. V. México 2007. p 4.
10. Kosmatka Steven y otros. **Diseño y control de mezclas para concreto:** Pórtland Cement Association PCA. Llonois, Estados Unidos 2007.

ANEXO

Apéndice A: Hoja técnica de SikaLightcrete

Hoja Técnica
DCT-HT-1042-05-04
SikaLightcrete

SikaLightcrete®
Agente espumante líquido para rellenos fluidos.

Descripción
Aditivo líquido que actúa como agente espumante para elaborar concreto ligero y relleno fluido con densidad entre 1,2 y 1,8 ton/m³ según la dosificación utilizada y tipo de agregados empleados.

Usos

Para usos en rellenos

- Para morteros de nivelación o afinado de pisos de bajo peso previos a la colocación del acabado final.
- Relleno de zanjas y excavaciones sin requerir equipo de compactación o rellenos fluidos de densidad y resistencia controlada.
- Relleno de tuberías y tanques de almacenamiento enterrados de combustible en desuso.
- Como capas de soporte de bajo tráfico y áreas deportivas sobre suelos con baja capacidad portante.

Concreto o mortero con fines estructurales

- Elaboración de elementos prefabricados de bajo peso.
- Estructuras de bajo peso fundidas in situ con el fin de llevar a cabo ampliaciones a edificaciones.
- Revestimiento de estructuras de acero.

Ventajas

- Muy fácil dosificación dada su condición líquida y porque no requiere equipo adicional para generación de espuma.
- Baja densidad, en función de la dosificación usada.
- Gran estabilidad de la espuma.
- Inclusión de aire de hasta un 40% del volumen del concreto.
- Facilidad de colocación y transporte en obra dado su bajo peso.
- Menor presión sobre los moldes.
- Como consecuencia del alto porcentaje de aire incluido permite ofrecer un importante aislamiento térmico y acústico.
- Resistencia a la compresión en función de su densidad, la cual puede ser incrementada con el uso de aditivos superplastificantes tipo **Sikament**.

Modo de Empleo


Aplicación del Producto
Agregue **SikaLightcrete** junto con el agua de mezcla durante la preparación del concreto o mortero. Agite vigorosamente en el camión mezclador o planta durante 10 minutos asegurándose de obtener una mezcla homogénea.

Dosificación
De 0,5 a 2,0 litros por m³ de concreto o mortero, según la densidad requerida. Dosis de hasta 5,0 litros por m³ pueden ser empleadas para casos muy especiales donde se requieran densidades muy bajas.

Datos Técnicos

Densidad: 1,01 kg/l aprox.
Color: Ambar translúcido.

Construcción





Precauciones	<p>La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y las condiciones de la obra.</p> <p>La elaboración de concreto o mortero aligerado exige el cumplimiento de ciertas indicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Exhaustivo control sobre la cantidad de aire incorporado en concretos con fines estructurales. ■ Pueden utilizarse aditivos superplastificantes tipo Sikament con el propósito de reducir agua e incrementar resistencias. ■ El contenido de aire incorporado depende de la temperatura ambiente y de los agregados, velocidad y tiempo de mezclado, finura de los agregados (partículas inferiores a 0,125 mm), finura y cuantía del cemento y presencia de agregados livianos.
Medidas de Seguridad	<p>En caso de contacto con la piel, lave la zona afectada inmediatamente con abundante agua y jabón. En caso de contacto con los ojos, lave enseguida con agua abundante durante 15 minutos y acuda al médico. En caso de ingestión no provoque el vómito y solicite atención médica. Para mayor información y en caso de derrames consulte la hoja de seguridad.</p>
Almacenamiento	<p>Un (1) año en su envase original bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.</p>
Advertencias	<p>Todos nuestros productos han sido desarrollados y fabricados con toda la precaución razonable de acuerdo a normas de exactitud y calidad de Sika. La información que suministramos es correcta de acuerdo a nuestra experiencia; los productos tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante, no se responde por variaciones en el método de empleo, condiciones en que sean aplicados, cuando la vigencia del producto esté vencida, o si son utilizados en forma que afecten la salud o cualquier patente propiedad de otros. Para sus usos especializados o cuando surjan dudas en cuanto al uso o aplicación de un producto, deberá consultarse al Departamento Técnico de Sika.</p>

Sika Mexicana S.A. de C.V.
Asesoría Técnica
 01 800 123 7452

Planta y Regional Bajío
 Tel: (442) 2 38 58 00
 Fax: (442) 2 25 05 37
bajio.regional@mx.sika.com

Regional Naucalpan
 Tel: (55) 55 76 90 00 y 63 11
 Fax: (55) 55 76 61 45
naucalpan.regional@mx.sika.com

Regional Guadalajara
 Tel/Fax: (33) 36 66 28 02, 03 y 05
guadalajara.regional@mx.sika.com

Regional Monterrey
 Tel: (81) 83 90 19 06 y 07
 Fax: (81) 83 90 19 08
monterrey.regional@mx.sika.com

Regional Veracruz
 Tel/Fax: (229) 921 82 79 y 86 79
veracruz.regional@mx.sika.com

Regional Hermosillo
 Tel/Fax: (662) 260 51 00
 218 50 54 y 55
hermosillo.regional@mx.sika.com

Regional Tijuana
 Tel/Fax: (664) 634 76 95, 96 y 97
tijuana.regional@mx.sika.com

Subregional Los Cabos
 Tel/Fax: (624) 146 97 35 y 142 26 88
loscabos.regional@sika.com.mx

Apéndice B: Hoja técnica de Rheocell Rheofill



The Chemical Company



RHEOCELL® RHEOFILL®

Aditivo para materiales controlados de baja resistencia

USOS RECOMENDADOS

- Relleno fluido: trincheras de drenaje, trincheras de servicios, muros de contención, etc.
- Rellenos estructural: sub-bases de cimentaciones, bases de losas de pisos, camas para tuberías.

DESCRIPCION

RHEOCELL RHEOFILL es un producto en polvo listo para usarse en diferentes aplicaciones de Materiales Controlados de Baja Resistencia Regulares (MCBR-reg) donde se requieren densidades bajas (peso unitario) y contenidos de aire de hasta 35%.

VENTAJAS

- Reducción del contenido de agua hasta en un 50%

- Mayor rendimiento
- Óptima manejabilidad – puede producirse con consistencia fluida o plástica
- Mejor capacidad de bombeo
- Poca o ninguna exudación
- Ausencia de segregación
- Menor retracción
- Menor sedimentación
- Control en el desarrollo de resistencias
- Rentabilidad comparado con los costos de colocación de compactación de tierra

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Mezcla	MEZCLA 1 Carga 0.8 m ³ (1 yd ³)	MEZCLA 2 Carga 3 m ³ (4 yd ³)
Cemento -kg/m ³ (lb/yd ³)	60 (95)	60 (100)
Arena - kg/m ³ (lb/yd ³)	1,340 (2,260)	1,320 (2,220)
Agua - kg/m ³ (lb/yd ³)	100 (171)	105 (177)
POZZOLITH NC 534, ml/m ³ (oz fl/yd ³)	619 (16)	-
RHEOCELL RHEOFILL	1 Bolsa pequeña	1 Bolsa grande
Contenido de aire	33%	35%
Resistencia a compresión, MPa (psi)		
28 días	0.8 (110)	0.3 (40)
56 días	1.1 (160)	0.4 (60)

Nota: Los datos mostrados están basados en pruebas de laboratorio controladas. Se pueden experimentar variaciones razonables de los resultados aquí mostrados como resultado de las diferencias en los materiales de manufactura del concreto y en las condiciones de la obra.



The Chemical Company



APLICACION

Dosificación

RHEOCELL® RHEOFILL® no debe usarse en el concreto convencional. Funciona mejor cuando se añade a mezclas con un asentamiento inicial de 25 a 27 mm (1 a 3 in). En caso necesario, deberá ajustarse el contenido de agua de la mezcla para obtener un asentamiento inicial máximo de 75 mm (3 in).

La bolsa de RHEOCELL RHEOFILL simplemente se vacía en la tolva del camión mezclador y se mezcla con los materiales previamente dosificados por un mínimo de 5 minutos a velocidad baja de mezclado. No se necesita lavar la tolva después de adicionar el aditivo.

RHEOCELL RHEOFILL puede añadirse en la obra o en la planta de concreto premezclado.

ALMACENAMIENTO

RHEOCELL® RHEOFILL tiene una vida útil de 12 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

EMPAQUE

RHEOCELL RHEOFILL se suministra en sacos de dos tamaños. La bolsa pequeña contiene producto para tratar un volumen de 0.8 m³ (1 yd³) y el saco grande para un volumen 3 m³ (4 yd³).

El producto se suministra en cajas: Caja con 40 sacos pequeños para un rendimiento de 0.8 m³ (1 yd³) y cajas con 20 sacos grandes para un rendimiento de 3 m³ (4 yd³).

SEGURIDAD

Use guantes y lentes protectores para manejar el producto.

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals.

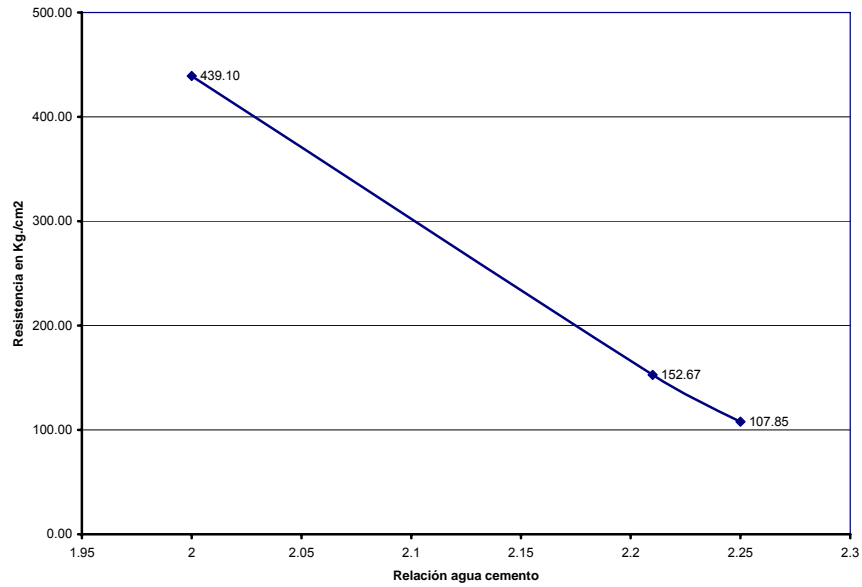
BASF Construction Chemicals, LLC										
Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Ecuador	México	Perú	Puerto Rico	Rep Dominicana	Venezuela
(54-34-8843-3000)	(55-11-6108-5555)	(56-2-444-9760)	(57-1-321-7210)	(506-440-9110)	(593-2-256-6011)	(52-55-2122-2200)	(511-385-0109)	(787-621-1700)	(809-957-9303)	(58-212-762-5471)

© Marca registrada de BASF Aktiengesellschaft
© 2007 BASF Construction Chemicals, LLC

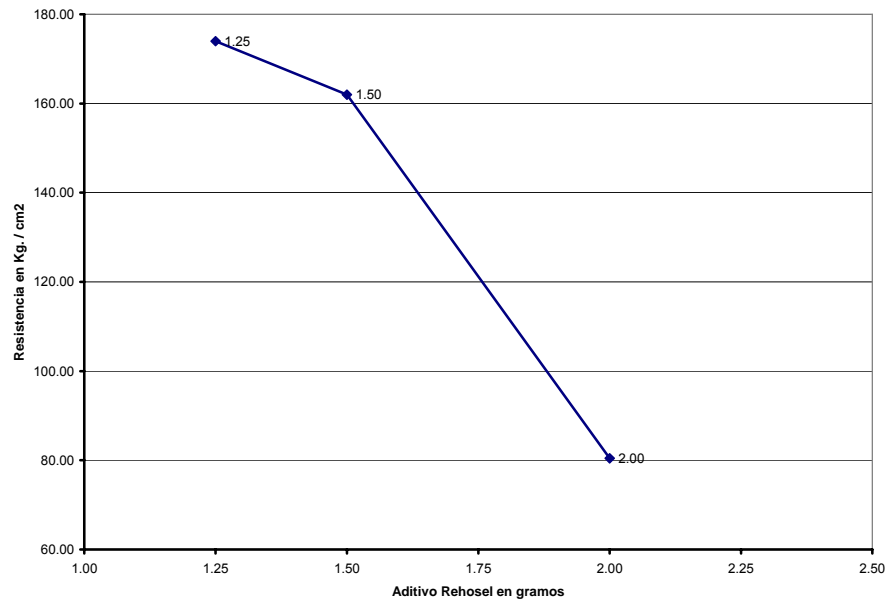
08/06
RheocellRheofill.pmd

www.basf-cc-la.com

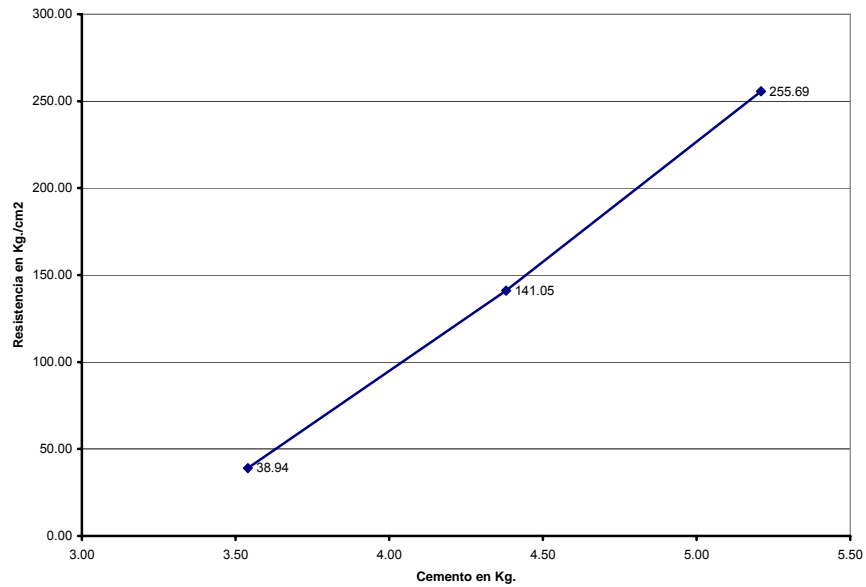
Apéndice C: Curva de relación resistencia vrs. relación A/C en pruebas con arena, (ver tabla X, pág 64).



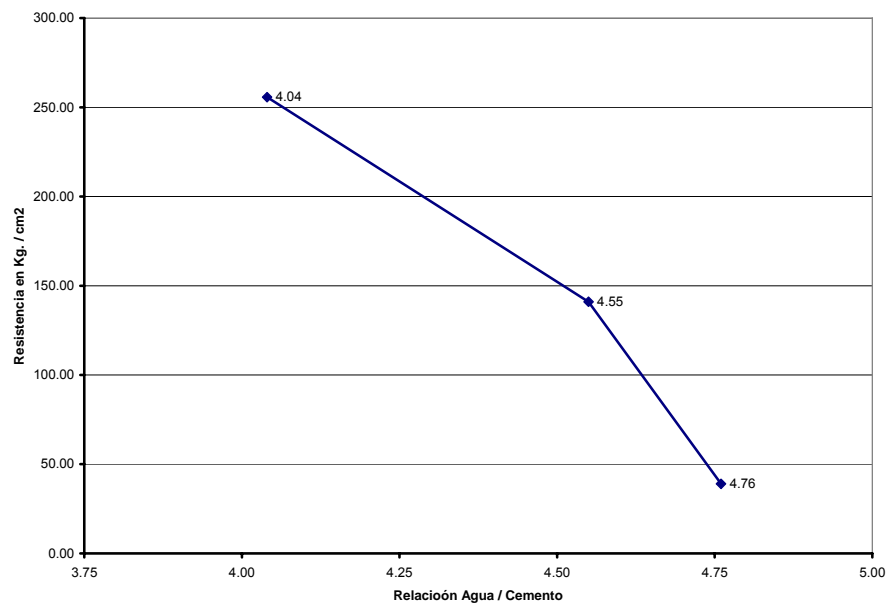
Apéndice D: Curva de Resistencia Vrs. Aditivo en mezclas elaboradas con cascajo, (ver tabla XIX, pág 66).



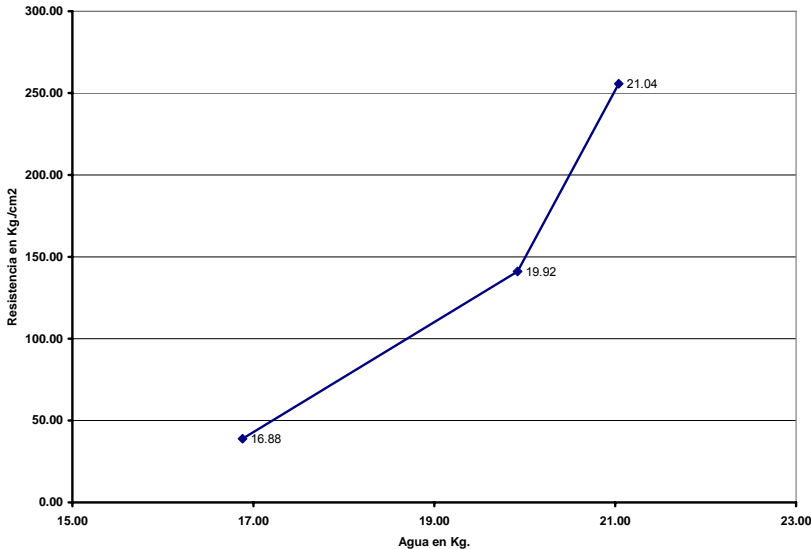
Apéndice E: Curva de relación entre resistencia y contenido de cemento en una mezcla de toba o selecto, (ver tabla XII, pág 67).



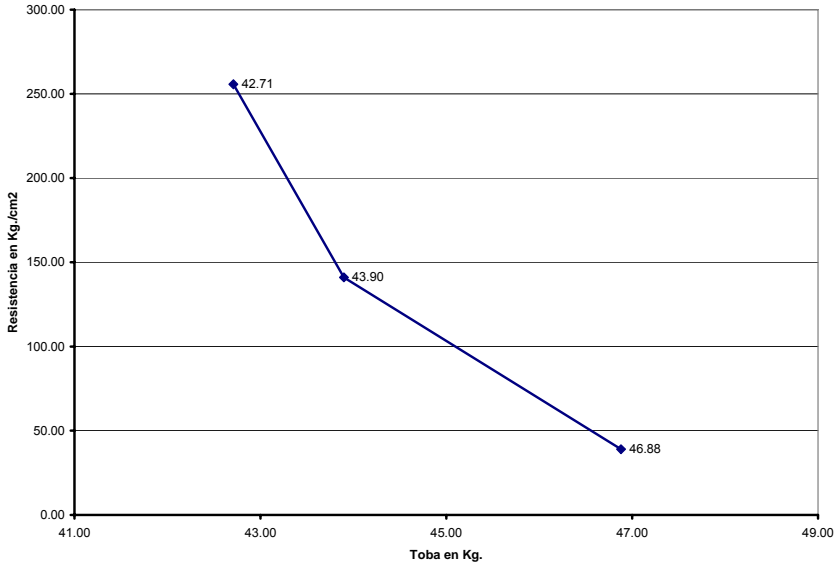
Apéndice F: Gráfico Resistencia versus relación agua cemento en mezcla con Toba, (ver tabla XII, pág 67).



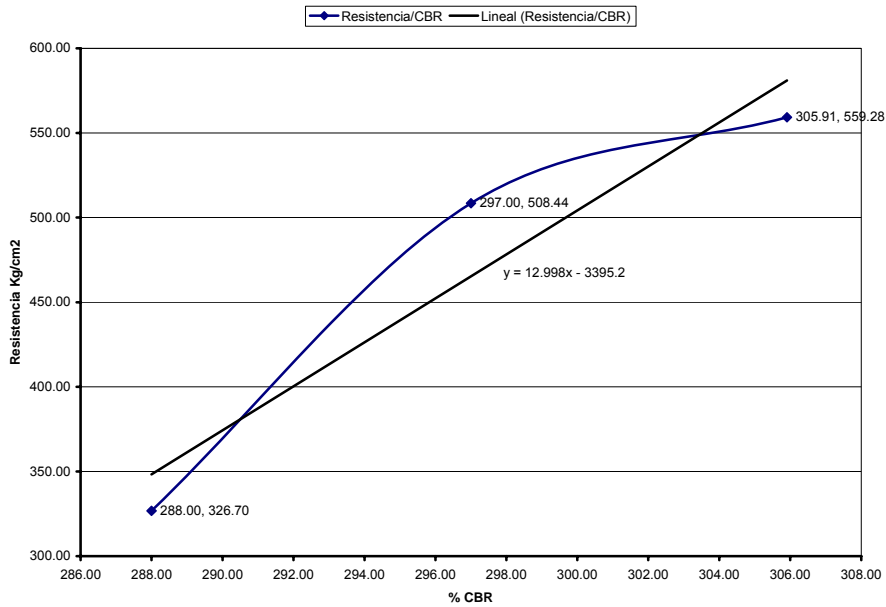
Apéndice G: Gráfico resistencia versus agua en pruebas con toba, (ver tabla XII, pág 67).



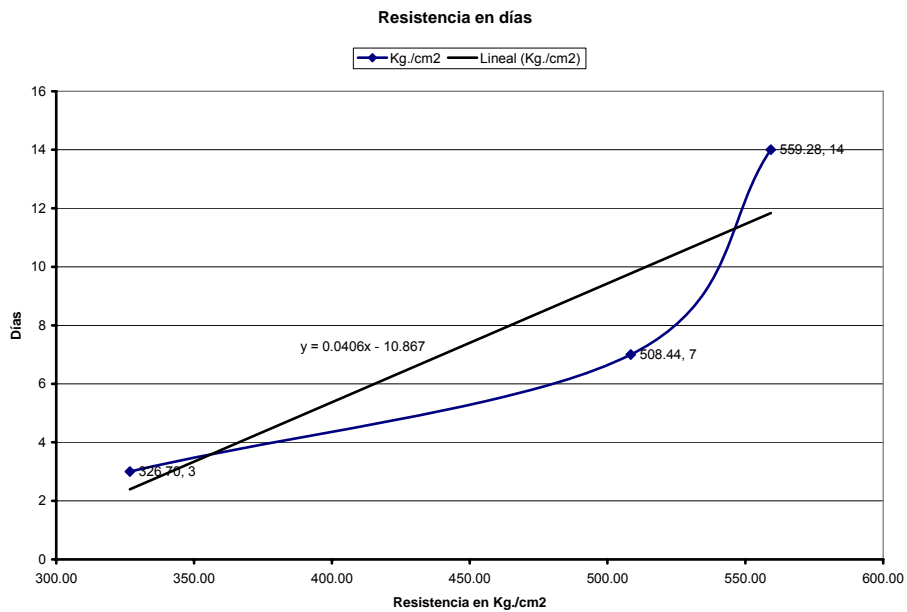
Apéndice H: Gráfico resistencia versus cantidad de toba en kilogramos, (ver tabla XII, pág 67).



Apéndice I: Gráfico de resistencia versus prueba de C.B.R., (ver tabla XII, pág 70).



Apéndice J: Gráfico de resistencia en el tiempo de la prueba 5, (ver tabla XIII, pág 70).



Apéndice K: Gráfica de C. B. R. en el tiempo de la prueba No. 5, (ver tabla XIII, pág 70).

