



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

**MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE GRAVAS
ARCILLOSAS**

María Victoria Coyote Hernández

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE
GRAVAS ARCILLOSAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARÍA VICTORIA COYOTE HERNÁNDEZ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I | Ing. José Francisco Gómez Rivera |
| VOCAL II | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Luis Diego Aguilar Ralón |
| VOCAL V | Br. Christian Daniel Estrada Santizo |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Andy Williams Alonso Vásquez |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Fuentes Roca |
| EXAMINADOR | Ing. Alan Giovanni Cosillo Pinto |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE GRAVAS ARCILLOSAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 7 de noviembre de 2017.

María Victoria Coyote Hernández



Guatemala, 18 de septiembre de 2019

Ingeniero
William Ricardo Yon Chavarría
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Yon Chavarría

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE GRAVAS ARCILLOSAS**, elaborado con la estudiante universitaria María Victoria Coyote Hernández, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria Coyote Hernández, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Inga. Civil Dilma Yañet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
03 de octubre de 2019

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Aguilar.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE GRAVAS ARCILLOSAS** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil María Victoria Coyote Hernández CUI 2336278980407 y No. De Registro Estudiantil 201314129 quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS



**FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC**

Ing. Civil Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles

/mrrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría al trabajo de graduación de la estudiante María Victoria Coyote Hernández **MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE GRAVAS ARCILLOSAS** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, noviembre 2019

/mrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala




Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.513.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA, A BASE DE GRAVAS ARCILLOSAS**, presentado por el estudiante universitario: **María Victoria Coyote Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Noviembre de 2019

AACE/asga
cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida y la oportunidad de alcanzar una meta muy importante en mi vida.
- Mis padres** Jacinto Coyote Xicay y Justa Hernández Yos por su apoyo incondicional, paciencia, sabiduría y enseñarme a esforzarme para alcanzar mis sueños.
- Mis hermanos** Meily, Lily, Juan Luis, Christian y Rony Coyote Hernández, por ser una importante influencia en mi vida, apoyarme en todo momento y estar cuando los necesito.
- Mis sobrinos** Katherin Coyote, Meredith Sicaján y Ángel Coyote. Porque con su alegría y su compañía alegran mis días.
- Mis abuelos** León Coyote, Sabina Xicay, Julio Hernández, y María de Jesús Yos (q.e.p.d.). Por ser una importante influencia en mi vida.
- Mi novio** Franklin Alfaro, por todo su amor, apoyo, comprensión y por llenar mi vida de momentos inolvidables.

Mis cuñados

Karla Yos, Mónica Canux y Benedin Sicaján,
por su apoyo incondicional durante cualquier
situación que se presente.

Mis tíos

Por sus consejos y apoyo durante mi
crecimiento profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser la <i>Alma Máter</i> que me albergó durante mi preparación profesional. |
| Facultad de Ingeniería | Porque en sus instalaciones me permitió adquirir conocimientos que me ayudan en mi vida personal y profesional. |
| Mis amigos de la Facultad | Karen López, Gabriela Mayen, Lilian Palacios, Andrés Castro, Pamela Zapeta y Yessenia Machán. Por los momentos inolvidables durante mi formación profesional. |
| Mi asesora | Ingeniera Dilma Yanet Mejicanos Jol, por su tiempo y sus conocimientos que me ayudaron a formarme académicamente. |
| A mis compañeros de trabajo | Por su apoyo en mi crecimiento profesional. |
| A mis primos | Por su apoyo incondicional en cada momento que lo he necesitado. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.1.1. Investigaciones realizadas..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes..... | 2 |
| 1.2.1. Investigaciones realizadas..... | 3 |
| 1.2.2. Condiciones de terreno..... | 4 |
| 1.3. Materiales utilizados | 5 |
| 1.3.1. Materiales expansivos | 6 |
| | |
| 2. COMO EVALUAR LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA | 9 |
| 2.1. Propiedades y características..... | 9 |
| 2.1.1. Consistencia | 9 |
| 2.1.2. Manejabilidad..... | 9 |
| 2.1.3. Segregación..... | 10 |
| 2.1.4. Exudación..... | 10 |
| 2.2. Caracterización del material a evaluar..... | 11 |
| 2.2.1. Obtención de muestras..... | 11 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.2.2. | Dosificación (proporciones del material)..... | 12 |
| 2.3. | Preparación y colocación en obra | 12 |
| 2.4. | Resistencia a la compresión..... | 12 |
| 2.5. | Clasificación de los rellenos fluidos..... | 13 |
| 2.6. | Ventajas y desventajas | 15 |
| 2.6.1. | Ventajas | 16 |
| 2.6.2. | Desventajas..... | 16 |
| 3. | DESARROLLO EXPERIMENTAL..... | 19 |
| 3.1. | Ensayos y normas..... | 19 |
| 3.1.1. | Pruebas de material fresco..... | 19 |
| 3.1.2. | Fluidez norma ASTM D 6103 | 20 |
| 3.1.3. | Peso unitario ASTM 6023-07 | 21 |
| 3.1.4. | Contenido de aire ASTM 6023-07 | 22 |
| 3.1.5. | Preparación de ensayos de cilindros (NTG-41067, ASTM C 1231)..... | 23 |
| 3.2. | Propiedades del material endurecido | 24 |
| 3.2.1. | Resistencia a la compresión..... | 24 |
| 4. | RESULTADOS..... | 27 |
| 4.1. | Materiales y equipo utilizado | 27 |
| 4.1.1. | Materiales..... | 27 |
| 4.1.2. | Equipo | 30 |
| 4.2. | Datos obtenidos | 36 |
| 4.2.1. | Ensayos realizados al material selecto..... | 36 |
| 4.2.2. | Estudio completo de materiales de baja resistencia controlada..... | 37 |
| 4.3. | Cálculos efectuados | 41 |
| 4.4. | Resultados obtenidos..... | 42 |

| | | |
|-----------------------|--|----|
| 4.4.1. | Peso unitario suelto material selecto | 42 |
| 4.4.2. | Análisis granulométrico con tamices y lavado previo..... | 42 |
| 4.4.3. | Estudio completo de materiales de baja resistencia controlada..... | 43 |
| 4.4.4. | Ensayo a compresión para cilindros de concreto según Norma NTG- 41017 h1 (ASTM C-39)..... | 43 |
| 4.5. | Comparación y análisis de resultados | 45 |
| CONCLUSIONES | | 47 |
| RECOMENDACIONES | | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 51 |
| APÉNDICES | | 53 |
| ANEXO | | 61 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Material selecto | 28 |
| 2. | Cemento..... | 28 |
| 3. | Cal | 29 |
| 4. | Agua..... | 30 |
| 5. | Tamices..... | 31 |
| 6. | Recipiente | 31 |
| 7. | Cucharón y espátula razardora | 32 |
| 8. | Cono de Abrams | 33 |
| 9. | Tapa de acero | 33 |
| 10. | Molde para elaboración de cilindros..... | 34 |
| 11. | Cinta métrica, vernier y balanza | 35 |
| 12. | Máquina para ensayos de compresión de cilindro | 35 |
| 13. | Datos de mezclas realizadas en laboratorio..... | 53 |
| 14. | Datos obtenidos de ensayos a compresión..... | 55 |
| 15. | Fotografías | 57 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Clasificación de rellenos fluidos por densidad y resistencia | 14 |
| II. | Clasificación por consistencia de la mezcla | 14 |
| III. | Clasificación por excavabilidad | 15 |
| IV. | Clasificación por tiempos de fraguado | 15 |
| V. | Datos ensayo de peso unitario suelto | 36 |

| | | |
|-------|---|----|
| VI. | Datos granulométricos | 37 |
| VII. | Fluidez | 38 |
| VIII. | Peso unitario | 38 |
| IX. | Contenido de aire y temperatura..... | 39 |
| X. | Resistencia a compresión | 40 |
| XI. | Granulometría de material selecto | 42 |
| XII. | Características de mezcla..... | 43 |
| XIII. | Resistencia a compresión | 44 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------|-----------------------------------|
| °C | Grados Celsius |
| gr | Gramos |
| kg | Kilogramo |
| kg/cm ² | Kilogramo por centímetro cuadrado |
| kg/m ³ | Kilogramo por metros cúbicos |
| psi | Libras sobre pulgada cuadrada |
| Mpa | Mega pascales |
| m ³ | Metro cúbico |
| μm | Micrómetro |
| mm | Milímetro |
| Pu | Peso unitario |
| pie ³ | Pie cúbico |
| in | Pulgadas |

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|--|
| ACI | Instituto Americano del Concreto. |
| Abrasivo | Desgaste mediante fricción. |
| Aislamiento térmico | Conjunto de materiales aplicados a elementos constructivos que separa un espacio climatizado. |
| Arcilloso | Suelo con presencia de arcilla. |
| ASTM | Asociación Americana de prueba de materiales. Por sus siglas en inglés American Standard Test Materials. |
| Caliza | Roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio. |
| Cavidades | Espacio hueco en el interior de una superficie. |
| Confinar | Aislamiento obligatorio entre los límites de un espacio determinado. |
| Conglomerante | Capacidad de unir partículas de una o más sustancias. |

| | |
|-------------------------|---|
| Cohesión | Cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas. |
| Densidad | Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. |
| Erosión | Proceso de desgaste que sufre la roca madre que forma el suelo a consecuencia de procesos geológicos. |
| Estructura | Conjunto de elementos conectados entre sí, capaces de recibir cargas, soportar esfuerzos y transmitir esas cargas al suelo. |
| Exudación | Salida de líquido de un cuerpo mediante la transpiración a través de sus poros. |
| Fraguado | Fase de una mezcla de concreto que pasa del estado plástico al estado endurecido. |
| <i>In situ</i> | En el sitio o en el lugar. |
| Material selecto | Es el tipo de material que se deriva de la desintegración de una roca madre a causa de la meteorización. |
| Permeabilidad | Característica individual de cada material al permitir el paso de agua y humedad a través de él. |

| | |
|--------------------|---|
| Plasticidad | Propiedad de un material para cambiar de forma sin modificar sus propiedades mecánicas. |
| Retracción | Disminución del volumen del concreto durante el proceso de fraguado. |
| Saneamiento | Mejorar las condiciones necesarias de sanidad de un terreno. |
| Selecto | Nombre que en el medio se le da a la grava arcillosa. |
| Socavación | Excavación profunda causada por el agua. |

RESUMEN

En esta investigación se realiza el análisis y comparación de materiales de baja resistencia controlada a base de material selecto con dos tipos de aglomerantes (cemento y cal) y dos diseños de mezcla. En total se obtuvieron cuatro mezclas a las cuales se les realizaron los ensayos de peso unitario, contenido de aire, asentamiento, temperatura y resistencia a la compresión.

El peso unitario en cada una de las mezclas se mantiene de manera constante, los rangos establecidos para este tipo de material son de 1 600 a 1 900 kg/m³ a los que el material cumple con esta especificación. De la misma forma, el contenido de aire es un factor con poca variación en las mezclas debido a que sin importar la proporción utilizada se mantiene el aire contenido, para ser una mezcla autocompactable y autonivelante, debe tener la característica de ser fluida y se logra mediante la relación de agua en la mezcla.

Las temperaturas que presentan los diseños no varían significativamente debido a los pequeños contenidos de aglomerantes en la mezcla, el cual es beneficioso, ya que de esa manera se evita el riesgo de agrietamientos.

Las resistencias de cada mezcla resultaron muy variables, las que contienen cemento son más resistentes que las mezclas con cal por lo que se recomienda determinar correctamente el tipo de mezcla que se desea obtener para poder definir el tipo de aglomerante a utilizar.

OBJETIVOS

General

Evaluar materiales de baja resistencia controlada, a base de gravas arcillosas.

Específicos

1. Determinar las características físicas de materiales de baja resistencia controlada.
2. Determinar propiedades mecánicas de materiales de baja resistencia controlada.
3. Comparar las ventajas y desventajas que presentan los materiales de baja resistencia controlada con respecto a la utilización de aglutinantes aéreos e hidráulicos.

INTRODUCCIÓN

Para ejecutar las obras civiles se realizan diversas actividades. Generalmente, se comienzan con excavaciones para la cimentación de la estructura y para la colocación de instalaciones hidrosanitarias. Dichas excavaciones generan cavidades difíciles de rellenar. Por otra parte, en ocasiones, se presenta asentamientos en terrenos por diversas causas, por lo que será necesario realizar el relleno correspondiente.

En la actualidad, se carece de información suficiente acerca de materiales adecuados para realizar los rellenos mencionados, por tanto, en este trabajo de investigación se realizará un estudio de las características físicas y las propiedades mecánicas de materiales de baja resistencia controlada, a base de gravas arcillosas y aglutinantes, aéreos e hidráulicos.

Se utilizarán como base las normas NTG, Normas Técnicas Guatemaltecas y ASTM, American Society for Testing Materials. Se llevará a cabo un análisis de gravas arcillosas, 2 diseños de mezcla con aglutinantes aéreos e hidráulicos (cemento y cal) con proporciones 1:10 y 1:20, para las cuales se realizarán 6 cilindros de diámetro 6" y altura de 12" por cada aglutinante y proporción, para realizar los ensayos de laboratorio de resistencia correspondientes.

Se obtendrán resultados que determinarán la densidad y la resistencia del material para cada diseño de mezcla. Sobre esta base se compararán los resultados, se determinarán los aglutinantes propuestos y el diseño de mezcla más adecuado para rellenar cavidades en terrenos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En la actualidad, se encuentran documentos desarrollados para satisfacer necesidades constructivas utilizando materiales de baja resistencia controlada en los ámbitos nacional e internacional.

1.1.1. Investigaciones realizadas

En noviembre de 2008 se presentó el trabajo de graduación titulado: *Uso de rellenos fluidos en la construcción*; en el cual se concluyó que, si bien el costo de este material no es su atractivo principal, sí lo es el tiempo de aplicación y su capacidad de llegar a espacios peligrosos o poco accesibles. Y se sugiere que, antes de aplicar un relleno fluido en un proyecto, se compare el costo-beneficio y el tiempo de aplicación con los métodos tradicionales para escoger la mejor opción, según la prioridad que de estas variables tenga el proyecto¹.

En septiembre de 2008 se presentó el trabajo de graduación titulado: *Control de calidad del concreto fluido para relleno estructural*. Los resultados obtenidos son que la constante de verificación del concreto fluido permitió obtener diversidad de resultados, los cuales fueron importantes para observar el comportamiento y las propiedades mecánicas del material evaluado. Algunos de los resultados obtenidos se descartaron porque al tabularse se excedían de los límites determinados, según el coeficiente de variación.

¹ RIVERA PEREZ, Eduardo Marín. *Uso de rellenos fluidos en la construcción*. 121 p.

Se concluyó que, de acuerdo con las características iniciales del concreto fluido, cumple con la manejabilidad, accesibilidad y sobre todo, la mejora de resistencia, ya que inicialmente se diseñó con una resistencia a los 28 días de 150 psi ($10,55 \text{ Kg/Cm}^2$) y según los datos obtenidos a 28 días la resistencia fue de 285 psi ($20,4 \text{ Kg/Cm}^2$). Recomiendan que, cuando se use concreto fluido, se tomen muestras a las edades especificadas como un concreto estructural, ya que el comportamiento de resistencia debe cumplir con el aumento de la misma, a las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días².

1.2. Antecedentes

Es un material de origen cementicio con consistencia fluida, sin segregación ni exudar transformándose una vez endurecido en una estructura estable capaz de soportar cargas como si fuera un sólido. Se describe como sustituto de suelo que se coloca de forma casi líquida, ya que esto permite su auto compactación, se usa primordialmente como material de relleno. Una vez endurecido presenta mejores propiedades y comportamiento que las de un relleno compactado tradicional hecho con materiales granulares, el tiempo de colocación es menor a una base granular compactada. Estos materiales obtienen una resistencia a la compresión igual o menor a 8,3 MPa (1 200 psi). En la actualidad, la mayoría de sus aplicaciones requieren resistencias de 2,1 MPa (300 psi) o menos debido a que con ello permitirá una futura excavación.

Según el Comité 229 del ACI, la definición específica de este material es Controlled Low-Strength Material (CLSM), referente a este tipo de materiales, lo

² MESA MONRROY, Mildred Aminta. *Control de calidad del concreto fluido para relleno estructural*. 68 p.

define de la siguiente forma: “Material cementante auto-compactable de baja resistencia controlada”³.

Otras acepciones del material de baja resistencia controlada son; suelo líquido, suelo-cemento líquido, relleno sin retracción, mortero fluido o mezcla pobre de relleno. Y los nombres en inglés; Plastic Soil Cement, K-crete, Soil Cement Slurry, Flowable Fill, Unshrinkable Fill, Controlled Density Fill.

1.2.1. Investigaciones realizadas

El material de baja resistencia controlada, actualmente, se usa en obras civiles y se diseña para cubrir las necesidades más diversas cuando se recurre a materiales de relleno. Se le puede dar los siguientes usos:

- Uso general

Su principal aplicación es como relleno estructural, en sustitución del suelo compactado. Son ideales para ser utilizados en espacios reducidos o de acceso restringido, donde la colocación y compactación de un relleno tradicional sea difícil.

- Rellenos no estructurales

Los materiales de baja resistencia controlada pueden ser fácilmente colocados en zanjas, huecos u otras cavidades, no se requiere compactación, por tanto; el ancho de la zanja o el tamaño de la excavación se pueden reducir, resultando en una reducción de costos. Los rellenos granulares o el relleno excavado *in situ*, incluso cuando son compactados adecuadamente el espesor

³ ADASKA, W. S. *Controlled low strength material*. 5 p.

de capa requerida, no logran la uniformidad y densidad como lo logra este tipo de material⁴.

- Capas de firmes

Los materiales de baja resistencia controlada pueden emplearse en la renovación o saneamiento de suelos contaminados en la construcción o mantenimiento de pavimentos. Se pueden emplear como capas de regularización de hormigones en reemplazo de hormigones de limpieza debido a que proporciona capas de apoyo uniforme que ayudan a distribuir mejor las cargas, así mismo es utilizado en sub-bases e incluso como bases para tráfico ligeros. En vías urbanas, el espesor a colocar depende principalmente de la resistencia requerida del material.

- Camas de conducciones

Los materiales de baja resistencia controlada constituyen un excelente material para todo tipo de conducciones tales como; agua, saneamiento, gas, teléfono, energía eléctrica, este material puede usarse como una cama de soporte o base de apoyo o para cubrir completamente las conducciones. Debido a su fluidez, estos materiales rellenan los espacios vacíos bajo los tubos, proporcionando un soporte uniforme. Por otra parte, es posible diseñar las mezclas para obtener, una vez endurecidas, una buena resistencia a la erosión, lo que dificulta el que se produzcan socavaciones.

1.2.2. Condiciones de terreno

Estas pueden ser diversas, dependiendo de los trabajos que se están desarrollando, ya que en las excavaciones y asentamientos de terrenos se

⁴ SULLIVAN, R. W. *Boston harbor tunnel project utilizes*. 19 p.

generan cavidades de todo tipo y no necesariamente tienen una forma definida, por lo tanto, es muy importante realizar los estudios correspondientes para poder verificar que el terreno cumpla con los requerimientos de obra.

1.3. Materiales utilizados

El concreto fluido para relleno, está compuesto por conglomerantes (Cemento Pórtland o cal Hidratada para este caso), agregados, agua, aditivos que aseguren la consistencia, fluidez y trabajabilidad.

- Cemento

Se denomina conglomerante hidráulico, provee la cohesión y la resistencia para los rellenos fluidos, generalmente se utiliza el Cemento Pórtland Tipo I o Tipo II conforme a la Norma NTG-41095.

Al ser mezclado con agua, comienza un proceso de fraguado que dura 28 días, los contenidos de cemento oscilan entre los 60 a 250 kg/m³ según los requerimientos y tipo de uso que se dará en cada proyecto.

- Cal

La cal hidratada en polvo elaborada de calizas de alto contenido de carbonato de calcio, calcinadas e hidratadas. Es un hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con un bajo contenido de dióxido de magnesio. Esta cal aérea adquiere su resistencia al reaccionar con el dióxido de carbono (CO_2) que se encuentra en el aire, produciéndose nuevamente el carbonato de calcio. Cumpliendo con la Norma NTG 41018.

- Arena limosa

El material tiene la función de agregado, en la mezcla del concreto fluido para relleno, aunque está determinado como un suelo. El cual se clasifica como SM (S = arena, M = limo), según las normas AASHTO. Los suelos granulares se designan con los siguientes símbolos:

Prefijos G = grava El 50 % o más es retenido en el tamiz #4 S = arena Sí más del 50 % pasa el Tamiz #4

Sufijos W = bien graduado P = mal graduado M = limoso C = arcilloso

- Agua

El agua que se utiliza para cualquier mezcla de concreto debe ser preferiblemente potable, limpia y libre de contaminantes perjudiciales como aceite, ácidos, azúcar, sales de cloruros o sulfatos, metales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas. El agua de mar o agua salobres y de pantanos no debe usarse para este tipo de mezcla.

1.3.1. Materiales expansivos

Se conoce como suelos expansivos porque sufren procesos de expansión y contracción, es decir un cambio de volumen al variar su humedad. Los materiales, como las arcillas, tienen la capacidad de absorber gran cantidad de agua y retenerla debido a su estructura y composición. Uno de los factores más importantes de este tipo de suelos es el contenido de humedad, debido a que indica en donde hay expansión si se tiene materiales arcillosos.

Los suelos expansivos se pueden identificar de manera visual tomando en cuenta diversas características, tienen alta plasticidad. Su comportamiento se caracteriza principalmente por la contracción de la arcilla debida al secado, la expansión de la arcilla al humedecerse, desarrollo de presiones de expansión cuando está confinado y no puede expandir.

2. COMO EVALUAR LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA

2.1. Propiedades y características

Las propiedades de los materiales de baja resistencia controlada cruzan los límites entre un concreto y un suelo, se fabrica a partir de materiales similares a los utilizados para concretos estructurales y la forma en la que se coloca es muy similar, pero en servicio posee características y propiedades similares a las de los suelos. Existe un amplio rango de valores del material debido a las distintas propiedades que se presentan a continuación.

2.1.1. Consistencia

También se llama fluidez, es característica de los materiales de baja resistencia controlada que los hace únicos como material de relleno debido a que permite que el material sea auto nivelado fluya para rellenar cavidades de formas indefinidas, la presión hidráulica y la flotación de las tuberías debe ser considerado para asegurar el anclaje apropiado de estas.

2.1.2. Manejabilidad

Es conocido también como trabajabilidad. Físicamente, se define como el trabajo necesario para vencer la fricción entre las partículas individuales del concreto. Esta propiedad define su facilidad de transporte, colocación, vibrado y moldeado.

La manejabilidad se logra en los materiales de baja resistencia controlada por ser autocompactable.

2.1.3. Segregación

Se le llama así a la pérdida de la homogeneidad de una mezcla, generalmente, se presenta por el exceso contenido de agua en ella, debido a que esto permite que las partículas de mayor peso se depositen en el fondo por la acción de la gravedad y las más solubles en agua se encuentren en la superficie de la mezcla. La segregación afecta directamente las propiedades como: peso unitario, trabajabilidad y colocación con la capacidad de ser bombeada.

Se deben utilizar mezclas con un contenido adecuado de finos que garanticen la ausencia de segregación.

2.1.4. Exudación

También se le conoce con el nombre de sangrado. Es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie de la mezcla recién colocada. Esto se debe a que los componentes sólidos de esta no pueden retener toda el agua de mezclado cuando se asientan en el fondo. Por tal razón la superficie de la mezcla puede quedar demasiado húmeda, de ser excesivo el resultado puede ser una mezcla porosa, débil y poco durable.

2.2. Caracterización del material a evaluar

El material de baja resistencia controlada es un buen material cuyo destino principal es el reemplazo de suelo compactado en todo tipo de rellenos, principalmente, en cavidades de difícil acceso. A diferencia de los rellenos compactados los rellenos fluidos son diseñados con una fluidez específica. De esta manera, permite rellenar cualquier tipo de cavidad y, con sus características específicas, logra las mejores condiciones de valor soporte sin necesidad de compactación alguna. Es autocompactado y no requiere colocación en capas. Se fabrica de la misma manera que el concreto premezclado. Su colocación es similar a la del concreto estructural, pero se usa como sustituto de un suelo compactado.

Este tipo de mezcla no se lo considera un suelo-cemento, ya que, por definición no requiere compactación, colocación en capas, ni curado. Debe considerarse que el concreto fluido para relleno que no está diseñado para resistir la acción de esfuerzos erosivos o abrasivos, ni la acción de químicos altamente agresivos, algunos de sus usos son: relleno de zanjas, tuberías eléctricas, asentamiento, subbases.

2.2.1. Obtención de muestras

Las muestras para el control de calidad se deberá obtener un volumen mínimo de 1 pie³, el cual se utilizará para los ensayos de revenimiento, fluidez, peso unitario, contenido de aire y la elaboración de 6 cilindros, ensayados a compresión de 3, 7 y 28 días.

2.2.2. Dosificación (proporciones del material)

Según el Comité ACI 229 R, especifica que para este tipo de material puede encontrarse un diseño por el método de prueba y error hasta alcanzar la proporción que satisfaga las condiciones y propiedades que se ha propuesto como las de esfuerzo a la compresión, fluidez y la densidad de la mezcla. Durante mucho tiempo se ha empleado el método de prueba y error. En la actualidad, no se ha adoptado ampliamente ningún método estándar para la dosificación de materiales de baja resistencia controlada.

Muchas especificaciones requieren dosificación, y cuando esta no se especifica, se evalúan mezclas de prueba para determinar si cumplen y en qué medida, mientras que otras requieren características de rendimiento y desempeño del material, dejando la dosificación a decisión del proveedor.

2.3. Preparación y colocación en obra

Los materiales de baja resistencia controlada o rellenos fluidos se preparan utilizando los mismos elementos empleados habitualmente para los hormigones y morteros. Igual que los hormigones, los materiales se dosifican y mezclan en un orden preestablecido obteniendo una mezcla homogénea.

La colocación de los rellenos fluidos se puede realizar con los medios comunes empleados en obra como los concretos o morteros.

2.4. Resistencia a la compresión

Es un ensayo con el cual se determina la capacidad que tiene el material de soportar y distribuir cargas. Los valores convencionales de resistencia a

compresión del concreto fluido para relleno varían entre 10 y 30 kg/cm². Por lo general, el concreto fluido para relleno no se requiere de resistencia mayor a 30 kg/cm².

Se considera que el concreto fluido para relleno es un suelo de gran soporte de cargas, ya que un suelo bien compactado tiene una resistencia de 6 a 8 kg/cm², mientras la resistencia límite del concreto fluido para relleno es de 30 kg/cm².

La resistencia a compresión está entre 20 y 85 kg/cm² para subbase y bases de pavimentos, generalmente la resistencia a la compresión de una subbase oscila entre 7 y 14 kg/cm² con un valor relativo de soporte (VRS) igual o superior a 50 % y la resistencia de las bases está entre 15 y 25 kg/cm² con un valor relativo de soporte (VRS) igual o superior a 80 %. Se permite el uso de un relleno fluido de 85 kg/cm² en aquellos sitios donde no habrá futuras excavaciones.

2.5. Clasificación de los rellenos fluidos

Existe una gran diversidad de parámetros con los cuales se podrán clasificar los materiales para relleno fluido, se le puede clasificar por el tipo de uso, si es removido o no, por la cantidad de esfuerzo que se necesite para removerlo, por el tiempo de secado, por su resistencia a la compresión. Esta última, usualmente, se mide con pruebas de resistencia a los 28 días de edad. Por tener 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.

Las tablas que se presentan a continuación indican parámetros de clasificación de materiales de baja resistencia controlada.

Tabla I. **Clasificación de rellenos fluidos por densidad y resistencia**

| Clase | Densidad en servicio Kg/ m ³ | Compresión mínima Kg/cm ² |
|-------|--|---|
| I | 288—384 | 0,7 |
| II | 384—480 | 2,81 |
| III | 480—536 | 5,62 |
| IV | 536—673 | 8,44 |
| V | 673—800 | 11,25 |
| VI | 800—1 281 | 22,5 |
| VII | 1 281—1 922 | 35,16 |

Fuente: código ACI229R Materiales de baja resistencia controlada, clasificación de Rellenos Fluidos por densidad y resistencia tomada del comité.

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 |
| Medio | 15 a 20 (6 a 8) | Nivelación manual |
| Alto | 20 a 53 de diámetro* | Autonivelante |

Fuente: código American Concrete Institute ACI, consistencia de mezcla.

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 |

Fuente: código American Concrete Institute ACI, excavabilidad.

Tabla IV. **Clasificación por tiempos 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 cálidos, grandes volúmenes |

Fuente: código American Concrete Institute ACI, tiempos de fraguado.

2.6. **Ventajas y desventajas**

Al utilizar materiales de baja resistencia controlada presentan aspectos por considerar, como las ventajas y desventajas que influyen directamente con el uso del mismo.

2.6.1. Ventajas

La aplicación más exitosa de ese tipo de mezclas se evidencia por las siguientes ventajas:

- Al ser un producto fluido escurre en todas direcciones rellenando el total de las cavidades sin la aplicación de energía mecánica. La elevada trabajabilidad y baja resistencia les proporcionan una serie de ventajas técnicas.
- Por ser un producto cementicio parecido a los hormigones sus características mecánicas son predecibles a lo largo de su vida útil.
- Puede ser diseñado para que con la capacidad portante adecuada pueda ser fácilmente removible en caso de operaciones futuras, se adaptan a las necesidades propias de la obra.
- Es fácil conseguirlo en el medio.
- La rapidez de la puesta en obra resulta muy ventajosa debido a que al no realizar compactación mecánica se logran ahorros de mano de obra y maquinaria.
- Se puede habilitar el tránsito en menor tiempo porque este material es capaz de endurecer y aceptar recubrimiento luego de finalizar el fraguado.

2.6.2. Desventajas

Los materiales de relleno fluido por utilizar materiales cementicios presentan ciertas desventajas ya que esto hace que los costos del material se eleven dependiendo de la cantidad de cemento y el volumen total a rellenar.

Al no ser mezclado de manera uniforme quedaran porciones de la mezcla únicamente con material selecto y por no realizar ningún tipo de compactación el material quedara suelto, al sobrepasar el contenido de agua del diseño provocara que el exceso de agua al evaporarse disminuya el volumen relleno.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Ensayos y normas

Indican especificaciones y parámetros de las propiedades que debe cumplir el concreto fluido para garantizar su utilidad y funcionalidad. Se evalúan en estado fresco y tienen una fluidez aceptable. En estado endurecido debe cumplir con durabilidad, resistencia y uniformidad.

El objeto de realizar el diseño de mezcla es determinar la combinación más práctica y económica de los materiales que se encuentren a disposición del proyecto a desarrollar.

3.1.1. Pruebas de material fresco

Al realizar las mezclas según el diseño propuesto se llevan a cabo pruebas de desempeño del material recién preparado, lo cual es conocido como estado fresco cuyo estado es plástico y moldeable. Esto se realiza en los primeros 15 minutos de haber concluido la preparación de la misma para poder obtener los datos que indican las normas antes de iniciar el proceso de fraguado.

Los rellenos fluidos requieren exigencias y condiciones dependiendo del tipo de proyecto a desarrollar, deben ser manejables, transportables y de fácil colocación sin perder la homogeneidad. Es un fluido dócil, por lo que deberá presentar cohesión y resistencia.

Se debe tomar en cuenta que para realizar los ensayos de control de calidad del concreto fresco se realizaran los siguientes ensayos:

- Fluidez
- Peso unitario
- Contenido de aire
- Llenado y preparación de moldes para cilindros

Se recomienda realizar en los primeros 5 minutos los ensayos de fluidez, peso unitario, contenido de aire y luego de estos elaborar los cilindros para las pruebas de resistencia protegiéndolos del ataque de los rayos solares, viento, vibraciones o de cualquier fuente que pueda provocar la pérdida de humedad contenida en la mezcla mediante la evaporación del agua la elaboración de los especímenes será según Norma NTG 42057.

3.1.2. Fluidez norma ASTM D 6103

La importancia de la fluidez del relleno fluido es que deberá fluir en el lugar colocado y consolidar debido a su propia resistencia sin necesidad de vibración ni agitación.

La fluidez es la capacidad que tiene las mezclas fluidas para auto compactarse debido a su condición fluida y su propio peso, en determinadas circunstancias dicha propiedad es medida por medio de la prueba de sacudidas. También se puede obtener al mismo tiempo que se realiza el ensayo de revenimiento, debido a que al levantar el cono de Abrams, el concreto fluido se expande por toda la lámina metálica y en ese momento se mide el diámetro que es formada por la mezcla, la misma no debe exceder de 20 pulgadas radiales

Para realizar este ensayo, es necesario contar con el siguiente equipo:

- Cono de Abrams de 12 pulgadas de alto con la base de 8 pulgadas de diámetro y 4 pulgadas en la parte superior.
- Varilla de apisonamiento de 24 pulgadas de longitud y un diámetro de 5/8 de pulgada, lisa con punta redonda.
- Espátula razardora.
- Placa metálica.
- Cinta métrica.

3.1.3. Peso unitario ASTM 6023-07

También se le conoce como peso volumétrico o masa unitaria, da como resultado el peso por unidad de volumen, datos con los que se determina la densidad de la mezcla. La densidad para este tipo de mezclas es una variable importante debido a que de ella dependen varios factores como lo es el aislamiento térmico, la permeabilidad, fluidez, la resistencia entre otros.

El peso unitario se emplea, principalmente, para determinar el rendimiento de la mezcla, el contenido de materiales, verificar la calidad de la mezcla y su grado de compactación. La masa unitaria para los rellenos fluidos varía entre 1 600 a 1 900 kg/m³ y en ocasiones dan valores más ligeros. Esta propiedad es importante para el control de calidad y el diseño de mezcla.

Para realizar este ensayo es necesario contar con el siguiente equipo:

- Recipiente.
- Varilla de apisonamiento de 24 pulgadas de longitud y un diámetro de 5/8 de pulgada, lisa con punta redonda.
- Espátula razardora.

3.1.4. Contenido de aire ASTM 6023-07

En los rellenos fluidos el contenido de aire interno de la mezcla afecta directamente la resistencia a la compresión. Pero también es necesario en casos cuando hay condiciones severas de temperaturas bajas, debido a que el aire incorporado incrementa la habilidad de fluir.

El método para determinar el contenido de aire en la mezcla se basa en la medición del cambio de volumen del concreto fluido sometido a un cambio de presión.

Para realizar este ensayo es necesario contar con el siguiente equipo:

- Recipiente con tapa de acero con capacidad mínima de 7 litros.
- Tapa de acero con cierre hermético provista con los siguientes elementos.
 - Tubo de calibración.
 - Llaves de apreté.
 - Llaves de agua.
 - Bomba de aire.
 - Manómetro.
 - Válvula de purga.

- Cámara de compresión.

3.1.5. Preparación de ensayos de cilindros (NTG-41067, ASTM C 1231)

La preparación de los especímenes y los ensayos de prueba son para testificar la calidad de la mezcla de material fluido usado en obra. Cada ensayo debe contar con la rotura mínima de 4 especímenes de prueba, con normalidad se ensaya a los veintiocho (28) días, debido a que no se puede demorar la obra por mucho tiempo, se realizan ensayos a los siete (7) días y con base a esos resultados se calcula la resistencia correlativa que tendrá a los 28 días.

Dependiendo del volumen del material que se empleará, la cantidad recomendada de muestras al azar son tomadas a cada 10 metros cúbicos para tener un mayor control de la mezcla, cuando el volumen de mezcla a colocar en un (1) día es menor a 10 m^3 , se recomienda realizar especímenes para la prueba de rotura por cada elemento estructural a emplear.

En promedio, la resistencia de todos los cilindros deberá cumplir con una resistencia igual o superior a lo especificado y como mínimo un 90 % de los cilindros debe cumplir con las mismas.

El equipo necesario para efectuar el ensayo es lo siguiente:

- Molde para cilindros normado, de 15x30 cm.
- Varilla de apisonamiento con un diámetro de 5/8 de pulgada y una longitud de 24 pulgadas, lisa y con punta redonda.
- Espátula razardora.
- Cucharón.

- Brocha para engrasar los moldes.
- Aceite para engrasar los moldes.

3.2. Propiedades del material endurecido

Esta propiedad se mide a través del tiempo, que es el lapso requerido para pasar de estado plástico a un estado endurecido, esto depende directamente, del tipo y la cantidad de material cementante. El tiempo de endurecimiento puede ser tan corto como de 1 hora con el uso de aditivos acelerantes o de 4 a 5 horas bajo condiciones normales. Al cumplir los veintiocho (28) días, la mezcla alcanza la resistencia a la compresión a la cual fue diseñada.

El ensayo más importante para la mezcla fluida es el ensayo de resistencia a la compresión debido a que determina la calidad del material, y esta determina una propiedad física fundamental, una mezcla de concreto fluido es bueno si es durable.

3.2.1. Resistencia a la compresión

Un relleno fluido desarrolla una resistencia conforme al tiempo, y las características de compresibilidad y contracción por secado mejoran con el tiempo. Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen del concreto fluido.

Comúnmente los valores de la resistencia a la compresión varían entre 10 a 30 kg/cm². Según el Comité ACI 229 restringe los valores límites de resistencia a la compresión de los rellenos fluidos a 1 200 psi equivalente a 84kg/cm².

Los instrumentos necesarios para realizar este ensayo son los siguientes:

- Cucharón.
- Aceite.
- Brocha para engrasar molde y cilindros.
- Vernier.
- Balanza.
- Máquina a compresión.

4. RESULTADOS

4.1. Materiales y equipo utilizado

Para determinar las características y propiedades de los materiales de baja resistencia controlada será necesario realizar ensayos y para ello contar con materiales y equipo necesario.

4.1.1. Materiales

Los materiales son aquellos con los cuales se realizarán las mezclas y los ensayos respectivos, para el caso se usará: material selecto, cal, cemento y agua.

- Material selecto

Es un suelo que consiste en ripio, tosca, granito desintegrado, gravilla o piedra desintegrada el cual debe estar libre de materia orgánica. Se clasifica según el sistema de clasificación unificado (S.C.U.) con las siglas SM. Es de fácil acceso y se puede encontrar en bancos de materiales que cumplan con las características antes mencionadas.

Figura 1. **Material selecto**



Fuente: elaboración propia, fotografía de material utilizado para efectuar los ensayos de este trabajo de investigación.

- **Cemento**

Es uno de los materiales cementicios que se utilizan en la mezcla para los materiales de baja resistencia controlada, provee cohesión y resistencia a la mezcla. Este material cumple con norma NTG-41095.

Figura 2. **Cemento**



Fuente: elaboración propia, fotografía de material utilizado en elaboración de cilindros para ensayos a compresión de este trabajo de investigación.

- Cal

Es una sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que, al contacto con el agua, se hidrata o se apaga, desprendiendo calor. Esta debe cumplir con la Norma NTG 41018.

Figura 3. **Cal**



Fuente: elaboración propia, fotografía de material utilizado en elaboración de cilindros para ensayos a compresión de este trabajo de investigación.

- Agua

Es utilizado para darle la fluidez correspondiente a la mezcla según sea requerido. El agua debe ser potable, apta para el consumo humano y libre de impurezas.

Figura 4. **Agua**



Fuente: elaboración propia, fotografía de agua potable utilizada en la elaboración de cilindros para ensayos a compresión de este trabajo de investigación.

4.1.2. Equipo

Para realizar los ensayos es necesario contar con el equipo correspondiente los cuales se detallan a continuación:

- Tamices

Es un juego de tamices con distintas graduaciones para realizar el ensayo de granulometría del material selecto a utilizar.

Figura 5. **Tamices**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio de suelos USAC.

- **Recipiente**

El volumen del recipiente es de 7 litros es utilizado para realizar los ensayos de peso unitario para el material selecto y la mezcla de concreto fluido.

Figura 6. **Recipiente**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

- Cucharón y espátula razardora

Estos instrumentos son necesarios durante los ensayos para manipular los materiales a utilizar y la mezcla trabajada.

Figura 7. **Cucharón y espátula razardora**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

- Cono de Abrams

Este es utilizado en el ensayo de fluidez con la prueba del cono invertido sobre una superficie plana como se muestra en la siguiente figura.

Figura 8. **Cono de Abrams**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

- Tapa de acero

Esta debe ser herméticamente sellada y debe contar con los accesorios correspondientes para realizar el ensayo de contenido de aire.

Figura 9. **Tapa de acero**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

- Molde para elaboración de cilindros

Para realizar los especímenes será necesario contar con los moldes correspondientes según la norma.

Figura 10. **Molde para elaboración de cilindros**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

- Cinta métrica, vernier y balanza

Se utilizan para medir el diámetro de flujo, diámetros de cilindros y pesos tanto de material y de especímenes.

Figura 11. **Cinta métrica, vernier y balanza**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

- **Máquina de compresión**

Se utiliza para realizar los ensayos de compresión y se realiza mediante la aplicación de carga hasta llegar al punto de fallo y determinar la carga máxima del cilindro.

Figura 12. **Máquina para ensayos de compresión de cilindro**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada del equipo de laboratorio CII USAC.

4.2. Datos obtenidos

Durante la realización de los ensayos de laboratorio se tomaron los datos de cada uno de ellos para realizar, posteriormente, los cálculos correspondientes de estos.

4.2.1. Ensayos realizados al material selecto

Con el material selecto se realizaron dos ensayos. El primero, según Norma NTG – 41010h2 (ASTM C-29), Ensayo de peso unitario suelto, los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla V. Datos ensayo de peso unitario suelto

| Cantidad de ensayo | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|-------|-------|------|
| Diámetro Interno (cm) | 20,2 | 20,3 | 20,4 |
| Diámetro Externo (cm) | 22 | 22 | 22 |
| Altura (cm) | 21,2 | 21,3 | 21,2 |
| Peso de molde (kg) | 3,72 | 3,72 | 3,72 |
| Peso de molde + arena (gr) | 10,52 | 10,48 | 10,5 |
| Volumen (pie3) | 0,25 | 0,25 | 0,25 |

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2010.

El segundo ensayo corresponde al Análisis granulométrico con tamices y lavado previo según Norma ASTM D6913-04. Se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla VI. **Datos granulométricos**

| Tamices No. | Abertura | % que pasa |
|-------------|----------|------------|
| 3" | 75 mm | 100 |
| 2" | 50 mm | 100 |
| 1 1/2" | 37,5 mm | 100 |
| 1" | 25 mm | 100 |
| 3/4" | 19,0 mm | 97,21 |
| 3/8" | 9,5 mm | 91,45 |
| 4 | 4,75 mm | 86,37 |
| 10 | 2,00 mm | 77,13 |
| 20 | 850 µm | 64,53 |
| 40 | 425 µm | 51,65 |
| 60 | 250 µm | 41,20 |
| 100 | 150 µm | 32,08 |
| 140 | 106 µm | 26,86 |
| 200 | 75 µm | 22,06 |

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2010.

4.2.2. Estudio completo de materiales de baja resistencia controlada

Para conocer las propiedades de materiales de baja resistencia controlada deben realizarse los ensayos de laboratorio detallados en el capítulo 3. Se obtuvieron los datos que se muestran a continuación.

- Fluidez

Este material por ser autocompactable tiene como característica ser fluido, los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla VII. **Fluidez**

| No. Mezcla | medición 1 (cm) | medición 2 (cm) | medición promedio (cm) | medición promedio (pulgadas) |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------------|
| Mezcla 1 1/10 cemento | 18 | 19,5 | 18,75 | 7,4 |
| Mezcla 2 1/20 cemento | 18,8 | 18,75 | 18,75 | 7,4 |
| Mezcla 3 1/20 cal | 15 | 15,5 | 15,25 | 6 |
| Mezcla 4 1/10 cal | 19 | 19,5 | 19,5 | 7,7 |

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2010.

- **Peso unitario**

Para obtener el peso unitario se debe utilizar un recipiente de volumen conocido, para este ensayo se utilizó un recipiente con una capacidad de 7 litros y los pesos que corresponde a cada mezcla es la siguiente:

Tabla VIII. **Peso unitario**

| No. mezcla | Peso recipiente (kg) | Peso recipiente+ material (kg) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------|
| Mezcla 1 1/10 cemento | 2,68 | 14,19 |
| Mezcla 2 1/20 cemento | 2,69 | 14,1 |
| Mezcla 3 1/20 cal | 2,68 | 14,19 |
| Mezcla 4 1/10 cal | 2,68 | 14,17 |

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2010.

- Contenido de aire y temperatura

Estas propiedades se toman luego de realizar la mezcla, antes de llenar los cilindros que se utilizarán para los ensayos de compresión.

Tabla IX. **Contenido de aire y temperatura**

| No. mezcla | Porcentaje de aire (%) | Temperatura (°C) |
|-----------------------|------------------------|------------------|
| Mezcla 1 1/10 cemento | 5,6 | 21 |
| Mezcla 2 1/20 cemento | 5,6 | 20 |
| Mezcla 3 1/20 cal | 6,1 | 20,5 |
| Mezcla 4 1/10 cal | 5,1 | 21 |

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel 2010.

- Resistencia a compresión de cilindros

Para calcular la resistencia a compresión es necesario conocer la carga soportada y el área de corte los cuales se obtienen por medio de la ruptura de cilindros. Según norma NTG 41067 (ASTM C-1231) se realiza la elaboración de 6 cilindros de materiales de baja resistencia controlada a tres edades distintas 3, 7 y 28 días respectivamente. Los datos obtenidos durante los ensayos se detallan a continuación.

Tabla X. Resistencia a compresión

| No. cilindro obra | No. cilindro laboratorio | Fecha de ruptura | Edad en días | Cilindro representativo de la colocación | Peso en kg | Diámetro en cm | Altura en cm | Carga en libras |
|-------------------|--------------------------|------------------|--------------|--|------------|----------------|--------------|-----------------|
| 1 | 96-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 1 1/10 cemento | 8,740 | 15,255 | 29,900 | 1 800 |
| 2 | 97-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 1 1/10 cemento | 8,770 | 15,205 | 30,067 | 1 900 |
| 3 | 98-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 1 1/10 cemento | 8,640 | 15,240 | 29,867 | 3 200 |
| 4 | 99-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 1 1/10 cemento | 8,510 | 15,220 | 29,933 | 3 200 |
| 5 | 132-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 1 1/10 cemento | 8,290 | 15,170 | 29,800 | 8 500 |
| 6 | 133-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 1 1/10 cemento | 8,340 | 15,170 | 29,800 | 8 500 |
| 1 | 100-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 2 1/20 cemento | 8,610 | 15,140 | 30,433 | 600 |
| 2 | 101-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 2 1/20 cemento | 8,720 | 15,155 | 30,217 | 700 |
| 3 | 102-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 2 1/20 cemento | 8,530 | 15,125 | 30,033 | 1 200 |
| 4 | 103-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 2 1/20 cemento | 8,620 | 15,325 | 30,267 | 1 200 |
| 5 | 134-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 2 1/20 cemento | 7,990 | 15,220 | 30,300 | 2 000 |
| 6 | 135-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 2 1/20 cemento | 8,070 | 15,175 | 30,067 | 2 500 |
| 1 | 104-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 3 1/20 cal | 8,590 | 15,195 | 30,183 | 300 |
| 2 | 105-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 3 1/20 cal | 8,540 | 15,140 | 30,200 | 300 |
| 3 | 106-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 3 1/20 cal | 8,420 | 15,210 | 30,067 | 300 |
| 4 | 107-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 3 1/20 cal | 8,510 | 15,170 | 29,967 | 300 |
| 5 | 136-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 3 1/20 cal | 7,590 | 15,145 | 29,667 | 500 |
| 6 | 137-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 3 1/20 cal | 7,730 | 15,195 | 30,067 | 400 |
| 1 | 108-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 4 1/10 cal | 8,770 | 15,105 | 29,967 | 400 |
| 2 | 109-10 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 4 1/10 cal | 8,810 | 15,160 | 29,933 | 300 |
| 3 | 110-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 4 1/10 cal | 8,390 | 15,165 | 29,233 | 500 |
| 4 | 111-10 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 4 1/10 cal | 8,730 | 15,160 | 29,800 | 600 |
| 5 | 138-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 4 1/10 cal | 8,020 | 15,185 | 29,933 | 700 |
| 6 | 139-11 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 4 1/10 cal | 7,960 | 15,185 | 29,517 | 800 |

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos de ensayos de laboratorio CII USAC.

4.3. Cálculos efectuados

Con los datos obtenidos de los ensayos realizados, detallados en la sección 4.2. Se llevan a cabo los cálculos según se detalla de la siguiente manera.

- Peso unitario

Para realizar los cálculos de peso unitario se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{Ecuación 1} \quad P.U = \frac{\text{Peso material+recipiente}-\text{peso recipiente}}{v}$$

Donde:

$P.U$ = Es el peso unitario del material

V = Es el volumen del recipiente

- Resistencia a la compresión

Para determinar la resistencia del material se emplea la ecuación siguiente:

$$\text{Ecuación 2} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Es la resistencia a compresión

P = Es la carga soportada en libras

A = Es el área sobre el cual se aplica la carga

4.4. Resultados obtenidos

Con los datos obtenidos en los ensayos realizados se efectuaron los cálculos y se obtuvieron los resultados siguientes:

4.4.1. Peso unitario suelto material selecto

El material utilizado para los ensayos es una arena limosa color beige con presencia de gravas pómez, El peso específico del suelo suelto es de 957,74 kg/m³

4.4.2. Análisis granulométrico con tamices y lavado previo

El material en análisis presentó su composición física de un 13,63 % de grava, 64,31 % de arena y 22,06 %, La clasificación según el sistema S.C.U es SM y para el sistema P.R.A. A-2-4.

Tabla XI. **Granulometría de material selecto**

| Tamiz | Abertura | % que pasa | Tamiz | Abertura | % que pasa |
|--------|----------|------------|-------|----------|------------|
| 3" | 75 mm | 100 | 10 | 2,00 mm | 77,13 |
| 2" | 50 mm | 100 | 20 | 850 µm | 64,53 |
| 1 1/2" | 37,5 mm | 100 | 40 | 425 µm | 51,65 |
| 1" | 25 mm | 100 | 60 | 250 µm | 41,2 |
| 3/4" | 19,0 mm | 97,21 | 100 | 150 µm | 32,08 |
| 3/8" | 9,5 mm | 91,45 | 140 | 106 µm | 26,86 |
| 4 | 4,75 mm | 86,37 | 200 | 75 µm | 22,06 |

Fuente: elaboración propia, resultados obtenidos del análisis granulométrico del material utilizando el programa de Microsoft Excel 2010.

4.4.3. Estudio completo de materiales de baja resistencia controlada

Los ensayos realizados para este estudio son: peso unitario, porcentaje de aire (%), flujo, temperatura y se determinó la proporción unitaria para cada mezcla, Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XII. **Características de mezcla**

| Características | Mezcla 1 1/10 cemento | Mezcla 2 1/20 cemento | Mezcla 3 1/20 cal | Mezcla 4 1/10 cal |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
| Peso unitario (kg/m ³) | 1 640 | 1 630 | 1 640 | 1 640 |
| Porcentaje de aire (%) | 5,6 | 5,6 | 6,1 | 5,1 |
| Asentamiento | 18,75cm (7,4in) | 18,75cm (7,4in) | 15,25cm (6,0in) | 19,5cm (7,7in) |
| Temperatura (°C) | 21 | 20 | 20,5 | 21 |
| Proporción unitaria | 01:10:2,5 | 01:20:4,9 | 01:20:5,2 | 01:10:2,8 |
| | Cemento:Arena:Agua | | Cal:Arena:Agua | |

Fuente: elaboración propia, resultados obtenidos los cálculos realizados del material selecto utilizando el programa de Microsoft Excel 2010.

4.4.4. Ensayo a compresión para cilindros de concreto según Norma NTG- 41017 h1 (ASTM C-39)

Los testigos fueron ensayados a 3, 7 y 28 días, utilizando dos cilindros por cada diseño de mezcla presentaron una longitud y un diámetro promedio y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XIII. Resistencia a compresión

| No. cilindro obra | No. cilindro laboratorio | Fecha de colocación | Fecha de ruptura | Edad en días | Cilindro representativo de la colocación | Resistencia en Mpa | Resistencia lb/plg ² | Tipo de fractura |
|-------------------|--------------------------|---------------------|------------------|--------------|--|--------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | 96-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 1 1/10 cemento | 0,40 | 60 | 2 |
| 2 | 97-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 1 1/10 cemento | 0,50 | 70 | 2 |
| 3 | 98-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 1 1/10 cemento | 0,80 | 120 | 4 |
| 4 | 99-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 1 1/10 cemento | 0,80 | 120 | 2 |
| 5 | 132-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 1 1/10 cemento | 2,10 | 300 | 2 |
| 6 | 133-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 1 1/10 cemento | 2,10 | 300 | 2 |
| 1 | 100-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 2 1/20 cemento | 0,20 | 30 | 2 |
| 2 | 101-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 2 1/20 cemento | 0,20 | 30 | 2 |
| 3 | 102-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 2 1/20 cemento | 0,30 | 40 | 4 |
| 4 | 103-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 2 1/20 cemento | 0,30 | 40 | 2 |
| 5 | 134-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 2 1/20 cemento | 0,50 | 70 | 2 |
| 6 | 135-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 2 1/20 cemento | 0,50 | 90 | 2 |
| 1 | 104-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 3 1/20 cal | 0,10 | 20 | 4 |
| 2 | 105-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 3 1/20 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 3 | 106-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 3 1/20 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 4 | 107-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 3 1/20 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 5 | 136-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 3 1/20 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 6 | 137-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 3 1/20 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 1 | 108-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 4 1/10 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 2 | 109-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 4 1/10 cal | 0,10 | 20 | 2 |
| 3 | 110-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 4 1/10 cal | 0,10 | 20 | 4 |
| 4 | 111-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 4 1/10 cal | 0,20 | 30 | 2 |
| 5 | 138-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 4 1/10 cal | 0,20 | 30 | 2 |
| 6 | 139-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 4 1/10 cal | 0,20 | 30 | 2 |

Fuente: elaboración propia, resultados obtenidos de los cálculos realizados de los ensayos a compresión utilizando el programa de Microsoft Excel 2010.

En la tabla de resultados se puede observar el comportamiento de las mezclas estudiadas y tuvieron distintas resistencias a la compresión sin embargo la primera que contiene 1:10 cemento: selecto presentó un incremento

de resistencia en el transcurso de las distintas edades ensayadas por lo que es más conveniente utilizar dicho diseño.

4.5. Comparación y análisis de resultados

El peso unitario del material en cada diseño cumplió con los parámetros establecidos según los resultados mostrados en la tabla XII, De las 4 mezclas el diseño más ligero es el que contiene menor cantidad de cemento por tal razón si se desea un material ligero se puede considerar dicho diseño,

Según resultados obtenidos mostrados en la tabla XII, el porcentaje de aire contenido en cada diseño de mezcla con cemento se mantiene en ambos casos, sin embargo, las mezclas con cal varían inversamente proporcional al contenido del mismo, Las temperaturas tienen una ligera variación y es directamente proporcional al contenido de cal o cemento aplicado al diseño,

Con respecto al flujo en las mezclas dependen directamente del contenido de agua y se puede observar que las mezclas que contienen cal requieren de mayor cantidad de agua debido a que la cal es más absorbente, Por tanto, se debe tomar en cuenta la fluidez requerida del material al realizar la mezcla y con ello garantizar que este cumpla con su característica fluida debido a que, con ello, se logra tener una fácil colocación y por lo tanto se cumple con que sea autompactable,

Según tabla XIII en donde se detallan los resultados obtenidos de los cálculos de la resistencia a compresión de las 4 mezclas, debido a la cantidad de cemento el mejor diseño es el primero, que contiene 1: 10 de cemento: selecto ya que presentó una mayor resistencia a la compresión.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las características físicas las cuales son: la consistencia, es de importancia debido a que esta lo hace ser auto nivelado, manejabilidad que hace factible su colocación y transporte, En los 4 diseños de mezcla se observó que las que contienen cemento presentan una mejor consistencia y manejabilidad.
2. Los resultados reflejan que el diseño mezcla de materiales de baja resistencia controlada que presenta las mejores propiedades mecánicas de estos es la mezcla 1 con una proporción unitaria 1: 10 de cemento: selecto, por contener cemento esto ayuda a tener una resistencia mayor a los demás diseños estudiados.
3. Las ventajas de utilizar aglomerantes hidráulicos en la mezcla es que presenta una mayor resistencia con respecto a los aéreos, Las desventajas de los aglomerantes aéreos es que son más absorbentes por tal razón es necesario tener un mayor control de la cantidad de agua a utilizar.
4. Se evaluaron 4 diseños de mezcla de materiales de baja resistencia controlada y se determinó que para el material selecto es más conveniente utilizar como aglutinante el cemento en lugar de cal, debido a que el cemento mejora la resistencia a compresión del material.

RECOMENDACIONES

1. Usar cemento hidráulico, mezclado con selecto, mejora la resistencia del material de baja resistencia controlada.
2. Se debe tamizar el material selecto para evitar partículas de gran tamaño, que puedan afectar la fluidez y absorción de la mezcla.
3. Evitar el exceso de agua en la mezcla debido a que durante la exudación se pierden dichos excesos y cabe la posibilidad de que la cavidad rellena sufra una ligera disminución en el volumen del material.
4. Utilizar materiales de baja resistencia controlada, debido a que este tipo de material por ser autocompactable y autonivelante se evita el uso de equipo que generan gastos de combustible además se ahorra tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. El Salvador, Ingeniería Civil, *Materiales de baja resistencia controlada (Lodocreto)*
<<http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/materiales-de-resistencia-baja.html>>. [Consulta: noviembre de 2017]
2. GONZÁLES RODRÍGUEZ, Alain Rubén, *Análisis y fabricación de materiales de baja resistencia controlada (MBRC) con áridos reciclados*.
<<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17186/AN%20C3%81LISIS%20Y%20FABRICACI%20C3%93N%20DE%20MATERIALES%20DE%20BAJA%20RESISTENCIA%20CON.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2017]
3. GRANADOS MEJÍA, José Salvador, *Aplicación de los parámetros de control ACI (American Concrete Institute), en mezclas de rellenos fluidos de resistencia controlada (lodocreto), variando porcentajes y tipos de cemento*, Trabajo de graduación de Ing, Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador: 2003. 20-102 p.
4. MARTÍNEZ VILLA, Aníbal. *Rellenos fluidos o de densidad controlada*. 1a ed. Argentina: 2003. 6-10 p.

5. MEZA MONRROY, Mildred Aminta, *Control de calidad del concreto fluido para relleno estructural*, Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala: 2008. 68 p.

6. RIVERA PÉREZ, Eduardo Marín, *Uso de rellenos fluidos en la construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala: 2008. 121 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos de mezclas realizadas en laboratorio

Mezcla 1

| Descripción | Cantidad | dimensionales |
|-------------------------------|-------------|---------------|
| Cemento | 4,4 | Kg |
| Selecto | 44,4 | Kg |
| Agua | 11,2 | Litros |
| Fluidez promedio | 18,75 | Pulgadas |
| Temperatura | 19,5 | C |
| Contenido de aire | 5,6 | % |
| Peso de recipiente | 2,68 | Kg |
| Peso de Material + recipiente | 14,19 | Kg |
| Peso unitario | 1 644285714 | Kg/m3 |

Fuente: elaboración propia.

Mezcla 2

| Descripción | Cantidad | Dimensionales |
|-------------------------------|----------|---------------|
| Cemento | 3 | Kg |
| Selecto | 60 | Kg |
| Agua | 14,6 | Litros |
| Fluidez promedio | 18,775 | Pulgadas |
| Temperatura | 18,5 | C |
| Contenido de aire | 5,6 | % |
| Peso de recipiente | 2,69 | Kg |
| Peso de Material + recipiente | 14,1 | Kg |
| Peso unitario | 1 630 | Kg/m3 |

Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Mezcla 3

| Descripción | Cantidad | dimensionales |
|-------------------------------|----------|---------------|
| Cemento | 3 | Kg |
| Selecto | 60 | Kg |
| Agua | 15,5 | Litros |
| Fluidez promedio | 15,25 | Pulgadas |
| Temperatura | 19 | C |
| Contenido de aire | 6,1 | % |
| Peso de recipiente | 2,68 | Kg |
| Peso de Material + recipiente | 14,19 | Kg |
| Peso unitario | 1 644 | Kg/m3 |

Fuente: elaboración propia.

Mezcla 4

| Descripción | Cantidad | dimensionales |
|-------------------------------|----------|---------------|
| Cal | 6 | Kg |
| Selecto | 60 | Kg |
| Agua | 16,6 | Litros |
| Fluidez promedio | 19,5 | Pulgadas |
| Temperatura | 19,5 | C |
| Contenido de Aire | 5,1 | % |
| Peso de recipiente | 2,68 | Kg |
| Peso de Material + recipiente | 14,17 | Kg |
| Peso unitario | 1 641 | Kg/m3 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Datos obtenidos de ensayos a compresión**

Mezcla 1

| Fecha de ensayo | No, cilindro laboratorio | Peso (kg) | Diámetro (cm) | | Altura (cm) | | | Tipo de fractura | Carga (lb) |
|-----------------|--------------------------|-----------|---------------|-------|-------------|------|------|------------------|------------|
| | | | Φ1 | Φ2 | h1 | h2 | h3 | | |
| 25/10/2018 | 1 | 8,74 | 15,26 | 15,25 | 29,7 | 30,2 | 29,8 | 2 | 1 800 |
| 25/10/2018 | 2 | 8,77 | 15,15 | 15,26 | 30,2 | 30,2 | 29,8 | 2 | 1 900 |
| 29/10/2018 | 3 | 8,64 | 15,29 | 15,19 | 29,8 | 30 | 29,8 | 4 | 3 200 |
| 29/10/2018 | 4 | 8,51 | 15,19 | 15,25 | 29,8 | 30 | 30 | 2 | 3 200 |
| 19/11/2018 | 5 | 8,29 | 15,15 | 15,19 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 2 | 8 500 |
| 19/11/2018 | 6 | 8,34 | 15,21 | 15,13 | 29,8 | 29,7 | 29,9 | 2 | 8 500 |

Fuente: elaboración propia.

Mezcla 2

| Fecha de ensayo | No, cilindro laboratorio | Peso (kg) | Diámetro (cm) | | Altura (cm) | | | Tipo de fractura | Carga (lb) |
|-----------------|--------------------------|-----------|---------------|-------|-------------|-------|------|------------------|------------|
| | | | Φ1 | Φ2 | h1 | h2 | h3 | | |
| 25/10/2018 | 13 | 8,61 | 15,1 | 15,18 | 30,4 | 30,6 | 30,3 | 2 | 600 |
| 25/10/2018 | 14 | 8,72 | 15,1 | 15,21 | 30,2 | 30,15 | 30,3 | 2 | 700 |
| 29/10/2018 | 15 | 8,53 | 15,1 | 15,15 | 30 | 30,1 | 30 | 4 | 1 200 |
| 29/10/2018 | 16 | 8,62 | 15,4 | 15,25 | 30,3 | 30,2 | 30,3 | 2 | 1 200 |
| 19/11/2018 | 17 | 7,99 | 15,23 | 15,21 | 30,4 | 30,3 | 30,2 | 2 | 2 000 |
| 19/11/2018 | 18 | 8,07 | 15,2 | 15,15 | 30,1 | 30,2 | 29,9 | 2 | 2 500 |

Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 2.

Mezcla 3

| Fecha de ensayo | No, cilindro laboratorio | Peso (kg) | Diámetro (cm) | | Altura (cm) | | | Tipo de fractura | Carga (lb) |
|-----------------|--------------------------|-----------|---------------|-------|-------------|------|-------|------------------|------------|
| | | | Φ1 | Φ2 | h1 | h2 | h3 | | |
| 25/10/2018 | 19 | 8,59 | 15,19 | 15,2 | 30,2 | 30 | 30,35 | 4 | 300 |
| 25/10/2018 | 20 | 8,54 | 15,1 | 15,18 | 30,1 | 30,2 | 30,3 | 2 | 300 |
| 29/10/2018 | 21 | 8,42 | 15,25 | 15,17 | 29,9 | 30,1 | 30,2 | 2 | 300 |
| 29/10/2018 | 22 | 8,51 | 15,22 | 15,12 | 30 | 29,9 | 30 | 2 | 300 |
| 19/11/2018 | 23 | 7,59 | 15,09 | 15,2 | 29,5 | 29,7 | 29,8 | 2 | 500 |
| 19/11/2018 | 24 | 7,73 | 15,21 | 15,18 | 30,2 | 30 | 30 | 2 | 400 |

Fuente: elaboración propia.

Mezcla 4

| Fecha de ensayo | No, cilindro laboratorio | Peso (kg) | Diámetro (cm) | | Altura (cm) | | | Tipo de fractura | Carga (lb) |
|-----------------|--------------------------|-----------|---------------|-------|-------------|------|------|------------------|------------|
| | | | Φ1 | Φ2 | h1 | h2 | h3 | | |
| 25/10/2018 | 7 | 8,77 | 15,05 | 15,16 | 30 | 30 | 29,9 | 2 | 400 |
| 25/10/2018 | 8 | 8,81 | 15,11 | 15,21 | 30,1 | 29,8 | 29,9 | 2 | 300 |
| 29/10/2018 | 9 | 8,39 | 15,11 | 15,22 | 29,2 | 29,5 | 29 | 4 | 500 |
| 29/10/2018 | 10 | 8,73 | 15,17 | 15,15 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 2 | 600 |
| 19/11/2018 | 11 | 8,02 | 15,15 | 15,22 | 29,8 | 29,9 | 30,1 | 2 | 700 |
| 19/11/2018 | 12 | 7,96 | 15,18 | 15,19 | 29,75 | 29,4 | 29,4 | 2 | 800 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Fotografías

Fotografía 1

Fotografía 2



Fuente: elaboración propia.

Procesos de ensayos de material selecto realizado en la sección de mecánica de suelos.

Fotografía 3

Fotografía 4

Fotografía 5



Fuente: elaboración propia.

Se observa el llenado del cono de Abrams para el ensayo de fluidez.

Continuación de Apéndice 3.

Fotografía 6

Fotografía 7

Fotografía 8



Fuente: elaboración propia.

Se observa el ensayo de temperatura y contenido de aire a la mezcla.

Fotografía 9

Fotografía 10

Fotografía 11



Fuente: elaboración propia.

Ensayos de compresión de cilindros para material de baja resistencia controlada.

Continuación de Apéndice 3.

Fotografía 12




Fuente: elaboración propia.


Procesos de llenado de cilindros para ensayos a compresión.

ANEXO

Anexo 1. Informes de laboratorio.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Informe No.: 432 S.S.A. O.T.: 39,078

No. 15717

Interesado: María Victoria Coyote Hernández

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo

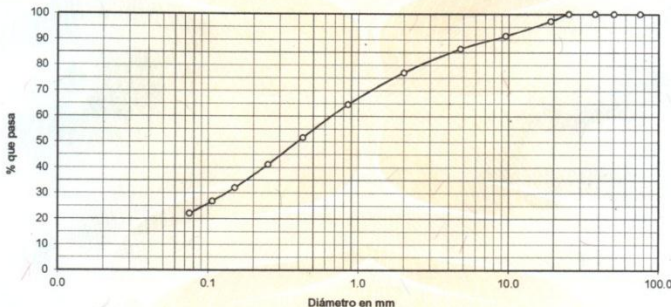
Norma: ASTM D6913-04

Proyecto: Trabajo de graduación "Materiales de baja resistencia controlada, a base de gravas arcillosas"

Ubicación: 3era. Calle 5-88 zona 5, Patzún, Chimaltenango

Fecha: martes, 23 de octubre de 2018

| Análisis con Tamices: | | | | | |
|-----------------------|----------|------------|-------|----------|------------|
| Tamiz | Abertura | % que pasa | Tamiz | Abertura | % que pasa |
| 3" | 75 mm | 100.00 | 10 | 2.00 mm | 77.13 |
| 2" | 50 mm | 100.00 | 20 | 850 µm | 64.53 |
| 1 1/2" | 37.5 mm | 100.00 | 40 | 425 µm | 51.65 |
| 1" | 25 mm | 100.00 | 60 | 250 µm | 41.20 |
| 3/4" | 19.0 mm | 97.21 | 100 | 150 µm | 32.08 |
| 3/8" | 9.5 mm | 91.45 | 140 | 106 µm | 26.86 |
| 4 | 4.75 mm | 86.37 | 200 | 75 µm | 22.06 |




Descripción del suelo: Arena limosa color beige con presencia de gravas pómez


| | | | | |
|----------------|---------|-------|-------------------|---------------|
| Clasificación: | S.C.U.: | SM | % de Grava: 13.63 | D10: * |
| | P.R.A.: | A-2-4 | % de Arena: 64.31 | D30: 0.115 mm |
| | | | % de finos: 22.06 | D60: 0.64 mm |

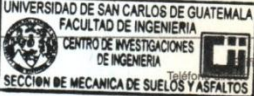
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
* Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,
Vo.Bo. Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos y Asfaltos



Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
DIRECTOR CII/USAC





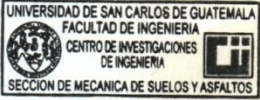

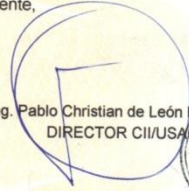



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Calle Emilio Beltrarena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono 418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: informe de ensayo de laboratorio CII USAC.

Continuación de anexo 1

| | | |
|--|--|---|
|  | CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA |  |
| | | No. 15718 |
| INFORME No.: 433 S.S. | O.T.: 39,078 | |
| INTERESADO: | Maria Victoria Coyote Hernández | |
| PROYECTO: | Trabajo de graduación "Materiales de baja resistencia controlada, a base de gravas arcillosas" | |
| ASUNTO: | ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO | |
| NORMA: | ASTM C-29 | |
| DIRECCIÓN: | 3era. Calle 5-88 Zona 5, Patzún, Chimaltenango | |
| DESCRIPCIÓN DEL SUELO: | Arena limosa color beige con presencia de gravas pómez | |
| FECHA: | martes, 23 de octubre de 2018 | |
| <u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u> | | |
| Peso Especifico del Suelo Suelto: 957.74 kg/m ³ | | |
| OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado. | | |
|  | Atentamente, | |
|  Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos y Asfaltos | Vo. Bo. |  Ing. Pablo Christian de León Rodríguez DIRECTOR CII/USAC |
|  | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC- Edificio Emilio Beltránena, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252 Página web: http://cii.usac.edu.gt | | |

Fuente: informe de ensayo de laboratorio CII USAC.

Continuación de anexo 1



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

O.T. No. 39077

INFORME SACM-OTNC-001/2019

No. 001/19

HOJA 1/2

INTERESADO: María Victoria Coyote Hernández, Registro Académico: 2013 14129

PROYECTO: Trabajo de graduación "Materiales de baja resistencia controlada, a base de gravas arcillosas".

DIRECCIÓN: 3ra. Calle 5-88, Zona 5, Patzún, Chimaltenango.

EMISIÓN DE INFORME: 15 de mayo de 2019

| No. CILINDRO OBRA | No. CILINDRO LABORATORIO | FECHA DE COLOCACIÓN | FECHA DE RUPTURA | EDAD en días | CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN | PESO en kg | DIÁMETRO en cm | ALTURA en cm | CARGA en libras | RESISTENCIA MPa | RESISTENCIA lb/in ² | TIPO DE FRACCTURA |
|-------------------|--------------------------|---------------------|------------------|--------------|--|------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-------------------|
| 1 | 96-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 1 1/10 Cemento | 8,740 | 15,255 | 29,900 | 1 800 | 0,40 | 60 | 2 |
| 2 | 97-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 1 1/10 Cemento | 8,770 | 15,205 | 30,067 | 1 900 | 0,50 | 70 | 2 |
| 3 | 98-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 1 1/10 Cemento | 8,640 | 15,240 | 29,867 | 3 200 | 0,80 | 120 | 4 |
| 4 | 99-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 1 1/10 Cemento | 8,510 | 15,220 | 29,933 | 3 200 | 0,80 | 120 | 2 |
| 5 | 132-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 1 1/10 Cemento | 8,290 | 15,170 | 29,800 | 8 500 | 2,10 | 300 | 2 |
| 6 | 133-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 1 1/10 Cemento | 8,340 | 15,170 | 29,800 | 8 500 | 2,10 | 300 | 2 |
| 1,0 | 100-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 2 1/20 Cemento | 8,610 | 15,140 | 30,433 | 600 | 0,20 | 30 | 2 |
| 2,0 | 101-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 2 1/20 Cemento | 8,720 | 15,155 | 30,217 | 700 | 0,20 | 30 | 2 |
| 3,0 | 102-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 2 1/20 Cemento | 8,530 | 15,125 | 30,033 | 1 200 | 0,30 | 40 | 4 |
| 4,0 | 103-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 2 1/20 Cemento | 8,620 | 15,325 | 30,267 | 1 200 | 0,30 | 40 | 2 |
| 5,0 | 134-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 2 1/20 Cemento | 7,990 | 15,220 | 30,300 | 2 000 | 0,50 | 70 | 2 |
| 6,0 | 135-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 2 1/20 Cemento | 8,070 | 15,175 | 30,067 | 2 500 | 0,60 | 90 | 2 |
| 1,0 | 101-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 3 1/20 Cal | 8,590 | 15,195 | 30,183 | 300 | 0,10 | 20 | 4 |
| 2,0 | 105-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla 3 1/20 Cal | 8,540 | 15,140 | 30,200 | 300 | 0,10 | 20 | 2 |
| 3,0 | 106-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 3 1/20 Cal | 8,420 | 15,210 | 30,067 | 300 | 0,10 | 20 | 2 |
| 4,0 | 107-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla 3 1/20 Cal | 8,510 | 15,170 | 29,967 | 300 | 0,10 | 20 | 2 |
| 5,0 | 136-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 3 1/20 Cal | 7,590 | 15,145 | 29,667 | 500 | 0,10 | 20 | 2 |
| 6,0 | 137-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla 3 1/20 Cal | 7,730 | 15,195 | 30,067 | 400 | 0,10 | 20 | 2 |
| 1,0 | 108-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla4 1/10 Cal | 8,770 | 15,105 | 29,967 | 400 | 0,10 | 20 | 2 |
| 2,0 | 109-10 | 22/10/2018 | 25/10/2018 | 3 | Mezcla4 1/10 Cal | 8,810 | 15,160 | 29,933 | 300 | 0,10 | 20 | 2 |
| 3,0 | 110-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla4 1/10 Cal | 8,390 | 15,165 | 29,233 | 500 | 0,10 | 20 | 4 |
| 4,0 | 111-10 | 22/10/2018 | 29/10/2018 | 7 | Mezcla4 1/10 Cal | 8,730 | 15,160 | 29,800 | 600 | 0,20 | 30 | 2 |
| 5,0 | 138-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla4 1/10 Cal | 8,020 | 15,185 | 29,933 | 700 | 0,20 | 30 | 2 |
| 6,0 | 139-11 | 22/10/2018 | 19/11/2018 | 28 | Mezcla4 1/10 Cal | 7,960 | 15,185 | 29,517 | 800 | 0,20 | 30 | 2 |

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización. LL

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC
Edificio Emilio Beltrarena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252

Fuente: informe de ensayo de laboratorio CII USAC.

Continuación de anexo 1



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

O.T. No. 39077

INFORME SACM-OTNC-001/2019

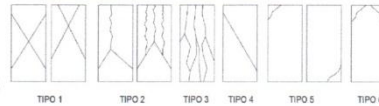
No. 002/19

HOJA 2/2

OBSERVACIONES :

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura 60 000 libras.
- Cilindros cabeceados según norma NTG-41067 (ASTM C-1231)
- El interesado proporcionó:
 - No. de cilindro en obra.
 - Fecha de colocación.
 - Edad de ensayo.
 - El representativo de estructura.
- Información de las mezclas:

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



| Características | Mezcla 1 1/10 Cemento | Mezcla 2 1/20 Cemento | Mezcla 3 1/20 Cal | Mezcla 4 1/10 Cal |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
| Peso unitario (kg/m ³) | 1640,00 | 1630,00 | 1640,00 | 1640,00 |
| Porcentaje de aire (%) | 5,60 | 5,60 | 6,10 | 5,10 |
| Asentamiento | 18,75cm (7,40in) | 18,75cm (7,40in) | 15,25cm (6,00in) | 19,50cm (7,70in) |
| Temperatura (°C) | 21,00 | 20,00 | 20,50 | 21,00 |
| Proporción Unitaria | 01:10:2,50 | 01:20:4,90 | 01:20:5,20 | 01:10:2,2,80 |
| | Cemento:Arena:Agua | | Cal:Arena:Agua | |

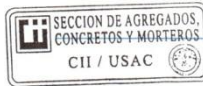
ATENTAMENTE,

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Visa.

Ing. Edwin Josué Ipatá Reyes.
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252

LL

Fuente: informe de laboratorio CII USAC