

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



"DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA EN MEZCLAS DE LODOCRETO
UTILIZANDO SUELOS PLÁSTICOS ESTABILIZADOS
Y MATERIALES GRANULARES"

PRESENTADO POR:

MANUEL ALEXANDER ARRIOLA SÁNCHEZ
EVANGELINA DEL CARMEN GÁMEZ CABALLERO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2010

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO:

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

MSc.ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título :

"DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE
RESISTENCIA EN MEZCLAS DE LODOCRETO
UTILIZANDO SUELOS PLÁSTICOS ESTABILIZADOS
Y MATERIALES GRANULARES"

Presentado por:

MANUEL ALEXANDER ARRIOLA SÁNCHEZ

EVANGELINA DEL CARMEN GÁMEZ CABALLERO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía

Ing. José Miguel Landaverde

Ing. José Raulfo Càrcamo y Càrcamo

San Salvador, Agosto 2010

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

INGRA . LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA

ING . JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE

ING . JOSÉ RANULFO CÁRCAMO Y CÁRCAMO

A G R A D E C I M I E N T O S :

Deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas y entidades que generosamente contribuyeron en la elaboración de nuestro trabajo de graduación.

En especial a:

✚ A nuestros asesores, *Ingeniera Lesly Mendoza, Ing. José Miguel Landaverde e Ing. Ranulfo Cárcamo* quienes con mucha paciencia y entrega nos orientaron en la elaboración del presente trabajo de graduación.

✚ A **C O N C R E T E R A S A L V A D O R E Ñ A (G R U P O H O L C I M)**, en especial al Ing. Guillermo Flores e Ing. Cesar Vega, por habernos proporcionado todo el equipo necesario, así como el préstamo de su laboratorio para el ensaye de los especímenes de prueba, sin los cuales el presente trabajo de graduación no se hubiera podido llevar a cabo.

✚ Al técnico *Carlos Edgardo Morataya*, por habernos brindados su ayuda en los ensayos elaborados en el laboratorio de la escuela de Ing. Civil, queremos que sepa lo valiosa que fue su ayuda para llevar a cabo nuestra investigación.


A todas aquellas personas que siempre estuvieron pendientes de la realización de este trabajo.


M I L G R A C I A S


Carmen G á m e z y M a n u e l A r r i o l a


A G R A D E C I M I E N T O S


Ante todo, deseo agradecer a **Diosito** por permitirme llegar hasta este punto de mi carrera y de mi vida, ya que ha sido Él quien me ha dado las fuerzas y todas las armas para llegar hasta donde desee llevar mi vida.


 **Jesusito Gám ez**, quien es el Papá más bueno, amoroso, comprensivo y luchador que conozco, él es el mejor Papá que Dios pudo darme, gracias a usted soy lo que soy. Papá gracias por todas las porras que me echa todos los días; eso me hace seguir adelante. Gracias por siempre estar a mi lado cuidándome y procurando mi bienestar. Mi deseo es que usted se sienta orgulloso de la persona que soy.

 Quiero agradecer al **Ing. Walter Espinoza**, quien en estos últimos años se ha convertido en un gran apoyo en mi vida y mi gran consejero, gracias por siempre estar ahí para mí.

 **A mi familia y amigos**, quiero agradecerles por toda su comprensión, por siempre estar pendientes de mis cosas y porque siempre están dispuestos a ayudarme con mis proyectos de vida. Todos ustedes forman una parte muy importante de mi vida

 Quiero agradecer de manera muy especial a nuestra asesora, **Ing. Lesly Mendoza**, pues desde el principio de nuestra tesis, estuvo dispuesta a colaborar y nos guio por todo este proceso, poniendo todo su entusiasmo y sobre todo su paciencia en nuestro trabajo

 **Ing. Landaverde**, quiero agradecerle por aceptar guiarnos en nuestra tesis y por prestarnos los recursos del laboratorio para nuestra investigación

 **Ing. Cárcamo**, también quiero agradecerle por aceptar ser nuestro asesor y por confiar en nuestro proyecto.

A todos quiero decirles que gracias a ustedes estoy por cumplir uno de los más importantes sueños de mi vida y por eso, esto se los dedico a ustedes.

Evangelina del Carmen Gám ez

DEDICATORIA .

Dedico este trabajo a:

DIOS TODO PODEROSO :

Por encontraren tí señor, todo el apoyo necesario desde el principio a hasta el fin de mi carrera, por darme la sabiduría, los conocimientos y la fuerza necesaria para seguir siempre adelante hasta culminarla.. Mil gracias.

A MI SANTO NIÑO :

Por estar siempre a mi lado intercediendo por mi, por lo que existe entre nosotros, porque cuando me acerque a tí, me tendiste tus manos.Gracias.

A MI PADRE :

M anuel Arriola, por brindarme siempre su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por estar siempre pendiente, por esos momentos de sacrificio.

A MI MADRE :

Jesús Sánchez de Arriola, por darme esos consejos tan valiosos desde los primeros años de mi vida, por impulsarme a iniciar una educación superior, por la confianza depositada en mí, por el apoyo que me brindaste madre a lo largo de mi carrera.

A MIS HERMANOS :

Elena Guadalupe y Omar Enrique Arriola, por ser más que hermanos, por ser mis amigos, por la unión que existe entre nosotros, por esas palabras de apoyo.

A MIS AMIGOS :

Por brindarme su amistad y a todas las personas que me apoyaron a seguir adelante.

M anuel Alexander Arriola Sánchez.

ÍNDICE

Resumen ejecutivo... .. V

Introducción General... .. VIII

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1. Introducción... .. 2

1.1. Antecedentes... .. 3

1.2. Planteamiento del problema... .. 4

1.3. Objetivos... .. 5

1.4. Alcances... .. 6

1.5. Limitaciones... .. 7

1.6. Justificación... .. 7

CAPITULO II:

**FUNDAMENTOS TEORICOS SOBRE RELLENOS CON MEZCLAS DE BAJA
RESISTENCIA CONTROLADA**

2. Introducción... .. 10

2.1. Generalidades sobre mezclas de baja resistencia controlada... .. 11

2.2. Aplicaciones de los rellenos fluidos... .. 15

2.3. Características de los materiales utilizados en las mezclas de rellenos fluidos ... 19

2.4. Elaboración de diseños de mezcla ... 25

2.5. Propiedades de las mezclas de relleno fluido en estado plástico ... 31

2.6. Propiedades de las mezcla de relleno fluido en estado endurecido ... 35

2.7. Factores que afectan las mezclas de MBRC ... 39

2.8. Mezclado, transporte y colocación ... 42

2.9. Control de calidad (pruebas y ensayos realizados a la mezcla) ... 48

2.10. Generalidades sobre los tipos de suelos a utilizar en el diseño de las MBRC ... 79

CAPITULO III

DEFINICIÓN DE LOS BANCOS Y ENSAYOS QUE SE REALIZARAN A LOS SUELOS EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS DE RELLENO FLUIDO

3. Introducción ... 106

3.1. Ubicación geográfica de los diferentes bancos de suelo a utilizar ... 107

3.2. Reconocimiento y exploración ... 109

3.3. Muestreo ... 114

3.4. Análisis de la muestra para determinar las características físicas de cada suelo. ... 115

3.5. Clasificación de acuerdo a sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). ... 121

3.6. Selección de los bancos de préstamo a utilizar para la elaboración de MBRC ... 124

3.7. Comparación de los resultados obtenidos de la clasificación de los suelos analizados con los tipos de materiales estipulados en el comité ACI 229R para elaboración de MBRC ... 125

3.8. Correcciones a los tipos de suelo seleccionados para su aplicación en las mezclas de MBRC, según los requerimientos en el ACI 229R ... 127

CAPITULO IV

ELABORACION DEL DISEÑO DE MEZCLA.

4. Introducción... 135

4.1. Consideraciones generales para el diseño de MBRC... 136

4.2. Descripción de la metodología a utilizar en el diseño de mezcla... 137

4.3. Diseño de mezcla con el material plástico utilizando en método a: por resistencia ... 138

4.4. Diseño de mezcla con el material granular, combinando comités ACI 229R Y ACI 211. ... 144

CAPITULO V

PRUEBAS DE CONTROL REALIZADAS A LA MEZCLA DISEÑADA.

5. Introducción... 157

5.1. Elaboración de las mezclas... 157

5.2. Resultados de esfuerzos a compresión de los especímenes y análisis de resultados. ... 164

CAPITULO VI**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. Conclusiones...	197
6.2. Recomendaciones...	200

ANEXOS

Bibliografía...	204
Glosario técnico...	208

RESUMEN EJECUTIVO

Las mezclas de baja resistencia controlada (M B R C) son materiales que se utilizan como relleno, su baja resistencia lo hacen excavable y una vez endurecido, es capas de soportar cargas moderadas sin deformarse; de fácil colocación, nivelación y autocompactante; se caracteriza por ser un material cuyo destino principal es la sustitución de un suelo compactado en el relleno de zanjas, bases de pavimentos y cavidades de difícil acceso que requieran ser rellenadas.

Los suelos que son utilizados habitualmente para el relleno de zanjas y excavaciones deben ser compactados en capas en forma adecuada, para evitar asentamientos posteriores a su ejecución, a través de una energía mecánica de compactación y de una humedad óptima; en cambio las M B R C presentan una fluidez específicamente diseñada para permitir el relleno total de las cavidades de una excavación, logrando por sus características específicas, las mejores condiciones de mayor soporte sin necesidad de compactación alguna, especialmente en las áreas de difícil acceso donde los suelos no pueden ser compactados debidamente.

El comité A C I 229 R lo define como sigue: "Material cementante autocompactable de baja resistencia controlada, usado principalmente como relleno en vez de un relleno compactado." Como una definición más completa se puede decir que es un material con características que corresponden a un suelo mejorado y que tiene propiedades tales como alta fluidez y baja resistencia controlada.

Sus componentes son cemento Portland o cementos adicionados, agregado fino, agua, aditivos y/o adiciones, las proporciones varían según los materiales que se emplean y

aplicaciones para la que se va a utilizar la mezcla, pudiéndose dar diferentes rangos de resistencias. Las MBRC son definidas por el ACI 116R como materiales que se traducen en una resistencia a la compresión de 85 kg/cm^2 o menos. La mayoría de las aplicaciones de las MBRC requieren compresión no confinada fuertes de 21 kg/cm^2 o menos. Este requisito de menor resistencia es necesario para permitir la futura excavación. A largo plazo los esfuerzos de compresión de 3.0 kg/cm^2 a 21 kg/cm^2 son bajos en comparación con el concreto. En términos de esfuerzos admisibles, sin embargo, ya que es un criterio común para medir la capacidad del suelo para apoyar una carga, de 3.0 kg/cm^2 a 7.0 kg/cm^2 es equivalente al esfuerzo de un relleno bien compactado.

Debido a que las MBRC generalmente se elaboran con suelo fino del tipo arena limosa o limo arenoso y que dependiendo la ubicación de la obra, el costo de acarreo de este material podría compensarse con la utilización de suelos no tradicionales encontrados producto de excavaciones en obra, aunque muchas veces los suelos encontrados no cuentan con las características adecuadas para ser utilizados en MBRC en el estado natural en que se encuentran en campo, por ejemplo un material con cierto grado de plasticidad que es común en el país o la arena mal graduada que se encuentra en la zona de Santa Elena en San Salvador.

Para ser utilizados como materia prima en MBRC se les debe dar un tratamiento especial que los haga más factibles para este tipo de usos; como la estabilización en el caso del suelo con características arcillosas y la combinación con otro suelo en el caso de la

arena, logrando con estos las características de resistencia y fluidez que caracterizan a las MBRC esto mediante pruebas elaboradas a la mezcla.

Para ello se realizó una serie de visitas de campo y muestreo de materiales de varios posibles bancos, para escoger el que mejor cumpliera con los requisitos de la investigación; a estos materiales se les realizaron ensayos de límites de consistencia y granulometría para determinar sus características físicas y por medio de los resultados de estos ensayos y otros factores como la ubicación del banco, la disponibilidad de material y usos de los suelos, escoger el banco de material idóneo para el desarrollo de la investigación.

Con los materiales seleccionados se realizan diseños de mezcla según lo estipulado en el comité ACI 229R y el comité ACI 211, así también tomando en cuenta las investigaciones realizadas por el Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC).

Los resultados de esfuerzos a compresión a edades de 7, 14 y 28 días en los cilindros elaborados con las mezcla diseñadas con materiales no tradicionales, muestran que existen materiales alternativos para elaborar MBRC, con los cuales se pueden obtener buenas resistencias y considerar igual número de aplicaciones como en las mezclas elaboradas con materiales tradicionales.

INTRODUCCION GENERAL.

Los materiales de baja resistencia controlada (MBRC) conocidos como Lodocreto, son materiales que han sido desarrollados para el reemplazo de suelos compactados en el relleno de zanjas, bases de pavimentos, bases para cimentaciones de edificios y cavidades de difícil acceso que requieran ser rellenas. Es un material de origen cementicio, muy homogéneo que en estado fresco fluye como si fuera un líquido, sin segregar ni exudar, transformándose una vez endurecido en una estructura estable que soporta cargas como si fuera un sólido.

Mediante una dosificación adecuada de la mezcla, puede obtenerse una MBRC con características deseadas dependiendo de la aplicación, como lo es la resistencia a compresión que pueden alcanzar los 85 kg/cm^2 , la mayoría de las aplicaciones de las MBRC requieren compresión no confinada de 21 kg/cm^2 o menos, esto para permitir la futura excavación, un criterio para medir la capacidad del suelo para apoyar una carga, oscila entre valores de 3.0 kg/cm^2 a 7.0 kg/cm^2 , que es equivalente al esfuerzo de un relleno bien compactado.

Generalmente los rellenos granulares y rellenos fluidos se elaboran con suelos finos del tipo arena limosa (SM) o limo arenoso (ML) y en muchas ocasiones existen dificultades de conseguir estos materiales, los cuales son adecuados para elaborar sustituciones de suelo y poder lograr el nivel de compactación requerido y uniforme en todas las capas, al emplear materiales que carezcan de un estudio que refleje su comportamiento, puede dar como resultado deformaciones que pueden ocasionar el asentamiento de capas superiores, bases de cimentaciones o estructuras.

Tomando en cuenta lo anterior, surge la necesidad de conocer, mediante investigaciones en el tema, si podrían utilizarse materiales diferentes a las SM ò ML, los cuales pueden obtenerse de las mismas excavaciones hechas en obra y aprovechar estos materiales en la elaboración de MBRC y de esta manera contar con materiales alternativos para diferentes aplicaciones en rellenos. Por ejemplo un suelo fino plástico y un material granular del tipo arena mal graduada, estos materiales, los cuales en el estado natural en que se encuentran no pueden utilizarse en la elaboración de MBRC, pero al mejorar las propiedades físicas de estos, dependiendo su comportamiento, pueden emplearse en la elaboración de rellenos fluidos.

Este es el principal objetivo del presente trabajo de investigación, conocer mediante resultados, si pueden considerarse a parte de la SM y LM, otros tipos de suelos como una arena mal graduada y un suelo plástico, mejorando las características físicas de estos, en la elaboración de MBRC.

El presente documento esta compuesto por VI capítulos, el capítulo I muestra los objetivos, la justificación y otros lineamientos, que llevaron a realizar este trabajo de investigación. El capítulo II contiene los fundamentos teóricos sobre las mezclas de baja resistencia controlada, en el cual se encuentran definiciones, parámetros de control establecidos por el comité ACI 229R y propiedades del material, con las cuales posterior a su comprensión è interpretación, podrán interpretarse los resultados de esta investigación.

En el capítulo III del presente documento, se muestran los resultados de una serie de visitas de campo, con el fin de realizar un muestreo de materiales en diferentes bancos,

esto para escoger 2 tipos de suelos que cumplieran con las características de la investigación, realizándoles ensayos de límites de consistencia y granulometría; además se describen las formas en que se realizaron las correcciones a cada uno de los materiales extraídos de los respectivos bancos para ser utilizados en la elaboración de M B R C , como la estabilización con cal para el suelo plástico y la combinación óptima con arena limosa para el material granular.

El capítulo IV muestra los diseños de mezcla elaborados con dos métodos de diseño de M B R C para cada uno de los materiales estudiados en esta investigación, los cuales son el material plástico y granular; se presentan los resultados de esfuerzos a compresión en los cilindros elaborados con las mezclas diseñadas a edades de 7 y 28 días, por medio de estos resultados se escogió la mezcla definitiva, la cual se reprodujo para conocer el comportamiento de estos materiales en sustituciones de suelo.

En el capítulo V, se describe la manera como se realizaron las mezclas, tablas y gráficas de resultados obtenidos, así como el análisis de resultados de esfuerzos a compresión obtenidos en los especímenes ensayados.

El capítulo VI, muestra las conclusiones, recomendaciones sobre el comportamiento de estos materiales en la elaboración de M B R C

CAPITULO I

G E N E R A L I D A D E S

1. INTRODUCCION

Una Mezcla de baja de resistencia controlada (M B R C) es un material cementante (hecho a base de cemento) de consistencia fluida que permite su auto compactación, de resistencia inferior a los 85 kg/cm^2 , que se usa principalmente como material de relleno. Estos tipos de rellenos tienen una amplia gama de usos en las obras civiles, ya sea para relleno de zanjas, huecos o cavidades o para la restitución de suelos en cimentaciones de edificaciones, con este tipo de rellenos siempre se obtienen resultados favorables, ya sea por la disminución de tiempo y recursos para su colocación debido a su auto compactación, como también buenos resultados en la resistencia portante de los suelos. Viéndose la importancia de los rellenos en la construcción de obras civiles se ha decidido realizar la siguiente investigación en la que se analizará el comportamiento de dos tipos específicos de materiales (suelos con cierto grado de plasticidad y los suelos granulares) en las mezclas de relleno fluido de resistencia controlada, aplicándoles a estas mezclas los parámetros de control que dictamina el Comité A C I 229 R.

En este documento se pretende dar una descripción del que será el trabajo de graduación el cual denominamos "Determinación de los parámetros de resistencia en mezclas de Lodocreto utilizando suelos plásticos estabilizados y materiales granulares"; para esto se presentan: algunos antecedentes, investigaciones anteriores realizadas sobre el tema de mezclas de rellenos fluidos de resistencia controlada; también se ha incluido el planteamiento del problema, los objetivos, los alcances y limitaciones que tendrá la investigación.

1.1. ANTECEDENTES

Es notable que en las últimas décadas se ha incrementado el uso de materiales de baja resistencia controlada (MBRC) conocida en el medio como Lodocreto, el cual es el resultado de mezclar suelo, cemento y agua en varias proporciones, produciendo mezclas fluidas ó semifluidas, con las cuales se obtiene el mismo efecto que con la compactación mecánica.

A partir de 1970 los MBRC son utilizados en forma masiva en proyectos viales y rellenos en cimentaciones de diversos edificios en U.S.A. En El Salvador, se han desarrollado algunas aplicaciones a partir de la década de los 80's. En el comienzo del nuevo milenio, su utilización ocurre en prácticamente todo tipo de obras civiles.

El Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC) ha realizado constantes Investigaciones y publicaciones; así como impartido cursos acerca de MBRC, pero no se ha investigado cuales es el resultado de utilizar suelos plásticos estabilizados y materiales granulares en la elaboración de MBRC.

Existen varios Trabajos de Investigación realizados en la Universidad de El Salvador con respecto a la utilización de las MBRC, ya sea orientados a la protección de taludes o a la elaboración de viviendas mínimas con este tipo de material; así como un trabajo en particular denominado "Aplicación de Parámetros de Control ACI 229R en MBRC variando porcentajes y tipos de cemento", pero este trabajo de investigación está limitado a 2 tipos de suelos que corresponden a Arena Limosa y Limo Arenoso, por lo cual sólo se puede conocer el comportamiento del material con estos tipos de suelo, dejando un espacio para investigar los efectos que se tendrían al utilizar un material

plástico o un material granular en la elaboración del comúnmente denominado Lodocreto.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un MBRC, es un material cementante, de consistencia fluida, de resistencia menor a 85 kg/cm², que se usa primordialmente como material de relleno. Este material, debido a sus múltiples virtudes, como lo son: la auto compactación, el corto tiempo para elaborar los rellenos, su alta resistencia comparada con un suelo cemento tradicional, ahorro en el uso de maquinaria y mano de obra y su mínimo requerimiento de inspección se vuelve una buena opción para solucionar problemas que frecuentemente se presentan en la construcción de obras civiles.

En nuestro país, generalmente, para la elaboración de MBRC, se utilizan suelos como Arena limosa (SM) y Limo arenoso (ML), ya que estos presentan las mejores características para la elaboración de este tipo de rellenos fluidos autocompactables; pero en muchas zonas de nuestro país este tipo de materiales no se encuentran y se debe echar mano al material que se tenga en el lugar, entre estos: materiales plásticos o materiales granulares. Por lo que se hace necesario contar con una investigación que permita conocer el grado de aplicabilidad en el uso de MBRC utilizando suelos plásticos estabilizados y materiales granulares

1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Determinar los parámetros de resistencia para mezclas de baja resistencia controlada conocidas como Lodocreto utilizando suelos plásticos y materiales granulares.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Investigar sobre las generalidades de las mezclas de MBRC la que incluya, sus características, comportamiento con diferentes materiales y relación agua cemento, así como los parámetros de control de calidad para este tipo de materiales.
- ❖ Definir 2 diferentes bancos de suelo, uno con cierto grado de plasticidad y otro con características granulares.
- ❖ Determinar las características de los materiales a utilizar de cada uno de los bancos establecidos tales como granulometría y límites de consistencia para realizar los diferentes diseños de mezclas.
- ❖ Determinar si los suelos encontrados en los bancos seleccionados cumplen con las especificaciones que rige el Comité ACI 229R para este tipo de materiales y de no ser así hacer las debidas correcciones para que los suelos en estudio mejoren sus características, tanto al material granular como al material plástico.

- ❖ Determinar los métodos de estabilización aplicables a los suelos arcillosos, con el fin de reducir la plasticidad de este tipo de suelo.
- ❖ Elaborar cuatro diferentes diseños de mezcla para cada uno de los materiales (el material plástico y el material granular) y con distintas relaciones agua - cemento verificando sus características de fluidez y resistencia a la compresión, de esta manera concluir cual es el mejor diseño de mezcla a utilizar con este tipo de material.
- ❖ Determinar cuál es el efecto que tiene sobre la resistencia a la compresión de las M B R C la utilización de materiales granulares y suelos plásticos y concluir sobre cuál es el mejor diseño a utilizar a partir de las especificaciones del comité A C I 229.

1.4. ALCANCES

Con el presente trabajo se pretende elaborar M B R C que cumplan con las características que establece el comité A C I 229R, utilizando para ello dos bancos específicos e independientes; uno para el material plástico y el otro banco del cual se extraerá el material granular, esto con el fin de determinar los parámetros de resistencia que presentará la mezcla con estos tipos de materiales. Cabe aclarar que se pretenden realizar 3 ó 4 diseños de mezclas para cada uno de los diferentes materiales en estudio hasta alcanzar un óptimo; uno con suelo plástico estabilizado, dependiendo al tipo al que pertenezca y otro con material granular para aumentar el peso específico de la mezcla y determinar su influencia en los valores de resistencia a la compresión.

Con esta investigación llegaríamos a conocer si los suelos estabilizados y los suelos granulares, pueden formar parte de la lista de materiales a utilizar para la elaboración de rellenos fluidos, dependiendo de los resultados obtenidos al compararlos con las especificaciones del comité ACI 229R.

1.5. LIMITACIONES

- ❖ No hay mucha información bibliográfica con respecto al tema, ya que no hay antecedentes de mezclas elaboradas con suelos plásticos.
- ❖ El estudio estará basado únicamente en dos bancos específicos: uno para el material plástico y otro para el material granular, a pesar de la gran variedad de estos materiales que se encuentran en diferentes zonas de nuestro país, ya que de analizar más bancos la investigación se volvería muy extensa, pero se escogerán para el análisis los materiales que tengan las características más comunes en nuestro medio.
- ❖ Únicamente se realizarán a las muestras de MBRC ensayos de fluidez y resistencia a la compresión ya que en nuestro medio generalmente solo se realizan este tipo de ensayos.

1.6. JUSTIFICACION

En todo proyecto de construcción surge la necesidad de hacer actividades complementarias, tales como relleno de oquedades, estabilización de suelos para fundaciones, rellenos de zanjas para tuberías, etc. Pero muchas veces los suelos encontrados no cuentan con las características adecuadas para ser utilizados en MBRC

en el estado natural en que se encuentran en campo, por ejemplo: un material con cierto grado de plasticidad, o la arena mal graduada que se encuentra en la zona de Santa Elena en San Salvador.

Para ser utilizados como materia prima en rellenos fluidos de resistencia controlada se les debe dar un tratamiento especial que los haga más factibles para este tipo de usos; como la estabilización en el caso del suelo con características plásticas y la combinación con otro suelo en el caso de la arena.

Con este trabajo de investigación se podrá saber la influencia que tiene utilizar estos tipos de materiales en la resistencia a la compresión de la mezcla de relleno fluido en estado endurecido y así establecer si pueden dárseles un mejor uso a los suelos granulares y plásticos.

Este trabajo de graduación serviría a los constructores como apoyo para la mejor utilización del material que se encuentra en obra, para realizar rellenos y de esta manera no se verían en la necesidad de recorrer grandes distancias para el acarreo de material selecto. También la investigación serviría a las empresas dedicadas a comercializar las MBRC, pues tendría ahora la opción de utilizar 2 bancos diferentes al Limo Arenoso y la Arena Limosa para la elaboración de dichas mezclas utilizando los materiales en estudio. Esta investigación determinaría también el tratamiento más adecuado a considerar para este tipo de materiales, con estas características, en otras zonas del país. En caso que alguno de los suelos no presente los resultados esperados quedaría un precedente en el cual reflejaría la inconveniencia de utilizar este tipo de suelos en la elaboración de MBRC.

CAPITULO II

**FUNDAMENTOS
TEORICOS SOBRE
RELLENOS CON
MEZCLAS DE BAJA
RESISTENCIA
CONTROLADA.**

2. INTRODUCCION

El Material de Baja Resistencia Controlada (MBRC) es un material autocompactable de baja resistencia, con una consistencia fluida, que a diferencia de los rellenos granulares, las MBRC pueden ser bombeadas a grandes distancias sin perder las características originales para las que fue diseñado, esta es una de las tantas ventajas que se obtienen al utilizar este tipo de mezclas, sobre esta y otras ventajas se amplía en el literal 2.1 de este capítulo. Estas mismas ventajas hacen que las MBRC sean cada vez más utilizadas actualmente en casi todo tipo de construcciones, de esta amplia gama de aplicaciones que se le dan a las MBRC se habla en el presente capítulo, en el literal 2.2.

En este capítulo, se dan a conocer las propiedades de las MBRC, tanto en estado plástico, así como las propiedades en estado endurecido por las cuales se utiliza como material de relleno, como se podrá observar en los literales 2.5 y 2.6 respectivamente.

Mediante una dosificación adecuada de la mezcla, puede obtenerse una MBRC con características deseadas dependiendo de la aplicación, como resistencias a compresión que pueden alcanzar los 85 kg/cm^2 . Dentro del presente documento, en el literal 2.4 se describe la forma de la elaboración de los diseños de mezcla, así como los métodos de diseño los cuales son por resistencia y por porcentaje de cemento. Además de presentar en el literal 2.10 las generalidades de los suelos arcillosos y granulares que serán utilizados en los diseños de esta investigación.

Un buen control de calidad, se logra con un adecuado plan de control de calidad, sobre este tema y sobre los ensayos aplicables a las MBRC se habla en este capítulo, en el literal 2.9.

2.1. GENERALIDADES SOBRE MEZCLAS DE BAJA RESISTENCIA CONTROLADA

Las mezclas de baja resistencia controlada (M B R C) se caracterizan por ser un muy buen material cuyo destino principal es el remplazo de suelo compactado en el relleno de zanjas, bases de pavimentos y cavidades de difícil acceso que requieran ser rellenadas.

Los suelos, que son utilizados habitualmente para el relleno de zanjas y excavaciones deben ser compactados en capas en forma adecuada, para evitar los continuos asentamientos posteriores a su ejecución, a través de una energía mecánica de compactación y de una humedad óptima; en cambio las M B R C presentan una fluidez específicamente diseñada para permitir el relleno total de las cavidades de una excavación, logrando por sus características específicas, las mejores condiciones de mayor soporte sin necesidad de compactación alguna, especialmente en las áreas de difícil acceso donde los suelos no pueden ser compactados debidamente.

Muchos términos se utilizan actualmente para describir este material, incluyendo relleno fluido, relleno moldeable, relleno de densidad controlada, mortero Fluido, Fluido de cenizas volantes, Cenizas volantes de purines¹, de plástico del suelo-cemento, suelo-cemento de los purines y otros varios nombres; ha prevalecido la denominación de relleno fluido, pues con ésta abarca tanto su función más frecuente, que es la de rellenar, como su consistencia, que para la mayoría de sus aplicaciones suele ser bastante fluida; en cuanto a la definición, tampoco hay un consenso, por ejemplo, el comité A C I 229 R lo

¹ Purín es el nombre de los excrementos líquidos del cerdo. Es muy contaminante. Tienen un contenido aproximado (en proporciones de kg por tonelada) de 2 kg de nitrógeno, 0'5 de fósforo y 3 de potasio. el purín esta relacionado con la biomasa residual húmeda pues el purín esta clasificada en ella.

define como sigue: "*Material cementante autocompactable de baja resistencia controlada, usado principalmente como relleno en vez de un relleno compactado.*"

Como una definición más completa se puede decir que es un material con características que corresponden a un suelo mejorado y que tiene propiedades tales como alta fluidez y baja resistencia controlada. Sus componentes son cemento Portland o cementos adicionados, agregado fino, agua, aditivos y/o adiciones, y es dosificado y mezclado previamente, para ser entregado en estado fresco y listo para colocar en la obra.

Las MBRC convencionales consisten por lo general de agua, cemento portland, las cenizas volantes u otros productos similares, y arenas o agregados gruesos o ambos. Algunos consisten en mezclas de agua, cemento portland, y sólo las cenizas volantes y algunas mezclas de baja densidad constan de cemento portland, agua, espuma y preformados.

Las MBRC son definidas por el ACI 116R como materiales que se traducen en una resistencia a la compresión de 85 kg/cm² o menos. La mayoría de las aplicaciones de las MBRC requieren compresión no confinada fuertes de 21 kg/cm² o menos. Este requisito de menor resistencia es necesario para permitir la futura excavación. A largo plazo los esfuerzos de compresión de 3.0 kg/cm² a 21 kg/cm² son bajos en comparación con el concreto. En términos de esfuerzos admisibles, sin embargo, ya que es un criterio común para medir la capacidad del suelo para apoyar una carga, de 3.0 kg/cm² a 7.0 kg/cm² es equivalente al esfuerzo de un relleno bien compactado y aunque en general MBRC cuesta más por metro cúbico que el relleno granular compactado, sus múltiples ventajas

a menudo se traducirán en un abaratamiento de costos en el lugar. De hecho, para algunas aplicaciones, MBRC es el único método razonable de relleno disponible.

MBRC no deben considerarse como un tipo de concreto de baja resistencia, ya que a largo plazo los esfuerzos de compresión de 3.0 kg/cm^2 a 21 kg/cm^2 son bajos en comparación con el concreto. En general, las MBRC no están diseñadas para resistir efectos a la congelación y descongelación, abrasivos o fuerzas erosivas, o productos químicos agresivos. Sin embargo las MBRC presentan muchas ventajas con respecto a los rellenos fluidos compactados, estas ventajas se detallan en la tabla 2.1.1.

Tabla 2.1.1. Ventajas que se presentan al utilizar las MBRC.²

VENTAJA	DESCRIPCION
Facilmente Disponible.	Se hace uso de materiales disponibles localmente, los proveedores de concreto premezclado pueden producir MBRC y satisfacer la mayoría de necesidades del proyecto.
Facil Entrega.	Camiones concreteros pueden entregar cierta cantidad de MBRC al lugar de trabajo cuando el material es necesario.
Facil Colocación.	Dependiendo del tipo y ubicación de vacío por llevar, se puede colocar MBRC por la tolva, banda transportadora, bomba o cubetas, porque es de autonivelación, se necesita poca o ninguna difusión o compactación. Esto aumenta la velocidad de construcción y reduce mano de obra.
Versatil.	Las MBRC pueden ajustarse para satisfacer las necesidades específicas de los rellenos. La mezcla puede ser ajustada para mejorar la fluidez. Más cemento o cenizas volantes se pueden agregar para aumentar la fuerza. A las mezclas se les puede agregar aditivos para ajustar los tiempos y establecer otras características de funcionamiento. Agregando espumas se produce una mezcla de peso ligero, además de lograr relleno de aislamiento.
Fuerte y Duradera.	La capacidad de carga de MBRC suele ser más alta que los de suelo compactado o rellenos granulares, también son menos permeables, por lo tanto más resistentes a la erosión. Para su utilización como rellenos estructurales, las MBRC pueden ser diseñadas para alcanzar a los 28 días una resistencia a la compresión alta como 85 kg/cm^2 .

² Los datos de la tabla 2.1.1. fueron tomados del comité ACI 229R "Materiales de baja resistencia controlada"

Cont. Tabla 2.1.1. Ventajas que se presentan al utilizar las MBRC.³

VENTAJA	DESCRIPCION
Permite un rápido retorno a tráfico.	Debido a la rapidez de colocación de las MBRC y una temprana capacidad de carga de tráfico, hacen que el tiempo de inactividad para reparaciones de pavimento sea mínimo.
No se Asienta	Las MBRC no dejan espacios vacíos durante la colocación y no se asienta bajo la acción de cargas. Esto es especialmente significativo si el relleno va a ser cubierto por una capa de pavimento. El suelo o relleno granular si no se consolida apropiadamente puede asentarse después de que la losa de pavimento ha sido colocada formando grietas en la vía.
Reduce costos de Excavación.	Las MBRC permiten rellenar zanjas más estrechas sin ampliarlas para dar cabida al equipo de compactación.
Mejora la seguridad del trabajador.	Los trabajadores pueden colocar MBRC en una zanja sin entrar en ella, reduciendo su exposición a posibles derrumbes.
Permite todo tipo de condiciones meteorológicas para la construcción.	Las MBRC suelen desplazar toda el agua de la lluvia, reduciendo la necesidad de bombas de desagüe. Para su producción en lugares de clima frío, los materiales pueden ser calentados mediante los mismos métodos para la calefacción de concreto premezclado.
Puede ser excavado.	Las MBRC que alcanzan esfuerzos de compresión de 3.0 kg/cm ² a 7.0 kg/cm ² son fácilmente excavadas con los equipos tradicionales, pero es lo suficientemente fuerte para la mayoría de las necesidades de relleno.
Requiere menos Inspección.	Durante la colocación el suelo cemento compactado debe ser probado después de cada capa para verificar el soporte suficiente para continuar la compactación. Las MBRC no necesitan continuos ensayos sobre el terreno.
Reduce el equipo necesario.	A diferencia de suelo compactado o relleno granular, las MBRC se pueden colocar sin compactadoras de impacto, rodos, etc.
No requiere almacenamiento.	Dado que las MBRC se entregan en camiones de concreto premezclado en el lugar de trabajo en cantidades necesarias, el almacenamiento del material en el sitio no es necesario. Asimismo no se tiene que recorrer largas distancias para su obtención.
Hace uso de carbón producto de combustión.	Cenizas volantes son producidas por las centrales eléctricas que queman el carbón para generar electricidad. La utilización de cenizas volantes en las mezclas de MBRC produce beneficios al medio ambiente, mediante la utilización de este producto en forma industrial.

³ Los datos de la tabla 2.1.1. fueron tomados del comité ACI 229R "Materiales de baja resistencia controlada"

2.2. APLICACIONES DE LOS RELLENOS FLUIDOS

El término MBRC puede ser usado para describir una familia de mezclas para una variedad de aplicaciones. Por ejemplo, la parte superior límite de 85 kg/cm^2 , permite la utilización de este material para aplicaciones donde las excavaciones futuras son poco probable, como rellenos estructurales en virtud de rellenos de los edificios. La principal aplicación de los MBRC es la colocación en lugares de difícil acceso o como sustituto a los rellenos de suelo compactado. Se detallan a continuación una serie de aplicaciones para este tipo de mezclas:

2.2.1. Rellenos

MBRC pueden ser fácilmente colocadas en una zanja, o en otros agujeros o cavidades. La compactación no es necesaria, por lo tanto el ancho de la zanja o el tamaño de la excavación se pueden reducir. En rellenos granulares o compactados, aunque se compacte bien en el espesor de la capa, no pueden lograrse la uniformidad y la densidad de MBRC.

Cuando se aplica MBRC en muros de relleno, deben examinarse las presiones ejercidas sobre los laterales de la pared. Cuando la presión lateral del flujo es una preocupación, las MBRC pueden ser colocadas en capas y permitir a cada capa que endurezca antes de colocar la capa siguiente.

Las MBRC pueden obtener la resistencia necesaria para soportar el peso de una persona en aproximadamente 2 o 3 horas.

2.2.2. Rellenos Estructurales

Dependiendo de los requisitos de resistencia las MBRC puede ser utilizada para bases de apoyo. La Fuerzas de compresión puede variar de 7 kg/cm^2 a 85 kg/cm^2 , dependiendo de la aplicación.

En el caso de la debilidad de los suelos, se puede distribuir la estructura de la carga sobre un área mayor para clasificación de suelos desigual o no uniforme bajo de zapatas y losas de fundación, MBRC puede proporcionar un modelo uniforme a nivel de superficie. Las fuerzas de compresión pueden variar según los requisitos del proyecto.

2.2.3. Relleno para aislamiento térmico.

Las mezclas de baja resistencia controlada de baja densidad (MBRC-BD) se utilizan generalmente para estas aplicaciones. Las cuáles se obtienen a base de aditivos como espumas que logran mezclas de bajo peso volumétrico. Utilizado donde se requieren condiciones de aislamiento de calor, como por ejemplo suelos adyacentes a pozos geotérmicos, suelos de cimentación y adyacentes a plantas generadoras de energía con motores de combustión, plantas de producción de diversas industrias, etc.

Este tipo de MBRC requiere densidades muy bajas, valores entre $400 - 900 \text{ kg/m}^3$

2.2.4. Bases de pavimentos

Las MBRC pueden utilizarse para bases de pavimento, sub-bases, y sub-rasante. La mezcla se coloca directamente de la mezcladora en el subsuelo entre los moldes. Las fuerzas de compresión pueden variar de 27 kg/cm^2 a 85 kg/cm^2 .

Una superficie sin carpeta requiere más de MBRC porque tiene relativamente pobres propiedades de resistencia al desgaste. Más información sobre los materiales de base en relación con el pavimento se encuentra en el ACI 325.3R.⁴

2.2.5. Encamado de Conductos

Las MBRC proporcionan un excelente material para cama de tuberías, eléctrica, teléfono y otros tipos de conductos. La fluidez característica del material permite la utilización para llenar huecos bajo el conducto y proporcionar un apoyo uniforme.

MBRC pueden ser diseñados para proporcionar resistencia a la erosión por debajo del conducto. Esto no sólo proporciona una base sólida y uniforme de cama de tuberías, también evita filtración de agua entre el tubo y la cama, evitando la erosión de la base.

Cubrir todo el conducto con MBRC también sirve para proteger a los conductos de daños futuros.

2.2.6. Control de la erosión

Los estudios de laboratorio, así como el rendimiento sobre el terreno, han demostrado que MBRC resisten la erosión mejor que muchos otros materiales de relleno. Pruebas de comparación de MBRC con arena y diversos materiales de arcilla demostraron que cuando se expuso MBRC a una velocidad de agua de 0,52 m/s, fue superior a los demás materiales.

MBRC se utilizan a menudo en taludes de terraplén de protección y derrame en las cuencas por debajo de los aliviaderos, para mantener las piezas de roca en su lugar y resistir la erosión. MBRC se utiliza para rellenar los colchones de tejido flexible

⁴ Guía para el diseño de las fundaciones y hombros de pavimentos de Concreto.

colocados a lo largo de los terraplenes de protección contra la erosión, con lo cual aumenta su fuerza y peso. Además de proporcionar una resistencia a la erosión de alcantarillas, M B R C es utilizado para rellenar los huecos bajo las aceras, puentes y otras estructuras naturales donde los rellenos de suelo granular o no cohesivos se han erosionado con el tiempo.

2.2.7. Túnel de pozos y alcantarillas.

Al rellenar túneles y cloacas abandonadas, es importante utilizar una mezcla Fluida. Un suministro constante de M B R C ayudará a mantener el material fluido y hacer que fluyan mayores distancias.

2.2.8. Relleno de sótanos y las estructuras subterráneas, abandonadas.

Estas estructuras suelen rellenarse con M B R C por bombeo o transmitir la mezcla a través de una puerta o ventana abierta.

2.2.9. Relleno de las minas abandonadas

Se han cubierto con M B R C para eliminar el acceso, evitar el hundimiento, hasta el escape de gases peligrosos, corte el suministro de oxígeno para los incendios y reducir o eliminar el drenaje ácido. Es importante que el fluido de M B R C se coloque con un suministro constante para facilitar la uniformidad y reducir al mínimo la cantidad de inyección.

2.2.10. Instalaciones nucleares

M B R C se utiliza en las instalaciones nucleares para aplicaciones convencionales tales como las descritas anteriormente. Proporciona una importante ventaja sobre los

convencionales rellenos granulares y disminuye colocación de personal en exposición a la radiación.

M B R C también se puede utilizar en aplicaciones únicas en instalaciones nucleares, tales como la estabilización de residuos, la encapsulación de cierre de las tuberías y tanques, la encapsulación de vertederos, y la construcción nuevo vertedero.

M B R C se puede utilizar para abordar una amplia gama de sustancias químicas y radionúclidos que requieren estabilización.

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LAS MEZCLAS DE RELLENOS FLUIDOS

Las M B R C, constan generalmente de agua, suelo, cemento portland y otros componentes que ayudan a mejorar las propiedades de estas, ya sea en estado fresco o endurecido. Se describen a continuación las características con las que deben contar los materiales que serán utilizados como parte de las M B R C.

2.3.1. Cemento

El cemento proporciona la cohesión y la fuerza para las M B R C. Para la mayoría de las aplicaciones, se utiliza portland de tipo I o II que se ajusten a la norma ASTM C 150⁵. Otro tipo de cemento, incluyendo mezclas de cementos conforme al ASTM C 595⁶, se puede usar si antes la prueba indica resultados aceptables.

⁵ Especificaciones estándar para cemento Portland. (ASTM C 150)

⁶ Especificaciones estándar para mezclas de cementos Hidráulicos (ASTM C 595).

2.3.2. Cenizas volantes

La combustión de Carbón de cenizas volantes se utiliza a veces para mejorar fluidez. Su uso también puede aumentar la fuerza y reducir sangrado, la contracción y permeabilidad. Un alto contenido de cenizas volantes da como resultado mezclas de baja densidad.

Las cenizas volantes proceden de la combustión del carbón pulverizado en las centrales térmicas y se utilizan para M B R C las clases F (proceden de la combustión de antracitas y carbones bituminosos) o C (proceden de la combustión de lignitos y carbones sub bituminosos) en mayor o menor proporción, con el fin de mejorar la fluidez, incrementar la resistencia a largo plazo y reducir la densidad, exudación, la retracción y la permeabilidad de las mezclas, el uso de las cenizas no es necesario cuando la resistencia de la mezcla esta entre 5 kg/cm^2 y 15 kg/cm^2 .

2.3.3. Aditivos

El aire y espumantes pueden ser valiosos componentes para la fabricación de M B R C. La inclusión de aire en las M B R C puede ayudar a mejorar la manejabilidad, la reducción de contracciones, poco o ningún sangrado, fisuramientos mínimos y menor peso volumétrico. Un mayor contenido de aire también pueden ayudar a mejorar las propiedades de aislamiento térmico y la congelación y descongelación. El contenido de agua puede ser reducido hasta en un 50% cuando se utiliza aire adicionado a las mezclas.

El uso de algunos aditivos puede requerir modificaciones a las típicas mezclas de M B R C, por ejemplo para evitar la segregación al utilizar alto contenido de aire, las

mezclas deben ser proporcionadas con las arenas suficientes para promover la cohesión.

La mayoría de aire arrastrado en mezclas de M B R C es bombeable pero puede requerir mayor presión de bombeo cuando se utilizan bombas de pistones. En todos los casos, las pruebas preliminares deben ser realizadas para determinar aceptabilidad.

En aplicaciones especializadas, tales como la estabilización de residuos, las mezclas M B R C se pueden diseñar para incluir productos químicos y/o minerales o aditivos que sirven a propósitos más allá del simple relleno. Algunos ejemplos incluyen el uso de arcillas como la bentonita⁷ para lograr mezclas con baja permeabilidad.

La inclusión de zeolitas⁸, se puede usar para absorber iones seleccionados o donde se requiere un tratamiento de lodos. Magnetita⁹ o hematites¹⁰ pueden añadirse a la mezcla para proporcionar blindaje contra la radiación en las zonas nucleares.

2.3.4. Agua

El agua que sea aceptable para las mezclas de concreto es aceptable para mezclas M B R C¹¹. Según la norma ASTM C 94 "Hechura de mezcla de concreto", los requisitos de calidad que debe cumplir el agua de mezclado son los siguientes:

⁷ **Bentonita:** es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas que es un filosilicato de estructura trilaminar, independientemente de cualquier connotación genética. Es una arcilla utilizada en cerámica de grano muy fino (coloidal) del tipo de la *montmorilinita* que contiene bases y hierro. El tamaño de las partículas es seguramente inferior a un 0,03% al del grano medio de la caolinita.

⁸ **Zeolita:** Son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 angstrom. Contienen iones grandes y moléculas de agua con libertad de movimiento, para así poder permitir el intercambio iónico.

⁹ **Magnetita:** óxido de hierro magnético. es un mineral de hierro constituido por óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4) que debe su nombre de la ciudad griega de Magnesia. Su fuerte magnetismo a un fenómeno de ferromagnetismo: los momentos magnéticos de los distintos cationes de hierro del sistema se encuentran fuertemente acoplados, por interacciones

¹⁰ **Hematites:** hematites u oligisto es un mineral compuesto de óxido férrico (Fe_2O_3) y constituye una importante mena de hierro ya que en estado puro contiene el 70% de este metal.

- ❖ El agua de mezclado debe ser clara y aparentemente limpia, no debe usarse si contiene sustancias que decoloren o le den sabores u olores raros, indeseables o que causen sospechas de contaminación, a menos que los registros de servicio de concreto hecho con ella u otra información indiquen que no afectan la calidad del concreto.
- ❖ El agua de calidad dudosa debe someterse al criterio de aceptación de resistencia a la compresión de la mezcla elaborada con esta agua a los 7 días del 90% y tiempos de fraguado una hora como mínimo y una hora y media como máximo. También se puede utilizar el agua del lavado de mezcladoras siempre y cuando esta cumpla con los requisitos anteriores.
- ❖ Cuando se utiliza agua de desecho de lavado de mezcladoras debe ponerse atención a sus efectos sobre la proporción de la mezcla y la consecuencia de adición de aditivos y debe usarse una cantidad uniforme en mezclas consecutivas.

2.3.5. Agregados

Los agregados a menudo son los principales constituyentes de una MBRC. El tipo, la clasificación, y la forma de los agregados pueden afectar a las propiedades físicas, tales como la fluidez y la fuerza de compresión. Los agregados para producir el concreto que cumplan con la norma ASTM C 33¹² son generalmente utilizados.

¹¹ Para las mezclas de MBRC los requisitos del agua de mezclado son los mismos que los del agua de mezclado del concreto establecido en la norma ASTM C 94.

¹² "Especificaciones estándar para agregados de concreto" (ASTM C 33)

Los materiales granulares producto de excavaciones con propiedades de menor calidad son una fuente potencial de agregados para MBRC y deben ser considerados. Las variaciones de las propiedades físicas de los componentes de la mezcla, sin embargo, tendrá un efecto significativo sobre el rendimiento de la mezcla.

La arena limosa con hasta un 20% pasante a través de mallas de 75 micras (Núm. 200) ha demostrado cumplir satisfactoriamente los requerimientos de resistencia.

Los Agregados que se han utilizado con éxito incluyen los que cumplen con lo especificado en la norma ASTM C 33, en cuanto a la graduación.

- ❖ La graduación del agregado fino debe cumplir con lo especificado en la tabla 2.3.1.

Tabla 2.3.1. Especificación acerca de la graduación de los agregados finos¹³.

TAMIZ (ESPECIFICACIÓN E11)	PORCENTAJE PASANTE.
9.5 - mm (3/8-in)	100
4.75 - mm (N° 4)	95 a 100
2.76 - mm (N° 8)	80 a 100
1.18 - mm (N° 16)	50 a 85
600 - μm (N° 30)	25 a 60
300 - μm (N° 50)	5 a 30
150 - μm (N° 100)	0 a 10

- ❖ Suelos arenosos, con más de un 10% pasando de tamiz 75 micras (Núm. 200)
- ❖ Residuos de productos de Cantera, generalmente de tamaño nominal de 10 mm (3 / 8 pulgadas).
- ❖ Granos de grava con arena.
- ❖ Agregado grueso que cumpla con las graduaciones que se especifica en la tabla 2.3.2.:

¹³ Tomado de la norma ASTM C 33 "Especificaciones estándar para agregados de concreto".

Tabla 2.3.2 Especificación acerca de la graduación de los agregados gruesos.¹⁴

TAMÑO	TAMÑO NOMINAL (TAMBIÉN CON LAS ABERTURAS CUADRADAS)	PORCENTAJE DE MASA QUE PASA LAS MALLAS													
		100 mm (4 in)	90 mm (3 1/2 in)	75 mm (3 in)	60 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	37.5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	19.0 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 a 3/5 mm (3/2 a 1/2 in)	100	90 a 100	–	25 a 60	–	0 a 15	–	0 a 5	–	–	–	–	–	–
2	60 a 3/5 mm (2/2 a 1/2 in)	–	–	100	90 a 100	50 a 70	0 a 15	–	0 a 5	–	–	–	–	–	–
3	50 a 20 mm (2 a 1 in)	–	–	–	100	90 a 100	50 a 70	0 a 15	–	0 a 5	–	–	–	–	–
3 1/2	50 a 4/5 mm (2 in a No. 4)	–	–	–	100	50 a 100	–	50 a 70	–	10 a 30	–	0 a 5	–	–	–
4	3/5 a 19.0 mm (1/2 a 3/4 in)	–	–	–	–	100	90 a 100	40 a 55	0 a 15	–	0 a 5	–	–	–	–
4 1/2	3/5 a 4/5 mm (1/2 in a No. 4)	–	–	–	–	100	90 a 100	50 a 70	–	10 a 30	0 a 5	–	–	–	–
5	20 a 12.5 mm (1 a 1/2 in)	–	–	–	–	–	100	90 a 100	40 a 55	0 a 10	0 a 5	–	–	–	–
5 1/2	20 a 9.5 mm (1 a 3/8 in)	–	–	–	–	–	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	–	–	–
5 1/4	20 a 4/5 mm (1 in a No. 4)	–	–	–	–	–	100	90 a 100	–	20 a 60	–	0 a 10	0 a 5	–	–
6	19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in)	–	–	–	–	–	–	100	90 a 100	40 a 55	0 a 15	0 a 5	–	–	–
6 1/2	19.0 a 4/5 mm (3/4 in a No. 4)	–	–	–	–	–	–	100	90 a 100	90 a 100	40 a 55	0 a 10	0 a 5	–	–
7	12.5 a 4/5 mm (1/2 in a No. 4)	–	–	–	–	–	–	–	100	100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	–	–
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 in a No. 8)	–	–	–	–	–	–	–	–	100	80 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	–
8 1/2	9.5 a 1.18 mm (3/8 in a No. 16)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	90 a 100	40 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9A	4/5 a 1.18 mm (No. 4 a No. 16)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100	80 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

¹⁴ Tomado de la norma ASIMC 33 ‘Especificaciones estándar para agregados de concreto’.

2.3.6. Materiales no normalizados

Los materiales no normalizados, los cuáles pueden estar disponibles y ser más económicos, también pueden ser utilizados en las MBRC dependiendo de los requerimientos del proyecto. Estos materiales, sin embargo, deben ser ensayados antes de su uso para determinar su aceptabilidad en las mezclas. Algunos ejemplos de los materiales no normalizados que pueden ser usados son: cenizas de fondo producidas en el proceso de combustión del carbón, arena descartada en procesos de fundición y concreto reciclado.

Asimismo, las virutas de madera, ceniza de madera, u otros materiales orgánicos no son adecuadas. Las cenizas volantes con contenidos de carbono hasta el 22% se han utilizado con éxito en las MBRC.

En todos los casos, estos materiales deben someterse a prueba en una MBRC para determinar si cumplen con los requisitos especificados.

2.4. ELABORACION DE DISEÑOS DE MEZCLA

El diseño de MBRC se ha hecho en gran medida por el ensayo de prueba y error hasta que las propiedades de la mezclas son alcanzados. La mayoría de las especificaciones requieren proporciones de los ingredientes; algunas especificaciones exigen características de rendimiento.

En caso de que no se especifican las proporciones, son mezclas de prueba que se ensayan para determinar qué tan bien responden a determinados objetivos para fuerza, fluidez, y densidad realizándose ajustes para lograr las propiedades deseadas.

La tabla 2.4.1. Presenta una serie de proporciones de mezclas, sin embargo, los requisitos y materiales disponibles pueden variar considerablemente de proyecto a proyecto. Por lo tanto, esta información servirá como una guía y no debe utilizarse para fines de diseño sin probar primero los materiales disponibles localmente.

Tabla 2.4.1. Resumen de proporciones de materiales utilizados para la fabricación de MBR C¹⁵:

COMPONENTE	CONTENIDO kg/m ³
Cemento	30 - 120
Cenizas Volantes	0 - 1200
Agregados	1500 - 1800
Agua	190 - 350

El comité ACI 229R proporciona una serie de parámetros los cuales se detallan en la tabla 2.4.2. Los cuales pueden ayudar al diseño de mezclas, la mayoría de las especificaciones, requieren proporcionamientos de componentes y otras requieren desempeños.

¹⁵ Los datos de la tabla 2.4.1. fueron tomados del comité ACI 229R "Materiales de baja resistencia controlada"

Tabla 2.4.2. Parámetros a utilizar para la elaboración de un diseño de MBRC¹⁶

MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIÓN.
Cemento.	30 a 120 kg / m ³	El aumento de cemento manteniendo al mismo tiempo la igualdad de todos los demás factores (es decir agua, cenizas volantes, agregados y la temperatura ambiente) por lo general aumenta la resistencia y reduce el tiempo de endurecimiento.
Cenizas volantes clase F	1,200 kg / m ³	La cantidad de cenizas volantes sera determinada por la disponibilidad y fluidez de las necesidades del proyecto.
Cenizas volantes clase C	210 kg / m ³	
Cenizas trituradas	300 a 500 kg / m ³	Varía según la finura.
Arenas.	1,500 a 1,800 kg / m ³	El contenido total de la arena varía en función de la cantidad necesaria para llevar el volumen de la MBRC después de considerar cemento, cenizas volantes, agua y el aire contenido.
Agregado Grueso.		En general no se utiliza en mezclas de MBRC tan a menudo como las arenas. Cuando se utiliza, sin embargo, el contenido total de agregado grueso es aproximadamente igual al contenido total de arenas.
Agua.	193 a 344 kg / m ³	El agua ofrece una alta fluidez y promueve la consolidación de los materiales. El contenido de agua será mayor con mezclas utilizando agregados finos.
Otros aditivos como : Zeolitas, Minerales pesados y Arcillas.	2 al 10 % del total de la mezcla.	Las cenizas volantes y el cemento puede ser ajustado en consecuencia, manteniendo al mismo tiempo todos los demás factores.

2.4.1. Procedimiento para la elaboración de un diseño de MBRC

El Centro de Investigaciones del ISCYC¹⁷, ha realizado diversos diseños de mezcla con resultados satisfactorios, utilizando el método ACI 211¹⁸ – ACI 229R, el cual requiere los siguientes pasos¹⁹:

¹⁶ Los datos de la tabla 2.4.2. fueron tomados del comité ACI 229R “Materiales de baja resistencia controlada”

Paso 1: Caracterizar el suelo a utilizar, haciendo una clasificación de suelos para propósitos de ingeniería.

Paso 2: Determinar la gravedad específica del suelo, según ASTM D 854²⁰.

Paso 3: Considerar la aplicación que tendrá la mezcla de MBRC, con la finalidad de evaluar la resistencia a especificar en el diseño de mezcla.

Paso 4: Seleccionar el tipo y contenido de cemento, en función de la resistencia especificada y características en estado fresco y endurecida requeridas.

Paso 5: Relacionar tipo y contenido de cemento con el tipo de suelo a utilizar y establecer requerimientos de resistencia a largo plazo.

Paso 6: Determinar el contenido de humedad y absorción del suelo.

Paso 7: Considerar el porcentaje de aire a utilizar.

Paso 8: Seleccionar proporcionamiento propuesto en ACI, u otra fuente confiable, o de registros de experiencias locales (registros propios).

Paso 9: Realizar mezcla de prueba, para obtener una aproximación de la consistencia requerida, peso volumétrico y la correspondiente cantidad de agua.

Paso 10: Utilizar dichos resultados, en el cálculo de diseño de mezclas utilizando ACI 211, obtener cantidades por m³.

Paso 11: Realizar correcciones por humedad.

Paso 12: Calcular cantidades de materiales para mezcla de prueba en laboratorio.

¹⁷ Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto.

¹⁸ Proporcionamiento de mezclas, concreto normal, pesado y masivo.

¹⁹ El procedimiento fue tomado de seminario sobre "Materiales de baja resistencia controlada impartido por el Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto".

²⁰ Método estándar de ensayo para gravedad específica de los suelos (método del picnómetro)

Paso 13: Revisar las propiedades de los MBRC tales como: fluidez, peso volumétrico húmedo, rendimiento y contenido de aire.

Paso 14: Si los resultados anteriores están correctos, realizar las bachadas correspondientes para elaboración y ensayos de especímenes, tiempo de aplicación de carga (Bola Kelly) y tiempos de fraguado por resistencia a la penetración.

En campo generalmente, se utilizan métodos más sencillos para la elaboración de un diseño de mezcla, los métodos se detallan a continuación:

Método A: por resistencia

El objetivo de este método es encontrar una determinada resistencia a la compresión de MBRC, probando con varios porcentajes de cemento con un volumen fijo de suelo.

Paso 1: Se establece la resistencia a la compresión que se necesita obtener a los 28 días.

Paso 2: Se fija el volumen de suelo que se utilizará, como parámetro, para hacer el diseño de mezcla; este puede ser de 0.25, 0.5, 0.75 o 1.00 metros cúbicos.

Paso 3: Se realizan varias mezclas con diferentes porcentajes de cemento, éstos pueden ser desde el 3% hasta el 7%, dependiendo de que tan alta sea la resistencia que se quiera alcanzar.

Paso 4: Se hacen cilindros de las mezclas que se han obtenido del paso 3 y se ensayan para determinar las resistencias que estas mezclas tendrán a diferentes edades (7, 14 y 28 días)

Paso 5: Se grafican los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a los 28 días vrs los porcentajes de cemento utilizados para cada mezcla.

Paso 6: Se intercepta el dato de resistencia requerido con el de los porcentajes de cemento, para obtener la cantidad en porcentaje de cemento que se requerirá para obtener la resistencia que se necesita.

Método B: Por porcentaje de cemento.

El objetivo de este método es obtener una determinada resistencia a la compresión de mezcla de resistencia baja controlada con un porcentaje fijo de cemento, variando las cantidades de suelo a utilizar.

Paso 1: Se establece el porcentaje de cemento que se quiere utilizar.

Paso 2: Se establece la resistencia a la compresión que se necesita obtener a los 28 días.

Paso 3: Se hacen varias mezclas con diferentes cantidades de suelo, teniendo fijo el porcentaje de cemento a utilizar.

Paso 4: Se hacen cilindros de las mezclas que se han obtenido del paso 3 y se ensayan para determinar las resistencias que estas mezclas tendrán a diferentes edades (7, 14 y 28 días)

Paso 5: Se grafican los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a los 28 días vrs los volúmenes de suelo utilizados para cada mezcla.

Paso 6: Se intercepta el dato de resistencia requerido con el de los volúmenes de suelo y de esta manera obtener el volumen de suelo con el que lograremos obtener la resistencia requerida.

2.5. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS DE RELLENO FLUIDO EN ESTADO PLÁSTICO.

2.5.1. Fluidéz.

La fluidez es la propiedad que hace a MBRC única para material de relleno. Hace que la mezcla fluya por el lugar y se consolide debido a su propia consistencia sin acción de la vibración ó agitación; además permite que el material se auto nivele, fluya dentro de un espacio vacío lo llene, y se autocompacte, sin necesidad de emplear el equipo convencional de aplicación y compactación como se muestra en la figura 2.5.1.

Figura 2.5.1. Se muestra la fluidez con la que se coloca las MBRC en una zanja.



La fluidez varía desde rígido hasta fluido dependiendo de los requerimientos. Los métodos para expresar la fluidez incluyen:

- Cono de Abrams

- Cono de flujo (Corp of Engineers Spec. CDR-C 611, o ASTM C 939²¹)
- Ensayo de flujo modificado con cilindro de extremo abierto²² de 7,62 x 15,24 cm .

Los intervalos de fluidez asociados con el ensayo de cono de Abrams pueden ser expresados así:

- Baja fluidez: 15 cm ó menos
- Fluidez normal: entre 15 y 20 cm
- Alta fluidez: más de 20 cm

El ensayo para determinar el flujo de grout, ASTM C-939, se utiliza en mezclas muy fluidas que contienen agregados de tamaño máximo 6.35mm. Se recomienda un tiempo de flujo de 30 ± 5 s medidos por este método.

2.5.2.Segregación.

La separación de los materiales de la mezcla puede ocurrir a niveles muy altos de fluidez cuando ésta es ocasionada principalmente por la adición de agua. Esta situación es parecida a la que se presenta con algunas mezclas de concreto altamente fluidas. Haciendo una dosificación adecuada se puede obtener un alto grado de fluidez sin segregación.

A fin de obtener una alta fluidez sin segregación, se requieren finos adecuados que provocan una buena cohesividad. Generalmente estos finos corresponden a cenizas

²¹ Método estándar de prueba para el flujo de grout (agregados) para concreto, método de cono de flujo (ASTM C-939)

²² Tomada de ASTM D 6103-97 "método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada"

volantes aunque se han utilizado limos y otros finos no cohesivos hasta en 20% del total del agregado. Se deberían evitar los agregados finos plásticos como la arcilla, porque pueden provocar resultados adversos como incremento de la retracción.

2.5.3. Contracción

La contracción tiene que ver con la reducción de volumen las MBRC a medida que elimina el agua contenida y el aire atrapado a través de la consolidación de la mezcla. El agua en exceso empleada para dar fluidez además de la requerida para consolidar e hidratar, es generalmente absorbida por los suelos de los alrededores o se elimina a través de la superficie como agua de exudación.

El valor típico de contracción se encuentra entre 3.1 y 6.35 mm por cada 30 cm de profundidad.

Este valor se encuentra generalmente para mezclas con un alto contenido de agua. Las mezclas con menores contenidos de agua poseen poca o ninguna contracción y los cilindros tomados para la evaluación de la resistencia no experimentan cambios en su altura desde el momento de su elaboración hasta el ensayo.

2.5.4. Tiempo de Fraguado.

El tiempo de fraguado es el periodo aproximado de tiempo requerido para que las MBRC pasen de un estado plástico a un estado endurecido con suficiente resistencia para soportar el peso de una persona. Este tiempo está influenciada por la cantidad y velocidad de salida del agua. Cuando este exceso de agua deja la mezcla, las partículas sólidas se alinean en contacto íntimo y la mezcla se vuelve rígida. El tiempo de fraguado

depende en gran medida del tipo y calidad del cemento. Los factores normales que afectan el tiempo de fraguado son:

- ❖ Permeabilidad y grado de saturación del suelo de los alrededores que están en contacto con los rellenos con M B R C .
- ❖ La fluidez de la mezcla de Relleno .
- ❖ La dosificación de las M B R C .
- ❖ Temperatura de la mezcla y el ambiente .
- ❖ Humedad .
- ❖ Espesor del relleno .

El tiempo de fraguado puede ser tan corto como una hora, pero generalmente tarda de 3 a 5 horas bajo condiciones normales.

Se puede realizar el ensayo de penetración de acuerdo con la norma ASTM C 403 para medir el tiempo de fraguado o la capacidad de soporte aproximada del relleno con M B R C dependiendo del tipo de aplicación.

2.5.5. Bombeo.

La M B R C puede ser bombeada. Al igual que un concreto, la dosificación es un factor crítico. Los espacios vacíos deben ser llenados adecuadamente con partículas sólidas para proveer la cohesividad adecuada para el transporte a través de la línea de bombeo, bajo presión y sin segregación. Un llenado inadecuado de los espacios vacíos resulta de una mezcla que puede segregarse en la bomba y causar el taponamiento de la línea. También es importante mantener un flujo continuo a través de la línea de bombeo. El

flujo interrumpido causa segregación, la cual a la vez restringe el flujo y puede resultar en taponamiento.

Las MBRC con alto contenido de aire pueden ser bombeado aunque se debe de tener la precaución de mantener presiones de bombeo bajas. Un incremento en las presiones de bombeo puede causar pérdidas del contenido de aire reduciendo la capacidad de bombeo de la mezcla.

La capacidad de bombeo se puede aumentar haciendo una buena dosificación que brinde un llenado adecuado de los espacios vacíos en la mezcla. Se puede adicionar cemento para ayudar a la capacidad de bombeo actuando como micro agregados que llenan los espacios vacíos. Sin embargo, cuando se adicionan materiales cementantes se debe tener cuidado en limitar el nivel de resistencia máxima, si se considera una excavación futura.

2.6. PROPIEDADES DE LAS MEZCLA DE RELLENO FLUIDO EN ESTADO ENDURECIDO.

2.6.1. Resistencia (Capacidad de Soporte)

La resistencia a la compresión no confinada es una medida de la capacidad de los rellenos de MBRC para distribuir cargas. Una resistencia a compresión de 3,5 a 7 kg/cm² es equivalente a una capacidad de soporte de un suelo bien compactado. Los métodos de curado que se especifican para el concreto no son esenciales para las MBRC. Para aquellos proyectos ó rellenos en los que se requieren una futura excavación, se debe mantener la resistencia en un nivel bajo.

Algunas mezclas son aceptables en edades tempranas ya que adquieren fuerza con el tiempo, haciendo difícil la futura excavación.

Las resistencias a la compresión no confinada ASTM C-139 son especificadas de acuerdo con su utilización:

- ❖ Zanjas: 5 kg/cm^2
- ❖ Bases de andenes: entre 10 y 20 kg/cm^2
- ❖ Bases de pavimentos: entre 21 y 85 kg/cm^2

Las MBRC son comúnmente utilizadas como un material de relleno alrededor de las estructuras, particularmente en espacios confinados o limitados. El ensayo de resistencia a compresión es efectuado para dar asistencia en el diseño de la mezcla y para servir como una técnica de control durante la construcción. El diseño de la mezcla es típicamente basado en la resistencia a 28 días y ensayos de control de la construcción son efectuados 7 días después de la colocación. La resistencia a la compresión y ensayos a otras edades varían de acuerdo a los requerimientos para el producto terminado.

2.6.2. Densidad húmeda.

La densidad normal de las MBRC en el lugar se encuentra en el rango de 1840 a 2320 kg/m^3 . Esta es superior a la mayoría de los materiales compactados.

Una MBRC con sólo cenizas volantes, cemento y agua debe tener una densidad entre 1440 a 1600 kg/m^3 . Cenizas trituradas registran en las MBRC densidades típicas en el rango de 1360 a 1760 kg/m^3 . La densidad en estado seco de la MBRC puede esperarse que sea sustancialmente menor a la que registra la densidad húmeda debido a la pérdida

de agua. Una unidad de peso más bajo puede lograrse mediante el uso de agregados de peso ligero, altos contenidos de aire y las mezclas de espuma.

2.6.3. Permeabilidad.

La permeabilidad de la mayoría de los rellenos con MBRC son similares a la de los rellenos granulares compactados. Los valores típicos están en el rango de 10^{-4} a 10^{-5} cm/s. MBRC con mayor fuerza pueden lograr permeabilidades tan bajas como 10^{-7} cm/s. Se aumenta la permeabilidad a medida que se reducen los contenidos de cemento y el contenido de agregados se incrementa. Sin embargo, los materiales utilizados normalmente para la reducción de permeabilidad, tales como arcilla bentonita, pueden afectar a otras propiedades y deben someterse a prueba antes de su uso.

2.6.4. Retracción (agrietamiento).

La retracción o agrietamiento no afecta el desempeño de las MBRC. El encogimiento típico lineal está en el intervalo de 0.022 a 0.05 por ciento.

2.6.5. Excavabilidad.

La capacidad de excavar un Relleno con MBRC es una consideración importante en la ejecución de una obra. En general, las MBRC con una resistencia a la compresión de 3 kg/m^3 o menos pueden ser excavadas manualmente. Equipos mecánicos, tales como retroexcavadoras, (como se muestra en la figura 2.6.1), se utilizan para resistencias a la compresión de 7 kg/m^2 a 14 kg/m^2 .

Figura 2.6.1: Muestra el proceso de excavación de un relleno con MBRC, utilizando una retroexcavadora.²³



Los límites para excavabilidad son un tanto arbitrarios, dependiendo de la dosificación de las MBRC.

Mezclas utilizando grandes cantidades de agregado grueso puede ser difíciles de remover manualmente, incluso con bajas resistencias. Mezclas usando arena fina o sólo cenizas volantes han sido excavadas con una retroexcavadora hasta resistencias de 21 kg/m^2 . Cuando la reexcavabilidad del relleno es motivo de consideración, el tipo y cantidad de materiales de cemento es importante. La tabla 2.6.1 muestra los valores de resistencia para tomar en cuenta el equipo adecuado si es necesaria la reexcavación.

²³ Figura tomada del comité ACI 229R "materiales de baja resistencia controlada".

Tabla 2.6.1: Grados de excavabilidad un relleno con MBRC.²⁴

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EXCAVABILIDAD.
Menor a 10	Excavable a mano (pico y pala)
Entre 10 y 30	Excavable con retroexcavadora
Mayor a 30	No excavable (facil de demoler)

2.7. FACTORES QUE AFECTAN LAS MEZCLAS DE MBRC

2.7.1. Tipos de suelo

Influye principalmente por su composición química y su granulometría. Aunque la mayoría de los suelos pueden ser tratados con cemento, se obtienen mejores resultados:

- a) Cuando el suelo no contiene partículas mayores de dos pulgadas (5cm) y menos del 50% de la muestra que pasa la malla # 200.
- b) Cuando el límite líquido sea inferior a 40 y el índice plástico menor de 15
- c) El suelo debe estar libre de materia orgánica y sulfatos menor a un 3%

2.7.2. Cantidad de cemento

La dosificación del cemento es un aspecto fundamental, por cuanto el cemento es un ingrediente de costo elevado y por consiguiente determina la factibilidad económica de la estabilización; es decir, existirá un límite superior que estará fijado por la economía de cada proyecto, siendo éste del orden del 15% de cemento en peso (respecto al peso de la mezcla seca) para fines prácticos; sin embargo, éste límite es muy elástico porque en

²⁴ Tomado de publicación del Instituto Mexicano del cemento y concreto "relleno fluido, un suelo líquido",

algunas circunstancias especiales el análisis de costos del proyecto puede permitir un límite superior hasta del 25% o más.

Por el contrario, entre más gruesos y menos plásticos sean los suelos, comúnmente requerirán menos contenido de cemento para endurecer satisfactoriamente; en este caso, existirá un orden inferior del 5% en peso (1:20 proporción en volumen) y en casos muy extraordinarios hasta del 3% en peso (1:30 proporción en volumen). Lo anterior no es una regla general, porque los suelos con alto contenido de materia orgánica requerirán mayores consumos de cemento que otros suelos con granulometrías y plasticidades idénticas que aquéllos, pero sin materia orgánica. Además los suelos pueden contener otras substancias nocivas a la acción de la hidratación del cemento y sólo un análisis cuidadoso del laboratorio podrá detectar cuando un suelo aparentemente adecuado para suelo cemento, sea un suelo de reacción pobre.

Estos límites para comprobar el endurecimiento satisfactorio del suelo cemento los fijarán los ensayos de rutina de laboratorio, los cuales pueden ser: "Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto" (ASTM C-39), ensayo de saturación y secado (conocido como ensayo de durabilidad), ASTM D-559 "Métodos de Ensayo para saturación y secado en mezclas de suelo cemento compactado" y ASTM D-560 "Métodos de Ensayo estándar para congelación y descongelación de mezclas de suelo cemento compactadas" y sus equivalencias AASHTO T-135 "Método estándar de Prueba para saturación y ensayos de secado en mezclas de suelo cemento compactado" y AASHTO T-136 "Método de prueba estándar para pruebas de congelación y descongelación en mezclas de suelo cemento compactado", entre otros.

2.7.3. Cantidad de agua

En el caso del suelo cemento compactado el efecto de la humedad tiene su mayor importancia durante la compactación, ya que ésta sólo se obtiene cuando se logra la humedad óptima de diseño, por medio del ensayo de densidad-humedad óptimas conocidos como ensayos Próctor (AASHTO T134)²⁵; y al mismo tiempo se emplea como ensayo de control.

En cambio para el diseño de MBRC la cantidad de agua que se añade a la mezcla debe estar en función de la relación agua-cemento (A/C) con la cual se garantiza la resistencia de diseño y una buena trabajabilidad.

2.7.4. Tiempo de colocación de la mezcla

Una mezcla satisfactoria de suelo cemento sólo puede obtenerse si se coloca en un tiempo no mayor de dos horas. Las demoras entre el mezclado y la colocación producen una disminución de la resistencia que debe alcanzarse al colocar la mezcla en su tiempo adecuado, por esta razón nunca debe pasarse más de dos horas (tiempo teórico del fraguado inicial) entre el mezclado y la colocación.

En la norma ASTM C 403 "Método estándar para determinación de tiempos de fraguado en mezclas de concreto por Resistencia a la penetración" se describe un procedimiento para medir el tiempo de fraguado de la mezcla por medio de la resistencia a la penetración.

²⁵ Método estándar de prueba de las relaciones humedad - densidad de las mezclas de suelo cemento.

2.7.5. Curado de MBRC

Siempre que sea posible, se recomienda proporcionar un curado después del fraguado inicial, ya que como ocurre con el concreto, esto favorece la resistencia. El curado debe hacerse por lo menos durante 7 días.

2.8. MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN.

2.8.1. Generalidades

El mezclado, transporte y aplicación de las MBRC sigue generalmente los métodos y procedimientos dados por el comité ACI 304 (Manejo, Transporte y Colocación del Concreto). Sin embargo, otros métodos son aceptables si se cuenta con la experiencia y datos de desempeño previos.

Independientemente de los métodos y procedimientos que se utilicen, uno de los principales criterios es que la MBRC debe de ser, homogénea, consistente y la principal consideración a tomar en cuenta es que debe de cumplir con los requisitos y especificaciones previstas.

2.8.2. Mezcla.

La MBRC puede ser mezclada por varios métodos, incluyendo en las plantas elaboradoras de Concreto y se transporta y distribuye en camiones mezcladores, incluso puede elaborarse en mezcladoras pequeñas móviles de una ó dos bolsas.

Se debe seguir la misma secuencia y procedimiento de carga de los materiales en todas las mezclas realizadas para asegurar la uniformidad y calidad de la MBRC, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

Añadir de 70 a 80% del agua requerida.

Añadir 50% de los agregados finos.

Añadir toda la cantidad de cemento y ceniza volante requerida.

Añadir la cantidad restante de agregados finos.

Añadir la cantidad restante de Agua.

Se debe verificar con anticipación el tiempo de mezclado para asegurar la calidad y uniformidad de la MBRC. Es fundamental realizar un buen amasado de la mezcla por un tiempo mínimo de 5 min. Para lograr la fluidez y estabilidad del material.

2.8.3. Transporte

Las MBRC se transportan en camiones mezcladores, como los que se muestran en la figura 2.8.1. Se requiere que la MBRC sea agitada constantemente durante el transporte y el tiempo de espera para mantener el material en suspensión. Bajo algunas circunstancias la MBRC ha sido transportada en distancias cortas sin equipo de agitación en volquetas. Los camiones agitadores aunque proveen alguna acción de mezclado no previenen el asentamiento de material sólido.

Figura 2.8.1.: Tipos de camión mezclador para transporte de concreto y MBRC²⁶.



²⁶ Tomado de revista N° 39 del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto, diciembre del 2005.

Las MBRC han sido transportadas eficientemente por bombeo mediante un sistema de tuberías similar que el concreto como las que se muestran en la figura 2.8.2 y por banda transportadora.

Fig.2.8.2 Modelo de bombas utilizadas para distribuir lo concreto¹³.



Las MBRC son entregadas por los camiones mezcladores y se vierte fácilmente por canaletas en una condición fluida (como se muestra en la figura 2.8.3) directamente dentro de la cavidad a ser rellena.

Figura. 2.8.3 Colocación del relleno fluido en una cavidad²⁷.



El contenedor del camión debe permanecer en agitación para evitar la segregación. La MBRC puede ser transportada por equipo de bombeo, canaleta ó carretillas hasta su ubicación final. Debido a su consistencia fluida este tipo de materiales puede fluir largas distancias hasta su punto de vaciado

2.8.4. Colocación

Se puede realizar en forma similar a la de los morteros y concretos corrientes con los equipos disponibles en las obras, es decir vertido directo por la canaleta del camión mezclador como se muestra en las figura 2.8.4. Utilización de baldes, carretas, incluso por bombeo a baja presión ó con bombas rotativas como se muestra en las figura 2.8.5. A diferencia de los suelos granulares, la MBRC puede ser bombeada a grandes distancias sin perder las características originales para las que fue diseñado.

¹⁴ Tomado de revista concreto en la practica de la Nacional Ready Mixer Concrete Asociación (NRMCA)

*Figura 2.8.4 Vertido directo de la canaleta del camión*²⁸.



*Figura 2.8.5 Colocación de MBRC por bombeo a través de tubería.*²⁹



No se requiere vibración interna ni compactación puesto que la MBRC se consolida bajo su propio peso. La MBRC se auto nivela debido a su fluidez.

²⁸ Tomado de revista Morteros fluidos ó de densidad controlada. Ing. Anibal Martínez Villa.

²⁹ Tomado de Revista ISC Y C N° 39 diciembre 2005.

Para rellenar zanjas, la MBRC debe aplicarse de manera continua. Para contener la MBRC cuando se están rellenando zanjas por etapas o estructuras con extremos abiertos, los extremos pueden ser bloqueados con formaletas, sacos de arena, barreras de arena o mezclas rígidas hasta que el relleno endurezca.

Para las camas de tuberías, el Relleno Fluido debe ser aplicado en capas de 0.10 m. Para prevenir que la tubería flote y se debe esperar que cada capa endurezca antes de aplicar la siguiente. La MBRC no es auto portante y adiciona carga sobre la tubería. Cuando se tienen tuberías largas y flexibles, la MBRC debe colocarse en capas para que se desarrolle un soporte lateral a lo largo de la tubería antes de colocar el Relleno Fluido fresco sobre la tubería.

El relleno de muros de contención también requiere que el Material Fluido sea colocado en capas de modo que se prevenga una sobrecarga del muro. La MBRC se puede colocar directamente sobre el agua sin que ocurra segregación. En áreas confinadas La MBRC desplaza el agua hacia la superficie donde puede ser removida fácilmente.

Dado su alta fluidez, el Material fluye grandes distancias para llenar espacios vacíos y cavidades localizadas en lugares de difícil acceso. Los espacios vacíos no necesitan limpieza pues la lechada llena las irregularidades y envuelve cualquier material suelto.

2.9. CONTROL DE CALIDAD (PRUEBAS Y ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA).

Independientemente del tipo de obra a construir, de la evolución histórica del tema de control de calidad y de los criterios que actualmente rigen, existen aspectos fundamentales y de sentido común que proporcionan considerables aportes en la obtención de la calidad esperada en la obra. Partiendo de la definición básica proveniente del Latín Qualitas Atés, la calidad es una propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie.

El alcance de un control de calidad para las MBRC puede variar dependiendo de la experiencia, la aplicación, materias primas utilizadas, y el nivel de calidad deseado.

El programa de control de calidad puede consistir en simples inspecciones visuales, o puede incluir ensayos de resistencia a la compresión, prueba de revenimiento o de fluidez de la mezcla.

Es responsabilidad del especificador determinar un adecuado Programa de control de calidad que asegure que el producto será adecuado para su uso.

Cuando se hace una aplicación crítica, el volumen a colocares considerable, no se tienen registros de la mezcla a utilizar, los materiales utilizados en la mezcla no están normalizados, o cuando la uniformidad de la mezcla es cuestionada, es apropiado efectuar ensayos de consistencia y resistencia. Las propiedades tanto en estado fresco con en estado endurecido, pueden ser medidas para evaluar la consistencia y desempeño de la mezcla.

Se sugiere que en la mayoría de proyectos donde se utilice este material, realizar un diseño de mezcla y realizar los ensayos previos de fluidez, peso unitario, resistencia, tiempo de aplicación de carga, una vez realizado el programa de ensayos previos, definir que ensayos de campo deberán realizarse.

Los siguientes procedimientos de prueba y métodos se han utilizado para evaluar las mezclas de MBRC.

2.9.1. Práctica estándar para muestreo en una mezcla fresca de material de baja resistencia controlada (MBRC) regido por la norma ASTM D 5971³⁰

Esta práctica explica el procedimiento para obtener una muestra representativa para ensayo en una mezcla fresca de material de baja resistencia controlada (MBRC) como se entrega en el sitio del proyecto. Esta práctica incluye el muestreo de tambores revolventes, camiones mezcladores y equipos agitadores usados para transporte desde la mezcladora central de MBRC.

La muestra de MBRC para ensayo de resistencia a la compresión deberá tener un mínimo de 0.014 m^3 . Para otros ensayos, el tamaño compuesto deberá ser suficientemente grande para efectuar el ensayo y asegurar una muestra representativa de la revoltura que fue tomada.

³⁰ Tomado de la norma ASTM D 5971 "Práctica estándar para muestreo en una mezcla fresca de material de baja resistencia controlada (MBRC)"

Procedimiento de muestreo:

1. Muestreo de Tambores Revolvedores, Camiones Mezcladores o Agitadores:

Muestree el MRBC en dos o más intervalos regularmente espaciados durante la descarga de la media porción de la revoltura. Estas muestras de agarre serán obtenidas dentro del tiempo límite especificado en el literal 2 y compuesta en una muestra para propósitos de ensayo. De todos modos no obtenga muestras hasta después de que toda el agua ha sido adicionada a la muestra; también no obtenga muestras de la primera o última porción de la descarga del mezclador. Muestree pasando repetidamente un recipiente a través de la descarga del chorro completo o desviando completamente la descarga dentro de un contenedor de muestras. Regule la razón de descarga de la revoltura mediante la razón de revoluciones del tambor y no por el tamaño de la compuerta abierta.

2. El lapso de tiempo entre la obtención de las porciones inicial y final de la

muestra compuesta será tan corta como sea posible y en ningún momento deberá exceder 2 min

3. Transporte la muestra compuesta al lugar donde los ensayos con MBRC fresco

serán efectuados o donde los especímenes de ensayo serán moldeados. La muestra compuesta deberá combinarse y remezclarse con una pala o cuchara, la mínima cantidad necesaria para asegurar uniformidad y conforme con el tiempo mínimo límite especificado en el literal 4.

4. Inicie los ensayos para consistencia de flujo "Método de Ensayo para

Consistencia de Flujo del material de Resistencia Baja Controlada MBRC"

(Método de Ensayo ASTM D 6103), peso unitario y contenido de aire “Método de Ensayo para Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) en material de MBRC” (Método de Ensayo ASTM D 6023) dentro de 5 min después de obtener la porción final de la muestra compuesta. Complete estos ensayos tan rápidamente como sea posible. Inicie el moldeo de especímenes para ensayos de resistencia “Método de Ensayo para preparación y ensayo de cilindros con MBRC” (Método de Ensayo ASTM D 4832) dentro de 10 min después de obtener la porción final de la muestra compuesta. Mantenga el tiempo transcurrido entre la obtención y uso de la muestra tan corto como sea posible y proteja la muestra del sol, viento y otras fuentes de evaporación rápida y de contaminación.

2.9.2. Método de ensayo para el revenimiento de MBRC, regido por la norma ASTM C143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”.

Método de ensayo estándar es utilizado para determinar el revenimiento del concreto hidráulico, pero es el mismo procedimiento que se utiliza para determinar el revenimiento de MBRC.

El propósito del ensayo de revenimiento (asentamiento) del MBRC es determinar la consistencia de la mezcla fresca y verificar la uniformidad de la mezcla de bachada a bachada. Este ensayo está basado en el método ASTM C-143 “Método de ensayo

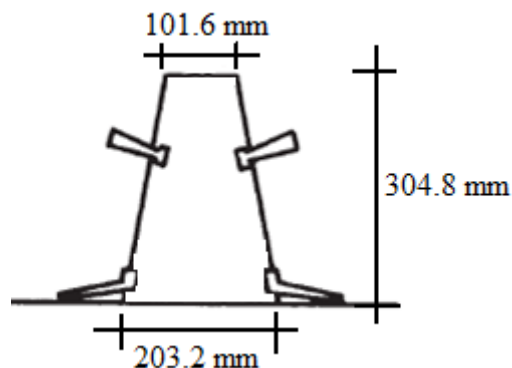
estándar para el Concreto de cemento portland.” Este método de ensayo cubre la determinación del revenimiento de M B R C , en el laboratorio y en el campo .

Especificaciones del equipo a utilizar³¹:

- ❖ **Moldes:** El espécimen de ensayo será formado en un molde metálico que no sea susceptible al ataque de la pasta de cemento. La lamina metálica no será menor que el calibre No. 16 (B W G) y la unión estará formada por un proceso de doblado, este no tendrá puntos en el molde, en el cual su espesor es menor que 1.14 m m . El molde tendrá la forma en la superficie lateral de un cono truncado con una base de 203 m m de diámetro, en la parte superior 102 m m de diámetro y una altura de 305 m m . Los diámetros individuales y la altura tendrán una tolerancia de ± 3.2 m m en las dimensiones prescritas. La base y la parte superior serán abiertas y paralelas una respecto a la otra y en ángulo recto con el eje del cono. El molde estará provisto con piezas para el pie y agarraderos, similar al que se muestra en la Fig. 2.9.1 El molde puede ser construido con o sin costura. El interior del molde será relativamente liso y libre de proyecciones tales como remaches salientes. El molde estará libre de abolladuras.

³¹ Tomado de la especificación ASTM C143 - 90 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”. Pg. 1

Figura 2.9.1 Forma y dimensiones de molde para realizar ensayo de revenimiento.



- ❖ **Apisonador:** El apisonador será una varilla de acero recta y lisa de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo redondeado de tipo semiesférico con diámetro de 15.88 mm.

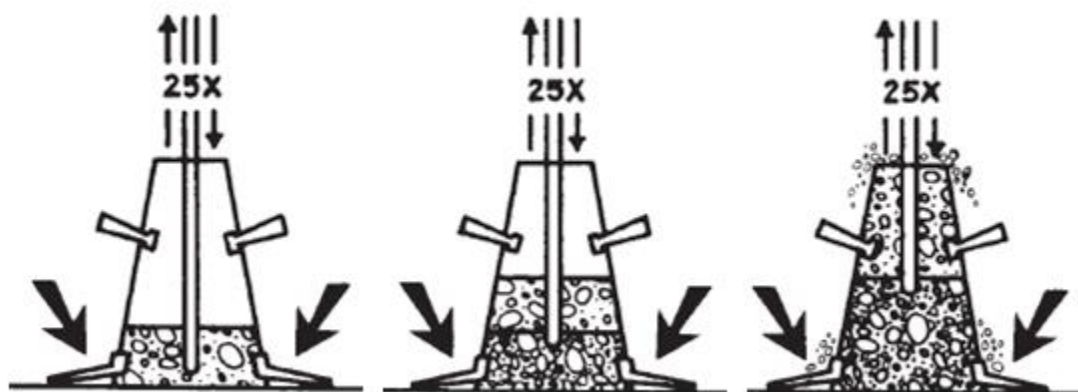
Procedimiento del ensayo³²:

1. Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, húmeda y no absorbente (rígida). Será sujetado por el operador firmemente en su lugar durante el llenado, colocándose sobre las dos piezas para pie. se llenará inmediatamente el molde en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde.
2. Apisone cada capa con 25 golpes de la varilla. Distribuya uniformemente los apisonamientos sobre la sección de cada capa. Para la capa inferior será necesario inclinar la varilla ligeramente y hacer aproximadamente la mitad de los apisonamientos cerca del perímetro y luego avanzar espiralmente con

³² Tomado de la especificación ASTM C143 - 90 "Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico". Pg. 2

apisonamientos verticales hacia el centro. Apisone la capa inferior en todo su espesor. Apisone la segunda capa y la capa superior, cada una a través de su espesor, de tal manera que los apisonamientos penetren ligeramente en la capa inferior, el procedimiento se ilustra en la figura 2.9.2

Figura 2.9.2: Ilustración de la manera correcta de llenar el molde en el ensayo de revenimiento³³



3. Al llenar y apisonar la capa superior, acumular la mezcla sobre el molde antes de iniciar el apisonado. Si de la operación de apisonado, la mezcla se asienta bajo el borde superior del molde, añadir mezcla para mantener un exceso sobre ese borde todo el tiempo. Después que la última capa ha sido apisonada, alisar la superficie de mezcla por medio de un movimiento de rodar la varilla, como se ilustra en la figura 2.9.3

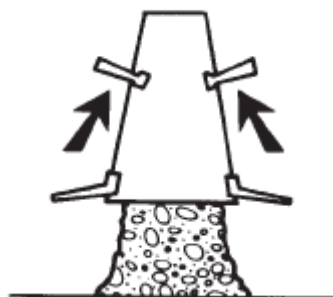
³³, ¹⁴ Figura tomada del documento "Prueba de revenimiento del concreto, procedimiento recomendado" escrito por BASF The chemical company

Figura 2.9.3: Muestra la forma de alisar la superficie para quitar el exceso de mezcla³⁴



4. Inmediatamente remover el molde de la mezcla, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, como muestra la figura 2.9.4. Levante el molde una distancia de 304.8 mm en 5 ± 2 segundos mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin movimiento lateral o torcional. El ensayo completo desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, deberá hacerse sin interrupción y terminarse en un lapso de tiempo de 2.5 min

Figura 2.9.4.: Se muestra el método para levantar el molde³⁵



³⁴ Figura tomada del documento "Prueba de revenimiento del concreto, procedimiento recomendado" escrito por BASF The chemical company

³⁵ Figura tomada del documento "Prueba de revenimiento del concreto procedimiento recomendado" escrito por BASF The chemical company

5. Medir inmediatamente el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre el borde del molde y el centro original desplazado de la cara superior del espécimen como se ilustra en la figura 2.9.5. Si ocurre una decidida caída o cortante del concreto de un lado o porción de la masa como la que se muestra en la figura 2.9.6, descarte el ensayo y haga uno nuevo con otra porción de la muestra. Si dos ensayos consecutivos en una muestra de concreto presentan una caída o corte en una porción de la mezcla de la masa del espécimen, la mezcla probablemente carece de la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de revenimiento sea aplicable.

Registre el revenimiento en términos de pulgadas (milímetros) con una precisión de 6 mm de hundimiento del espécimen durante el ensayo como sigue:

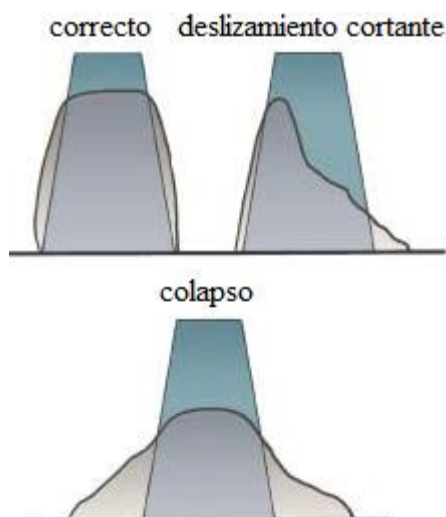
Revenimiento = 12 - pulgadas de altura después del asentamiento.

*Figura 2.9.5: Muestra la forma de medición del revenimiento.*³⁶



³⁶ Figura tomada del documento "Prueba de revenimiento del concreto procedimiento recomendado" escrito por BASF The chemical company

Figura 2.9.6 Tipos de caídas de la mezcla en el ensayo de revenimiento³⁷.



2.9.3. Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada (M B R C), regido por la norma ASTM D 6103 - 97³⁸

Este método de ensayo cubre el procedimiento para la determinación de la consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada (M R B C) fresco. Este método de ensayo aplica al M B R C fluido con un tamaño máximo de partículas de 19.0 mm o menos, o para la fracción de M B R C que pasa la malla de 19.0 mm.

Especificaciones del equipo a utilizar:

- ❖ El cilindro de flujo será un tubo recto de acero, plástico u otro material no absorbente, no reactivo con el M B R C conteniendo cemento portland, con 150 mm de longitud y 76 mm de diámetro interno. Los diámetros individuales y

³⁷ Figura tomada del documento "Conceptos básicos del concreto" capítulo 3 "Pruebas del concreto" pg. 2 editado por el Instituto Mexicano del cemento y del concreto.

³⁸ Extraído de la norma ASTM D 6103 - 97 "Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada (M B R C)"

longitudes estarán dentro de 3 mm de las dimensiones prescritas. El cilindro será construido de tal manera que los planos de los extremos sean paralelos uno al otro y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro. El cilindro de flujo tendrá un interior liso, abierto en ambos extremos y una forma rígida que sea capaz de sostener sus dimensiones bajo condiciones de uso severo.

- ❖ Recipiente de muestreo y Mezclado: será un contenedor apropiado, carretilla, etc., de suficiente capacidad para permitir fácilmente el muestreo y re mezclado de M B R C .
- ❖ Aparatos de llenado: Cuchara, balde o pala de suficiente capacidad para facilitar el llenado del cilindro de flujo de una manera rápida y eficiente.
- ❖ Superficie no porosa: Un cuadrado de 0.6 m , o alargado, hecho de un material no poroso que sea también no corrosivo, tal como acrílico, aluminio moldeado, o acero inoxidable. La superficie debe ser lisa, libre de defectos y rígida.

Procedimiento del ensayo:

1. Colocar la superficie no porosa en un área plana y nivelada que esté libre de vibraciones u otras perturbaciones
2. Humedecer el cilindro de flujo con agua y colocarlo en el extremo, sobre una superficie nivelada, lisa y no absorbente. Sostener firmemente en el lugar durante el llenado.
3. Remezclar completamente el M B R C , la mínima cantidad necesaria para asegurar uniformidad, en el recipiente de muestreo y mezclado.

4. Con el aparato lleno, meter la cuchara en la porción central del recipiente y vierta el MBRC en el cilindro de flujo. Llene el cilindro de flujo hasta completarlo o escasamente sobrellenado. Este paso se ilustra en la figura 2.9.7.

*Figura 2.9.7 Ilustra el procedimiento de llenado del cilindro de flujo*³⁹



5. Enrasar la superficie con una regla metálica hasta que la superficie esté a nivel con el borde superior del cilindro de flujo, mientras se sostiene el cilindro de flujo en su lugar. Remueva algún derrame lejos del cilindro después de enrasarlo.
6. Dentro de 5 s de llenado y enrasado, levantar el cilindro de flujo rápida y cuidadosamente, en dirección vertical. Levante el cilindro de flujo al menos 15 cm con un movimiento constante hacia arriba, sin movimiento lateral o torsional, como muestra la figura 2.9.8. en un período de tiempo entre 2 y 4 s. Completar el ensayo desde el inicio de llenado hasta remover el cilindro de flujo sin interrupción dentro de un tiempo de 1.5 min.

³⁹ Tomado de revista N° 39 de Diciembre del 2005, del Instituto Salvadoreño del cemento y concreto, artículo "Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada (MRBC) pg. 19

Figura 2.9.8. Muestra la forma de levantar el cilindro de flujo⁴⁰.



7. Inmediatamente medir el diámetro extendido resultante de M B R C. Tomar dos mediciones del diámetro extendido, uno perpendicular al otro. Las mediciones deben ser, en la figura 2.9.9 se muestra la forma de medición del la muestra extendida de M B R C

Figura 2.9.9. Muestra como se deben realizar las mediciones del diámetro extendido de M B R C⁴¹



⁴⁰ Tomado de revista N° 39 de Diciembre del 2005, del Instituto Salvadoreño del cemento y concreto, artículo "Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada (MRBC) pg. 20

⁴¹ Tomado de revista N° 39, de Diciembre del 2005, del Instituto Salvadoreño del cemento y concreto, artículo "Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada (MRBC) pg. 20

8. Se deben registrar de las dos mediciones a la precisión de 1 cm. Deben calcularse el promedio de las dos mediciones redondeando a 5 mm más cercano y reportarlo como el promedio de consistencia de flujo de la MBRC.

2.9.4. Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBRC) regido por la norma ASTM D 4832⁴²

Este método de ensayo cubre los procedimientos para la preparación, curado, transporte y ensayo de especímenes cilíndricos de material de baja resistencia baja controlada (MBRC) para la determinación de la resistencia a la compresión. Este método de ensayo también puede ser usado para preparar y ensayar especímenes de otras muestras de suelo y material cementante, tales como cenizas volantes autocementantes.

Especificaciones del equipo a utilizar:

- ❖ Moldes cilíndricos de un solo uso: Moldes plásticos de un solo uso de 15 cm de diámetro y por 30 cm de altura con tapadera hermética, conforme a la Especificación C 470. Otros tamaños y tipos de moldes pueden ser usados tan grandes como la relación longitud a diámetro sea 2 a 1. Los moldes de 15 x 30 cm son preferidos a causa de la baja resistencia del material y el área de la superficie grande de los extremos de los cilindros.
- ❖ El recipiente será un contenedor adecuado de calibre pesado, carretilla, etc. de suficiente capacidad para permitir fácilmente el muestreo y mezclado, para

⁴² Tomado de ASTM D 4832 "Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBRC)"

permitir la preparación de al menos dos cilindros y para otros ensayos tales como los descritos en Métodos de Ensayo ASTM D 5971 “Practica para muestreo en una mezcla fresca de MBRC”, (ASTM D 6024) “Método de Ensayo para caída de bola en MBRC para determinar convenientemente la aplicación de carga”, ASTM D 6023 y ASTM D 6103

- ❖ El contenedor de almacenamiento será una caja de madera robustamente construida, aislada, firmemente reforzada con una cubierta u otro contenedor adecuado para almacenamiento de los cilindros de MBRC en el sitio de la construcción. El contenedor deberá estar equipado, como sea necesario, para mantener la temperatura inmediatamente adyacente a los cilindros en el rango de 16 a 27° C. El contenedor será marcado para identificación y tendrá un color claro para evitar perturbaciones.

- ❖ El contenedor de transporte será una caja de madera robusta u otro contenedor adecuado construido para minimizar golpes, vibración, o daño a los cilindros de MBRC cuando son transportados al laboratorio

- ❖ La máquina de ensayo a la compresión deberá reunir los requerimientos descritos en el Método de Ensayo ASTM C 39 “Método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”

- ❖ El ambiente de curado (baño de agua, arena húmeda, cuarto húmedo) que reunirá los requisitos del Método ASTM C 192 “Práctica para elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio” Los cilindros pueden ser curados en el mismo ambiente de curado usado para cilindros de concreto en el laboratorio desarrollando el ensayo.

- ❖ Herramientas y accesorios que puedan ser requeridos tales como cucharas, palas, enrasadores y cucharones

Descripción del ensayo:

Para la preparación de los especímenes.

1. Se deben moldear los especímenes sobre una superficie horizontal rígida y nivelada, libre de vibración y otras perturbaciones. Los especímenes deben ser preparados en un lugar tan cercano como sea práctico a la localización donde serán almacenados durante los primeros cuatro días.

2. Mezcle completamente el MBRC en el recipiente de muestreo y mezclado. Con un balde ó pala y cucharones, a través de la porción central del receptáculo

3. Coloque el MBRC dentro del molde cilíndrico. Repita hasta que el molde este lleno. Coloque una tapadera sobre el molde. En la figura 2.9.10. Se pueden observar los especímenes de MBRC.

Figura 2.9.10. Muestra de especímenes de MBRC⁴³



Curado:

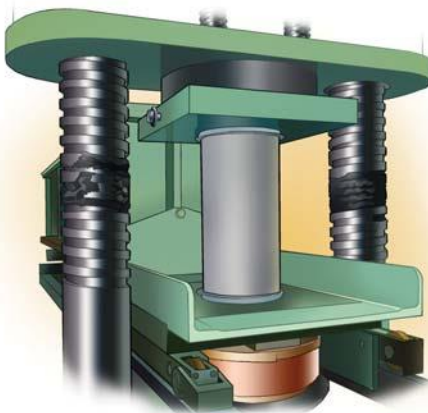
1. Para el curado almacene los cilindros en el sitio de construcción en el contenedor de almacenamiento hasta el cuarto día después de la preparación. Los cilindros deberán ser almacenados bajo condiciones que mantengan la temperatura inmediatamente adyacente a los cilindros en el rango de 16 a 27°C. Los cilindros siempre pueden ser protegidos del congelamiento.
2. Después del primer día, proporcione una humedad ambiental alta, cubriendo los cilindros con paños húmedos u otro material altamente absorbente.
3. Al cuarto día, cuidadosamente transporte los cilindros al sitio del curado en el contenedor para transporte y colóquelos en un curado ambiental.

⁴³ Tomado de la revista N° 40 del ISCYC Marzo 2006.

Ensayo a la compresión:

1. Coloque el bloque de carga inferior, con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o placa de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque descarga con asiento esférico superior.
2. Limpie las caras de los bloques de carga superior e inferior y del espécimen de ensayo y coloque el espécimen de ensayo en el bloque de carga inferior.
3. Cuidadosamente alinee el eje del espécimen con el centro del cabezal del bloque con asiento esférico. Como el bloque con asiento esférico es llevado para apoyarse en el borde superior del espécimen, rótelolo de su posición móvil, suavemente con la mano para obtener asiento uniforme en la figura 2.9.11 se muestra la forma de colocación de los cilindros en la máquina de ensayo.

*Figura 2.9.11. Muestra la forma de colocación de los cilindros de concreto en la máquina de ensayos a compresión.*⁴⁴



⁴⁴ Figura tomada de la publicación "El concreto en la obra: problemas, causas y soluciones", editado por el Instituto Mexicano del cemento y del concreto, pg 3

4. Aplique la carga continuamente y sin golpe. Aplique la carga a una razón constante de tal forma que el cilindro falle en no menos de 2 min. No haga ajustes en los controles de la máquina de ensayo cuando un espécimen esta cediendo rápidamente, inmediatamente antes de la falla. Aplique la carga hasta que el espécimen falle y registre la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo. Alrededor de uno por cada diez cilindros continúe la carga hasta que el cilindro quiebre lo suficiente para observar la apariencia del interior del espécimen. Note alguna aparente segregación, lentes, bolsas y la uniformidad en el espécimen.
5. Calcule y registre la resistencia a compresión de los especímenes como sigue:

$$C = P / A = 4P / \pi D^2$$

Donde.

C = Resistencia a la compresión, kPa (lbf/pulg),

D = Diámetro nominal del cilindro (normalmente 15 cm), y

P = Carga máxima, kg.

2.9.5. Método de ensayo estándar para caída de bola en material de baja resistencia controlada (M B R C) para determinar convenientemente la aplicación de carga, regido por la norma ASTM D 6024⁴⁵

Esta especificación explica la determinación de la capacidad del material de baja resistencia controlada (M B R C) a resistir carga mediante la caída repetida de un peso metálico sobre el material en el lugar.

⁴⁵ Tomado de norma ASTM D 6024 "Método de ensayo estándar para caída de bola en material de resistencia baja controlada (M B R C) para determinar convenientemente la aplicación de carga"

Este método de ensayo es usado primeramente como un ensayo de campo para determinar la preparación del M B R C para aceptación de cargas previo a la adición de una superficie de uso temporal o permanente, no es un medio para predecir la capacidad de carga de una mezcla de M B R C .

Este ensayo es uno de una serie de ensayos de control de calidad que pueden ser efectuados sobre el M B R C durante la construcción para monitorear la concordancia con los requisitos de la especificación .

Especificaciones del equipo a utilizar:

- ❖ Aparato Caída de Bola: un cilindro con un fondo en forma semiesférica y maneral con una masa de 14 ± 0.05 kg, y un estribo o marco para guiar el maneral.
- ❖ Peso: El cilindro pesado (bola), será de aproximadamente 15 cm de diámetro y 12 cm de altura, con el borde superior en ángulo recto con el eje y el fondo en forma semiesférica de 75 mm de radio. El cilindro pesado puede ser fabricado de metal en existencia o moldeado o hilado, proporcionándole las dimensiones y peso con el maneral que reúna los requisitos, el acabado es liso.
- ❖ Maneral: El maneral será una barra metálica, con 13 mm de diámetro. El maneral puede ser en forma de T o un rectángulo cerrado en el borde superior para permitir agarrarlo con la mano.
- ❖ Estribo: El estribo será al menos 38 mm de ancho. El marco del estribo esta adherido seguramente a bloques que se elevan 9 cm .

Descripción del ensayo:

1. La superficie del MBRC necesitará ser tan nivelada como sea posible mediante autonivelado o por acción de un escaso barrido con herramientas de mano. Ponga la base elevada del aparato en la superficie nivelada del MBRC, con el maneral en posición vertical y libre para deslizar a través del marco. Ponga escasa presión en el marco con su mano libre para estabilizar el dispositivo. Levante el maneral en lo posible permitiendo que el borde superficial de la bola haga contacto con la parte de abajo del marco del estribo. Libere el peso permitiéndole caer libremente a la superficie del MBRC. Repita esto por un total de cinco veces en cada localización ensayada. Antes de ensayar una nueva localización del MBRC en el lugar, remueva algún material que se haya adherido a la bola del ensayo previo. En la figura 2.9.12 se muestra la forma correcta de colocación del aparato.

*Figura 2.9.12. Colocación del aparato de caída de bola*⁴⁶



⁴⁶ Figura tomada de revista N° 39, de Diciembre del 2005, del Instituto Salvadoreño del cemento y concreto, artículo "Método de ensayo estándar para caída de bola en material de resistencia baja controlada (MRBC) para determinar convenientemente la aplicación de carga" pg. 16

2. Mida el diámetro de la huella dejada por la bola, como se muestra en la figura 2.9.13. con un dispositivo de medición. Si el diámetro de la huella es 75 mm entonces el MBRC es conveniente para la aplicación de carga normal. Si el diámetro de la huella es 76 mm entonces el MBRC es inconveniente o no listo para la aplicación de carga.

*Figura 2.9.13. Huella dejada por la bola*⁴⁷



3. Inspeccione la huella por agua superficial visible o traída a la superficie por la acción de caída de la bola. La superficie debe lucir similar a aquella antes del ensayo con la excepción de una huella. La presencia de agua superficial indica que el MBRC es inconveniente o no listo para la aplicación de carga.

⁴⁷ Figura tomada de revista N° 39, de Diciembre del 2005, del Instituto Salvadoreño del cemento y concreto, artículo "Método de ensayo estándar para caída de bola en material de resistencia baja controlada (MRBC) para determinar convenientemente la aplicación de carga" pg. 17

2.9.6. Método de ensayo estándar para peso unitario, rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire (Gravimétrico) de material de baja resistencia controlada (M B R C) regido por la norma ASTM D 6023⁴⁸.

Este método explica el procedimiento para la determinación de la masa por metro cúbico de mezclas en estado fresco de M B R C y proporciona fórmulas para el cálculo de rendimientos, contenido de cemento y contenido de aire de la mezcla. Este método es muy útil en la producción de mezclas, ayuda a realizar los ajustes pertinentes de rendimientos y peso volumétrico fresco.

Esta norma es muy útil en los ensayos preliminares del diseño de mezclas, ya que se verifica la exactitud en el volumen producido, proporcionando valores que nos permiten ajustar también el peso volumétrico y contenido de aire. Esta norma es similar al método gravimétrico, contemplado en la norma para concreto ASTM C 138 “Método estándar de prueba para la densidad (peso de la unidad), de rendimiento y contenido de aire (Gravimétrico) del concreto”

Especificaciones del equipo a utilizar:

- ❖ **Balanza:** Una balanza o báscula precisa dentro del 0.3% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso. El rango de uso deberá ser considerado para extenderse desde la masa del medidor vacío hasta la masa de la medición adicional del M B R C .

⁴⁸ Tomado de la norma ASTM D 6023 “Método de ensayo estándar para peso unitario, rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire (Gravimétrico) de material de baja resistencia controlada (M B R C)”

- ❖ Aparatos de llenado: Cucharas, baldes o palas de suficiente capacidad para facilitar el llenado del medidor de una manera rápida y eficiente
- ❖ Recipiente de muestreo y mezclado: El recipiente será un contenedor adecuado, carretilla, y de suficiente capacidad para permitir fácilmente el muestreo y remezclado del MBRC.
- ❖ Medidor: Un contenedor cilíndrico hecho de acero u otro metal adecuado. Este deberá ser impermeable y suficientemente rígido para retener su forma y volumen calibrado bajo uso repetido. Medidores que son maquinados para dimensiones precisas en el interior y está provisto de haladeras son preferidos. Todos los medidores, excepto para medición de contenido de aire, estarán de acuerdo con los requerimientos del Método de Ensayo ASTM C 29/C 29M. “Método estándar de prueba para la densidad (peso de la unidad) y en los huecos de los agregados” La capacidad mínima del medidor será conforme a los requerimientos de la Tabla 2.9.1. Cuando los recipientes de medición de medidores de aire son usados, estarán de acuerdo con los requerimientos del Método de Ensayo ASTM C 231 “Método de estándar de prueba para contenido de aire en concreto fresco por el método de presión”. El borde superior del recipiente medidor de aire deberá ser liso y plano dentro de 0.25 mm
- ❖ Placa de enrasado: Una placa metálica rectangular y plana de al menos 6 mm espesor o una placa de vidrio o acrílico de al menos 12 mm espesor con una longitud y ancho de al menos 50 mm más grande que el diámetro del medidor

con el cual va a ser usado. Los bordes de la placa deben ser en ángulo recto y lisos dentro de una tolerancia de 1.5 mm.

- ❖ Equipo de calibración: Una pieza o placa de vidrio, preferiblemente de al menos 6 mm de espesor y al menos 25 mm más largo que el diámetro del medidor a ser calibrado. Una película delgada de vacío, bomba de agua o grasa de chasis untado ó engrasado en el borde plano del recipiente hará una junta impermeable entre la placa de vidrio y el borde del recipiente.

Calibración del Medidor.

Calibre el medidor y determine el factor de calibración (1/volumen), siguiendo el procedimiento delimitado en el Método de ensayo C 29 /C 29M. Los medidores deberán estar calibrados al menos una vez al año o cuando haya una razón para dudar de la precisión de la calibración. La capacidad mínima del medidor será determinada por medio del tamaño máximo nominal del agregado, como se especifica en la tabla 2.9.1.

*Tabla 2.9.1. Capacidad mínima del medidor*⁴⁹

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO		CAPACIDAD MINIMA DEL MEDIDOR	
Pulg	mm	Pie ³	litros
1	25.0	0.2	6
1 ½	37.5	0.4	11
2	50.0	0.5	14

⁴⁹ Los datos fueron tomados de la norma ASTM D 6023 "Método de ensayo estándar para peso unitario, rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire (Gravimétrico) de material de baja resistencia controlada (MBRC)"

Descripción del ensayo:

1. Coloque el medidor en una superficie horizontal, rígida y nivelada, libre de vibración y otras perturbaciones.
2. Colocación del MBRC:
 - a. Inicie este procedimiento dentro de 5 min después de obtener la muestra de MBRC y complétela tan rápidamente como sea posible.
 - b. Mezcle completamente la muestra de MBRC en el muestreo y mezcle dentro del recipiente para asegurar uniformidad.
 - c. Con el aparato de llenado, tome cucharadas a través de la porción central de la muestra y por el MBRC dentro del medidor. Repita hasta llenar el medidor.
 - d. Al completar el llenado, el medidor no deberá contener un sustancial exceso de deficiencia de MBRC. Un exceso de MBRC sobresaliendo aproximadamente 3 mm por arriba del borde del molde es óptimo. Para corregir una deficiencia, adicione una pequeña cantidad de MBRC.
3. Enrasado: Después del llenado, enrase la superficie del MBRC y termínelo suavemente con la parte plana de la placa enrasadora teniendo gran cuidado para salir del medidor ajustado al nivel lleno. El enrasado es mejor acompañado presionando la placa de enrasado en la superficie del medidor para cubrir cerca de dos terceras partes de la superficie y deslizando la placa con un suave movimiento de aserrado para terminar el área originalmente cubierta. Entonces

coloque la placa en el borde del medidor para cubrir las dos terceras partes originales de la superficie y avanzar con presión vertical y un movimiento aserrante ó en forma de “sick, sack” para cubrir la superficie entera del medidor. Algunos golpes finales con el borde inclinado de la placa producirán un acabado superficial liso.

4. Limpieza y Medición de la Masa: después de enrasar, limpie todo el exceso de MBRC del exterior del medidor y determine el área bruta del MBRC en el medidor a una precisión consistente con los requerimientos de una balanza o báscula precisa dentro del 0.3% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso.

Cálculos

- ❖ **Rendimiento:** Calcule el rendimiento como sigue:

$$Y = W_1 / W$$

Donde:

Y = volumen de MBRC producido por bachada, m³

W₁ = densidad del MBRC, kg/m³

W = masa total de todo el material de la bachada, kg

- ❖ **Rendimiento Relativo:** El rendimiento relativo es la relación del volumen actual de MBRC obtenido al volumen diseñado para la bachada calculado como sigue:

$$Ry = Y / Yd$$

Donde:

Ry = rendimiento relativo

Y = volumen de MBRC producido por bachada, m³

Yd = volumen de MBRC para el cual la bachada fue diseñada, m³

❖ **Contenido de cemento:** Calcule el contenido de cemento actual así:

$$N = N_t / Y$$

Donde:

N = contenido de cemento actual kg/m³

Nt = masa de cemento en la bachada, kg

Y = volumen de MBRC producido por bachada, m³

❖ **Contenido de Aire:** Calcule el contenido de aire como sigue:

$$A = [(T - W) / T] \times 100$$

$$A = [(Y - V) / Y] \times 100 \quad (\text{unidades SI})$$

Donde:

A = contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el MBRC

T = densidad teórica del MBRC, sobre una base de aire libre, kg/m³

W = densidad del MBRC, kg/m³

V = volumen absoluto total de los ingredientes que componen la bachada, m³

Y = volumen de MBRC producido por bachada, m³

2.9.7. Método de prueba estándar para determinación de tiempo de resistencia a la penetración de mezclas de concreto, regido por la norma ASTM C 403⁵⁰

Este método de ensayo cubre la determinación del tiempo de endurecimiento de la mezcla, con presión mayor que cero, por medio de resistencia a la penetración de la mezcla. Este método de ensayo es aplicable en virtud de la condiciones del control de laboratorio, así como bajo las condiciones de campo.

Especificaciones del equipo a utilizar:

- ❖ Contenedores de especímenes de la mezcla: Los contenedores serán rígidos, no absorbentes, libres de aceite o grasa y ya sea de sección transversal cilíndrica o rectangular. Las dimensiones deben de ser de al menos de ancho de 150 mm y la altura por lo menos 150 mm .
- ❖ Un dispositivo será capaz de medir la fuerza requerida para provocar la penetración de las agujas en la mezcla. El dispositivo deberá ser capaz de medir la fuerza de penetración con una precisión de 1.019 kg y tendrá una capacidad de al menos 61.14 kg.
- ❖ La barra apisonadora será recta y de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, con ambos extremos redondeado a un punta semiesférica, de diámetro de 16 mm .

⁵⁰ Tomado de la norma ASTM C403 "Método de prueba estándar para determinación de tiempo de resistencia a la penetración de mezclas de concreto"

- ❖ El termómetro deberá ser capaz de medir la temperatura de la mezcla fresca a una precisión de ± 0.5 °C. el líquido en los termómetros de vidrio debe tener un rango de temperatura de -20 a 50 °C

Procedimiento del ensayo:

1. Justo antes de tomar una prueba de penetración, retire el agua de la muestra de la superficie de los especímenes de mezcla por medio de una pipeta o instrumento adecuado. Para facilitar reunir el agua de sangrado, inclinar el molde con la muestra un ángulo de aproximadamente 10 ° en sentido horizontal mediante la colocación de un bloque en un solo lado 2 minutos antes de la eliminación del agua.
2. Insertar una aguja de tamaño apropiado en el aparato de resistencia a la penetración, dependiendo del grado de endurecimiento de la mezcla en la superficie de contacto.
3. Poco a poco y se aplican de manera uniforme una fuerza vertical hacia abajo en el aparato hasta que la aguja penetra en la mezcla a una profundidad de 25 ± 2 mm, el tiempo requerido para penetrar hasta 25mm de profundidad será de 10 ± 2 s.

4. Registrar la fuerza requerida para producir la penetración de 25 mm y el tiempo de fraguado de la mezcla se mide como el tiempo transcurrido después del primer contacto de cemento y agua.

5. Para calcular la resistencia a la penetración se divide el área de la huella de la aguja por la presión ejercida en la zona. Para posteriores ensayos se debe evitar el área que ya ha sido perturbada por ensayos anteriores. La clara distancia entre huellas de aguja serán de al menos dos diámetros de la aguja, pero no inferior a 15 mm.

6. Para mezclas convencionales las temperaturas de laboratorio deben encontrarse en un rango entre 20 a 25 ° C, la prueba inicial se hace cuando ha transcurrido un tiempo de 3 a 4 h después del contacto inicial entre cemento y el agua. Las siguientes pruebas deben hacerse en intervalos de ½ hora. Para las mezclas que contengan acelerantes o temperaturas superiores a las de laboratorio, es aconsejable hacer la prueba inicial después de transcurrido un tiempo de 1 a 2 horas y las pruebas posteriores ajustar los intervalos de tiempo según sea la necesidad de penetraciones y para mezclas que contienen retardantes o a temperaturas inferiores a las de laboratorio, la prueba inicial puede aplazarse hasta transcurrido un tiempo de 4 a 6 h. En todos los casos, los intervalos de tiempo entre las pruebas posteriores se pueden ajustar como necesario,

dependiendo del tipo de fraguado, para obtener el número necesario de penetraciones.

Se deben hacer al menos seis penetraciones por cada tiempo de ajuste de prueba, con intervalos de tiempo para proporcionar una curva de resistencia a la penetración versus el tiempo transcurrido. Preparar un gráfico con los datos de resistencia a la penetración, en el eje de ordenadas, versus el tiempo transcurrido, en el eje de abscisas. Colocar los valores de la resistencia a la penetración como una función del tiempo transcurrido. Utilizar el siguiente procedimiento para determinar el trazado de ajuste de tiempos en análisis de regresión lineal de los logaritmos de los datos mediante el uso de un calculador. Los límites de resistencia a la penetración en el eje de ordenadas debe extenderse a partir de 1.02 a 1020 kg/cm^2 , y los límites de el tiempo transcurrido en el eje de abscisas debe extenderse a partir del 10 a 1000 min. Si el ajuste de las mezclas es lento, los rangos pueden ser de 100 a 10000 min.

2.10. GENERALIDADES SOBRE LOS TIPOS DE SUELOS A UTILIZAR EN EL DISEÑO DE LAS MBRC.

2.10.1. Definición de suelo.

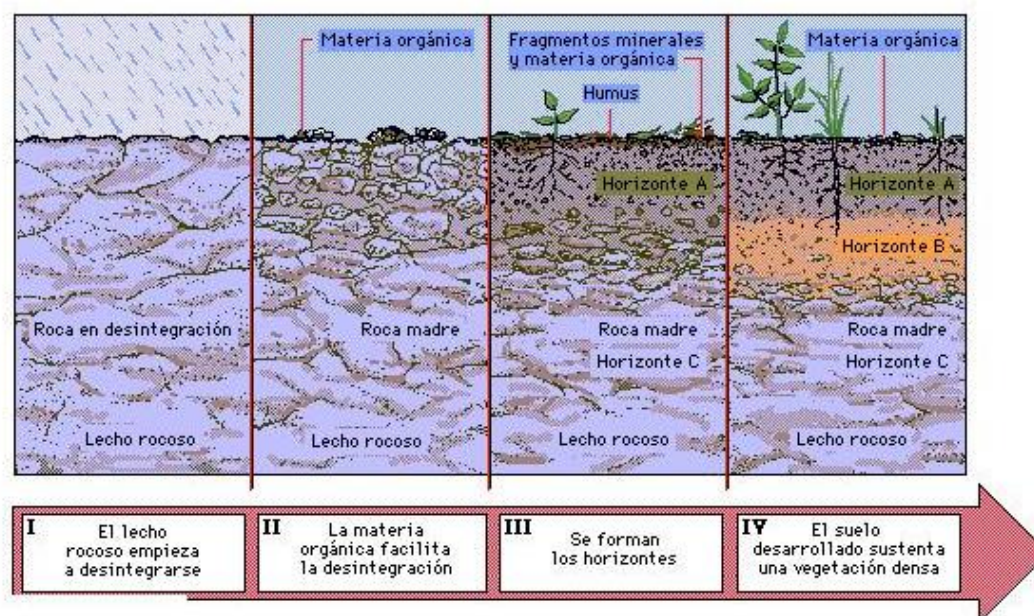
Los suelos provienen de la alteración física y química de las rocas más superficiales de la corteza terrestre, a este proceso se le llama meteorización. Suelo, en Ingeniería Civil, se definen como aquellos sedimentos no consolidados de partículas sólidas, como ya se mencionó, es el fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes

como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. Se desarrolla así una estructura en niveles superpuestos, conocida como el perfil de un suelo, y una composición química y biológica definida. Las características locales de los sistemas implicados — litología y relieve, clima y biota — y sus interacciones dan lugar a los diferentes tipos de suelo.

El suelo es un cuerpo natural heterogéneo. Se constituye de partículas minerales y partículas orgánicas. Los minerales son producidos por la erosión de la roca madre. Se distinguen en: Gravillas, Arenas, Limos, Partículas coloidales minerales. En los sustratos orgánicos se mencionan el material vivo: descomposición del material vegetal y animal.

La formación del suelo es un proceso en el que las rocas se dividen en partículas menores mezclándose con materia orgánica en descomposición. El lecho rocoso empieza a deshacerse por los ciclos de hielo-deshielo, por la lluvia y por otras fuerzas del entorno (I). El lecho se descompone en la roca madre que, a su vez, se divide en partículas menores (II). Los organismos de la zona contribuyen a la formación del suelo desintegrándolo cuando viven en él y añadiendo materia orgánica tras su muerte. Al desarrollarse el suelo, se forman capas llamadas horizontes (III). El horizonte A, más próximo a la superficie, suele ser más rico en materia orgánica, mientras que el horizonte C contiene más minerales y sigue pareciéndose a la roca madre. Con el tiempo, el suelo puede llegar a sustentar una cobertura gruesa de vegetación reciclando sus recursos de forma efectiva (IV). En esta etapa, el suelo puede contener un horizonte B, donde se almacenan los minerales lixiviados. Las diferentes etapas de los suelos se pueden ver en la figura 2.10.1.

Figura 2.10.1.: Formación geológica del suelo ⁵¹.



Para denominar los diferentes tipos de suelo, se han desarrollado diversos tipos de clasificaciones que, mediante distintos criterios, establecen diferentes tipologías de suelo. Los sistemas de clasificación facilitan la forma de expresar las características del suelo, que son muy variables.

La textura de un suelo se refiere a su apariencia superficial, la cual es influenciada por el tamaño de los granos presentes en él. La clasificación textural permite dividir el suelo en categorías básicas dependiendo del tamaño presente: grava, arena, limo y arcilla, pero en la naturaleza del campo los suelos son una mezcla de ellos, en este caso el nombre del suelo depende de los componentes principales ó según el tamaño de grano que predomina en cantidad, según el caso el suelo se puede clasificar como limo arcilloso, areno arcilloso, etc.

⁵¹ Tomado de publicación "El perfil del suelo: La evolución de un suelo y sus horizontes (Gobierno de Chile CONAF)"

La clasificación es basada en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño de grano, según esta última, por ejemplo el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) divide el suelo en dos grandes categorías:

- ❖ **Suelos Grueso granulares:** Son aquellos materiales en los cuales el porcentaje retenido en la malla No.200 es superior al 50%. Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava, son suelos donde la distribución del tamaño y la forma de los granos influye notablemente en las propiedades ingenieriles del suelo.
- ❖ **Suelos Fino granulares:** Son los suelos en los cuales en 50% o más pasa la malla No.200. En estos suelos se incluyen las fracciones limo y arcilla, así como las fracciones de carácter orgánico. En los suelos finos son las propiedades de plasticidad las usadas para su clasificación.

2.10.2. Suelos Granulares

Este tipo de suelos está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas. Su origen obedece principalmente a procesos de meteorización física: Lajamiento⁵², Termoclastia⁵³, Hialoclastia⁵⁴ ó fenómenos de hidratación física.

⁵² Lajamiento: Proceso de descomposición física de las rocas que desemboca en su separación en planos paralelos entre si y con la superficie. Este proceso se debe a la pérdida de presión confinante debido al desmantelamiento erosivo de las rocas suprayacentes.

El tipo de transporte condiciona en buena medida sus características granulométricas. Así un suelo de origen eólico tendrá un tamaño uniforme de sus partículas, si el transporte es fluvial, tendrá una granulometría progresiva en función de la energía del medio, por el contrario en medios glaciares no existe un patrón granulométrico definido, dándose un amplio espectro de tamaños de grano.

Las características principales de este tipo de suelos son su buena capacidad portante y su elevada Permeabilidad, lo que permite una rápida evacuación del agua en presencia de cargas externas, esta capacidad de drenaje es proporcional al tamaño de las partículas ó dicho de otro modo, al volumen de huecos ó porosidad del suelo. Es destacable que para un determinado grado de humedad, las partículas más finas presentan un grado de cohesión aparente que desaparece al variar el contenido de agua.

Dentro de esta clase de suelos se distinguen dos grandes grupos: El de las Gravas y el de las Arenas. El límite entre ambos grupos viene dado por su granulometría, considerándose arena la fracción de suelo de tamaño menor a 2 mm. Dentro de esta clasificación pueden establecerse otras subdivisiones.

Las características mecánicas y resistentes de los suelos granulares son determinadas por el ángulo de rozamiento entre partículas, así como su módulo de compresibilidad.

⁵³ Termoclastia : Los cambios bruscos de temperatura (T°) y las diferencias estacionales originan la termoclastia debido a que las rocas no son buenas conductoras de calor, de tal modo que la superficie se calienta y se enfría mucho más que el interior, el gradiente térmico origina diferentes grados de dilatación y contracción lo que provoca la fragmentación de la roca.

⁵⁴ Hialoclastia: Proceso muy similar al hielo y lo hace exclusivamente en climas secos, el agua subterránea asciende por capilaridad a la superficie, donde se evapora. Este proceso deja un residuo salino compuesto por calcita, yeso, halita que crecen en los poros y producen la rotura de la roca.

Terminología

Los suelos granulares, Según la ASTM utiliza la malla # 4, que corresponde a una abertura de 4.76 mm, la cual permite separar las gravas de las arenas; de esta manera las gravas se definen como las partículas mayores a aproximadamente 0.5 cm. Las gravas se distinguen entre gruesas (1.9 cm y 7.6 cm) y finas (menores a 1.9 cm). Las arenas se dividen en gruesas, medias y finas, dependiendo de los porcentajes relativos que son retenidos entre la malla #4 (4.76 mm) y la malla #10 (2.00 mm), entre esta malla y la malla #40 (0.425 mm) y entre ésta y la malla #200, respectivamente. Los suelos granulares se designan con los símbolos que se muestran en las tablas 2.10.1. y 2.10.2.⁵⁵

Tabla 2.10.1.: Prefijos de clasificación de suelos según SUCS

G	Grava	El 50% o más es retenido en el Tamiz N°4
S	Arena	Si más del 50% pasa el Tamiz N°4

Tabla 2.10.2.: Sufijos de clasificación de suelos según SUCS

W	Bien graduado	P	Mal graduado	Depende del Cu y Cc
M	Limoso	C	Arcilloso	Depende de WL y el IP

Si menos del 5% pasa el tamiz N° 200, los sufijos son W o P, según los valores de Cu y Cc. Si más del 12% pasa el tamiz N° 200, los sufijos son M o C, dependiendo de LL e IP. Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia).

⁵⁵ Tablas extraídas de la ASTM D 2487 "Método estándar para clasificación de suelos con propósitos de Ingeniería".

Características Relevantes de los Suelos Granulares.

Composición predominante del suelo y distribución de tamaños (se utilizan los términos bien graduado y pobremente graduado).

Forma de los granos: Ya que ello determina diferenciación de ciertas propiedades de ingeniería, tales como resistencia al corte y compresibilidad; se utilizan términos: partículas redondeadas, sub-redondeadas, angulares, sub-angulares.

Estado de meteorización o alteración de las partículas.

Cantidad de finos, es decir porcentaje en términos aproximados.

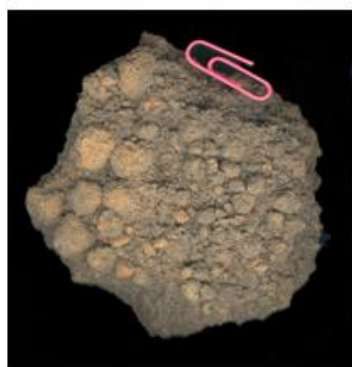
Compacidad: (esta condición solo es posible de observar en terreno para los suelos granulares). Otros, como por ejemplo, existencia de raicillas, escombros, materiales orgánicos, etc.

2.10.3. Lapilli: Material granular de origen volcánico

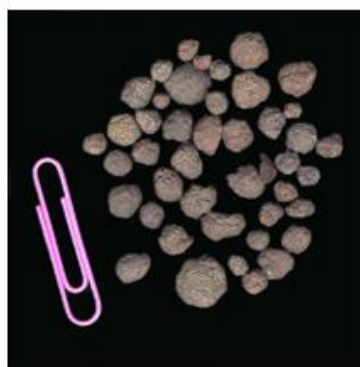
El lapilli (singular lapillus, del latín: «pequeñas piedras») es un término de clasificación de la tefra según su tamaño y está constituido por fragmentos piroclásticos, expulsados por un volcán durante la erupción del tipo explosivas a partir de la fragmentación de la lava que recubre las burbujas de gas que ascienden hacia la superficie y explotan por la diferencia de su presión interna con la del entorno.

Los fragmentos de Lapilli cuentan con un diámetro variable de 2 a 64 mm. A los fragmentos piroclásticos más grandes se les denomina bombas y a los más pequeños cenizas en la figura 2.10.2. se muestra una comparación de los tamaños de Lapilli.

Figura 2.10.2: comparación de tamaños de Lapilli⁵⁶



Lapilli acrecional. Gran Canaria



Lapilli acrecional. Campo de Calatrava (Ciudad Real)



Lapilli acrecional. Campo de Calatrava

Los lapillis vinculados a erupciones estrombolianas son de color negro, pasando a tonalidades rojizas por oxidación, presentan diferente grado de vesiculación y se disponen en capas con poca dispersión lateral. Los lapillis asociados a magmas diferenciados (pómez) tienen color claro y muy baja densidad, la lateral es grande. Los lapillis pueden presentarse sueltos o soldados.. en la figura 2.10.3 se muestran fotografías sobre depósito de tipo piroclástico, ubicado en Antiguo Cuscatlan.

Los lapillis acrecionales se asocian a la presencia de agua en el proceso eruptivo. Son especialmente abundantes en columnas generadas en erupciones freáticas y freatomagmáticas. Se localizan en los depósitos que rellenan las depresiones explosivas

⁵⁶ <http://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/la.htm> "Glosario"

asociadas a estas erupciones, en edificios tipo tuff cone y en los anillos de tobas (tuff ring) que generalmente circundan los mares. Los depósitos de oleadas piroclásticas basales de carácter húmedo (wet surge) pueden contener abundante lapilli acrecional, en los depósitos de oleadas secas (dry surge) la presencia de lapilli acrecional es menor. Su tamaño que comúnmente es de algunos milímetros, puede llegar a superar 3 centímetros de eje mayor.

*Figura 2.10.3: depósitos de material Piroclastico en Antiguo Cuscatlan*⁵⁷



2.10.4. Suelos Finos

Suelos finos son llamados así a los limos y a las arcillas. El limo es un material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm.

⁵⁷ Estratigrafía y excavaciones de material piroclástico granular extraído de Santa Elena, Antigua Cuscatlan

Arcilla: suelo pasante el tamiz #200 (75 μm) de la serie estandarizada de U.S. que presenta características plásticas bajo diferentes contenidos de humedad y que puede alcanzar una dureza considerable en condiciones secas. Desde el punto de vista de la clasificación SUCS, la arcilla es un suelo o parte de un suelo de grano fino, con índice de plasticidad igual o mayor que 4, cuya representación en la Carta de Plasticidad (ver la Figura 2.10.4.) está por encima de la Recta "A".

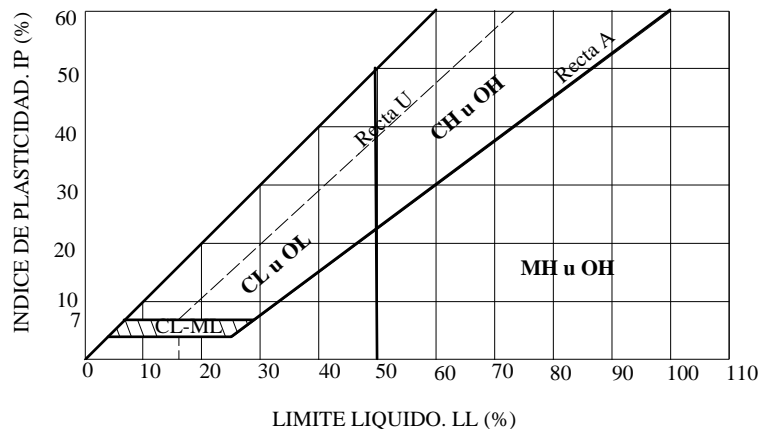
Arcilla orgánica: arcilla con suficiente contenido de material orgánico como para alterar las propiedades del suelo. Desde el punto de vista de la clasificación, la arcilla orgánica se clasifica como arcilla, con la salvedad que su límite líquido después de secado en horno es menor que el 75% del límite líquido antes de ser secado en horno.

Lim orgánico: limo con suficiente contenido de material orgánico como para alterar las propiedades del suelo.

Turba: suelo compuesto por vegetales en varias etapas de descomposición, generalmente acompañadas por un hedor orgánico, de color marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa y con textura variable entre fibrosa y amorfa.

Limo: suelo pasante el tamiz #200 (75 μm) de la serie estandarizada de U.S. que presenta pocas o nulas características plásticas. Desde el punto de vista de la clasificación SUCS, el limo es un suelo o parte de un suelo de grano fino, con Índice de Plasticidad menor que 4, cuya representación en la Carta de Plasticidad está por debajo de la Recta "A". La carta de plasticidad se muestra en la figura 2.10.4.

Figura 2.10.4. Carta de plasticidad según la SUCS.⁵⁸



Los suelos finos se designan con estos símbolos:

Prefijos

M	L i m o
C	A r c i l l a
O	O r g á n i c o

Sufijos

L	B a j a p l a s t i c i d a d (L L < 5 0 %)
H	A l t a p l a s t i c i d a d (L L > 5 0 %)

Esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa el tamiz N°40, y se obtiene a partir de la carta de plasticidad. En base a lo anterior, los suelos se clasifican bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de acuerdo con la Tabla 2.10.3.

⁵⁸ Carta de Plasticidad, tomada de ASTM D 2487 "Método estándar para clasificación de suelos con propósitos de ingeniería"

Tabla 2.10.3. Clasificación según sistema unificado de clasificación de suelos.⁵⁹

TIPO DE SUELO	CLASIFICACION			CLASIFICACION		
				GRUPO	NOMBRE	
SUELOS GRUESOS	GRAVAS	Gravas Limpias	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada.	
Mas de 50% es retenido en tamiz 200	Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en tamiz 4	Menos 5% de finos	$Cc < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
		Grava con finos	Finos Clasifican como ML ó MH	GM	Grava Limosa	
		Mas de 12% de finos	Finos Clasifican como CL ó CH	GC	Grava Arcillosa	
	ARENAS	Arenas Limpias	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
	50% o mas de la fraccion gruesa pasa el tamiz 4	Menos 5% de finos	$Cu < 6$ ó $1 \leq Cc \leq 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos	Finos Clasifican como ML ó MH	SM	Arena Limosa	
Mas de 12% de finos		Finos Clasifican como CL ó CH	SC	Arena Arcillosa		
SUELOS FINOS	Limos y Arcillas	Inorgánico	$IP > 7$ y cae sobre ó arriba de la recta A	CL	Arcilla de Baja plasticidad	
Mas de 50% pasa el tamiz 200	LL < 50		$IP < 4$ y cae debajo de la recta A	ML	Limos de baja plasticidad	
		Orgánico	LL < 0.75	OL	Arcilla Organica	
				OL	Limos Organico	
	Limos y Arcillas	Inorganico	IP cae sobre ó arriba de la recta A	CH	Arcilla de alta plasticidad	
		LL \geq 50		IP cae debajo de la recta A	MH	Limos de alta plasticidad
			Organico	LL < 0.75	OH	Arcilla Organica
			OH	Limos Organico		
Suelos muy Orgánicos	Primera la materia orgánica, color oscuro y hedor orgánico			PT	Turba	

⁵⁹ Tomado de la ASTM D 2487 "Método estándar para clasificación de suelos con propósitos de Ingeniería".

Suelos plástico arcillosos.**Plasticidad de los suelos.**

En mecánica de suelos se define la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable, sin deformarse ni agrietarse.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a $2 \mu\text{m}$).

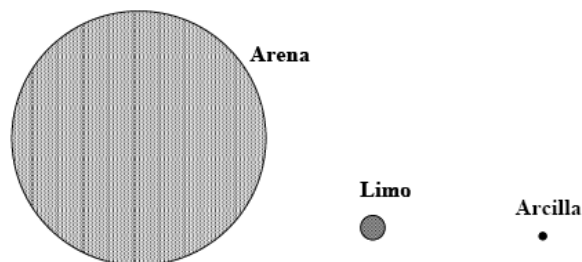
Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a $2 \mu\text{m}$.

Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a $2 \mu\text{m}$. Según esto, todos los filosilicatos pueden considerarse

verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las $2 \mu\text{m}$. La figura 2.10.5 muestra una comparación del tamaño de las partículas entre arenas, limos y arcillas.

Figura 2.10.5: Tamaño medio comparado de la partícula de arena, limo y arcilla.



Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Propiedades Físicoquímicas de las arcillas.

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente de:

- ❖ Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a $2 \mu\text{m}$)
- ❖ Su morfología laminar (filosilicatos)

Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

Un suelo arcilloso, se puede deformar plásticamente sin romperse, con distintas humedades; ya que cuanto mayor sea la humedad, mayor es la separación de las partículas, menor la atracción entre ellas y mayor la movilidad de las mismas, mientras que una arcilla menos húmeda, tendrá las partículas más próximas, habrá más atracción entre ellas y formará una masa más rígida.

Superficie específica.

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se mencionan algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

Caolinita de elevada cristalinidad hasta $15 \text{ m}^2/\text{g}$

Caolinita de baja cristalinidad hasta $50 \text{ m}^2/\text{g}$

Halloisita hasta $60 \text{ m}^2/\text{g}$

Illita hasta $50 \text{ m}^2/\text{g}$

Montmorillonita $80-300 \text{ m}^2/\text{g}$

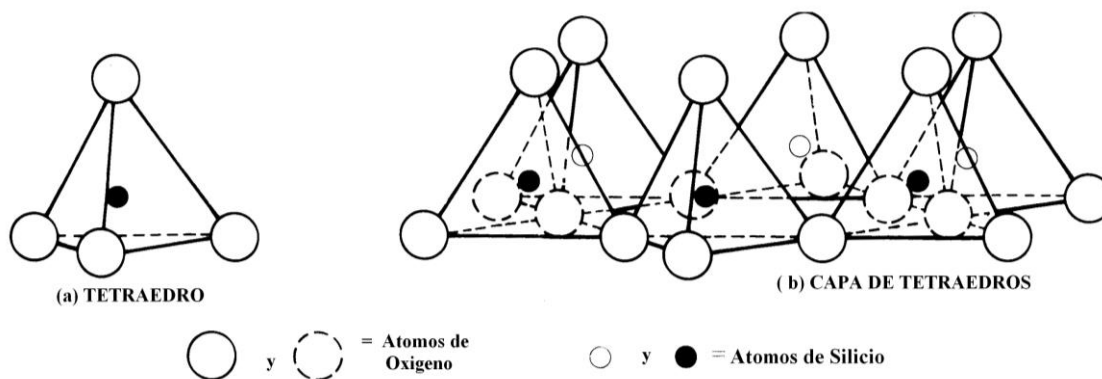
Sepiolita $100-240 \text{ m}^2/\text{g}$

Paligorskita $100-200 \text{ m}^2/\text{g}$

Mineralogía de las arcillas.

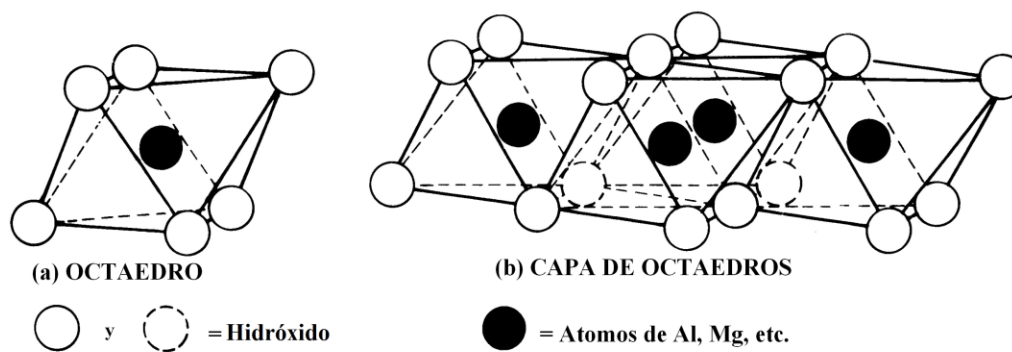
Las arcillas químicamente son silicatos de aluminio hidratado y que en ocasiones tienen silicatos de hierro, magnesio ó potasio hidratado. Están formados por la combinación de dos elementos fundamentales. El primero es un tetraedro (Fig. 2.10.6 a) en el que cuatro átomos de oxígeno rodean a un átomo de silicio. Los tetraedros forman capas, de modo que los oxígenos de las bases de todos ellos se encuentren en el mismo plano y cada oxígeno pertenezca a dos tetraedros. (Fig. 2.10.6 b).

Fig. 2.10.6. Estructura de átomos de oxígeno y silicio que forman los tetraedros.⁶⁰



El segundo elemento es un octaedro en el que un átomo de Aluminio, Hierro, Magnesio, etc. está rodeado por 6 átomos de oxígeno ó iones hidróxido (Fig. 2.10.7 a). Los octaedros forman también capas (Fig. 2.10.7 b)

Fig. 2.10.7 Muestra la estructura de octaedros.⁶¹



De las distintas combinaciones de estas dos capas y de los distintos cationes y aniones que las forman, resultan la gran variedad de los minerales arcillosos cristalinos.

⁶⁰ Tomado del libro geotecnia y cimientos "Propiedades de los suelos y de las rocas"

⁶¹ Tomado del libro geotecnia y cimientos "Propiedades de los suelos y de las rocas"

En general, la estructura de las arcillas es cristalina y complicada con sus átomos dispuestos en forma laminar. De acuerdo a su arreglo reticular, los límites de arcillas se pueden clasificar en 3 grupos importantes:

Arcillas Montmorillonitas

Arcillas Illitas

Arcillas Caolinitas.

Características de las arcillas Montmorillonitas.

La unidad fundamental de la partícula de Montmorillonita está formada por 2 capas de tetraedros que encierran una capa de octaedros (Fig. 2.10.8 a), la unión entre cada 2 unidades es mucho más débil que el enlace de hidrogeno en las partículas de caolín como consecuencia el agua puede penetrar entre ellas ocasionando una expansión de la partícula en el sentido perpendicular a la capa, esta expansión puede ser muy grande. Las arcillas Montmorillonitas se les llaman también “Esmetitas”, forman una gran familia de materiales arcillosos, compuestos de una lámina de alumina entre dos de sílice. El espesor de una lamina unida de este material es de aproximadamente de 9.6 a 30 Å pero el ancho puede llegar hasta 104 Å (1 angstrón = 5×10^{-7} mm). Se puede observar la forma de una Montmorillonita en la figura 2.10.8 b.

Figura 2.10.8 a. Diagrama de la estructura química de las Montmorillonitas⁶².

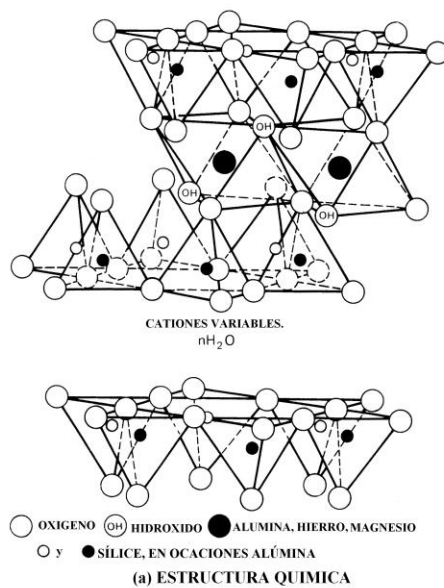


Figura 2.10.8 b. Diagrama estructural de las Montmorillonitas⁶³

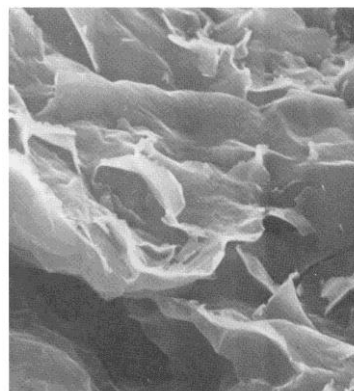
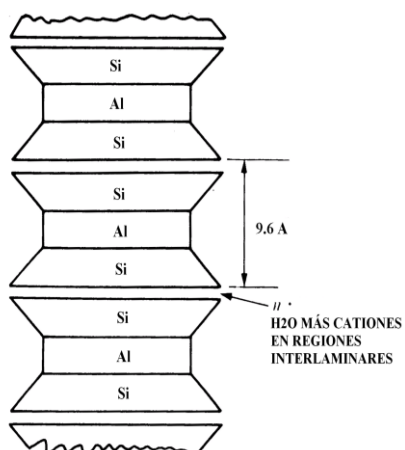


Fig. 3.16 Electron photomicrograph of montmorillonite (bentonite) from Clay Spur, Wyoming. Picture width is 7.5 μm (Tovey, 1971).

⁶² Tomado del libro geotecnia y cimientos "Propiedades de los suelos y de las rocas"

⁶³ Tomado del libro geotecnia y cimientos "Propiedades de los suelos y de las rocas"

El agua penetra con facilidad en su estructura, porque tiene una gran plasticidad, lo que significa que la unión entre sílice y alúmina es débil. Las características de esta familia de arcillas es que en contacto con el agua, sufren ó experimentan grandes hinchamientos ó fuertes expansiones y al secarse, fuertes contracciones que provocan inestabilidad a la estructura cimentada sobre ellas.

Características de las arcillas Illitas.

La Illita es semejante a la Montmorillonita, una de las diferencias es que las deficiencias de carga son equilibradas casi en su totalidad por átomos de potasio que se sitúan entre las diversas unidades fundamentales y que no son intercambiables, la estructura de la Illita no es expansiva no admite la entrada de átomos de agua entre las capas. La Illita esta formada por una lamina de alúmina en medio de dos láminas de sílice, orientadas en forma opuesta. Sin embargo, las unidades adyacentes de Illita están unidas por átomos de potasio y sodio, compartidos de modo que forman paquetes bastante compactos.

La unión entre estos paquetes debido a la presencia del potasio es más fuerte, por lo que el agua penetra menos y el material por consiguiente es menos plástico. El bloque estructural de este grupo tiene un espesor de 10 Å ver figura 2.10.9.

Figura 2.10.9. Diagrama estructural de las Illitas.⁶⁴

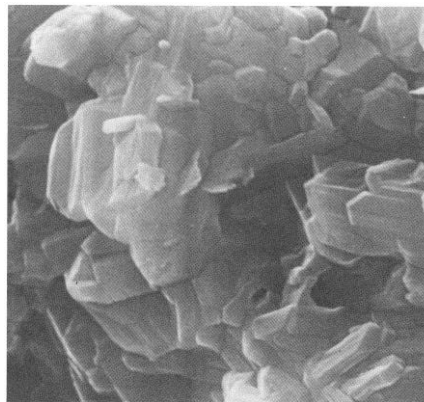
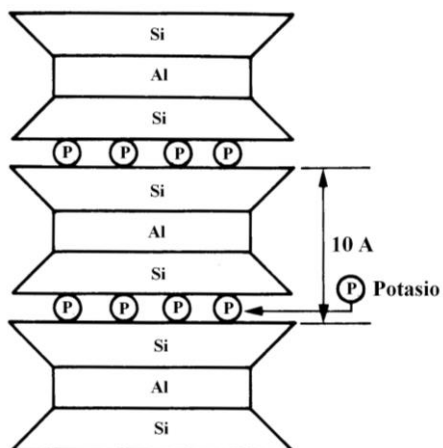


Fig. 3.20 Electron photomicrograph of illite from Morris, Illinois. Picture width is $7.5 \mu\text{m}$ (Tovey, 1971).

Características de las arcillas Caolinitas.

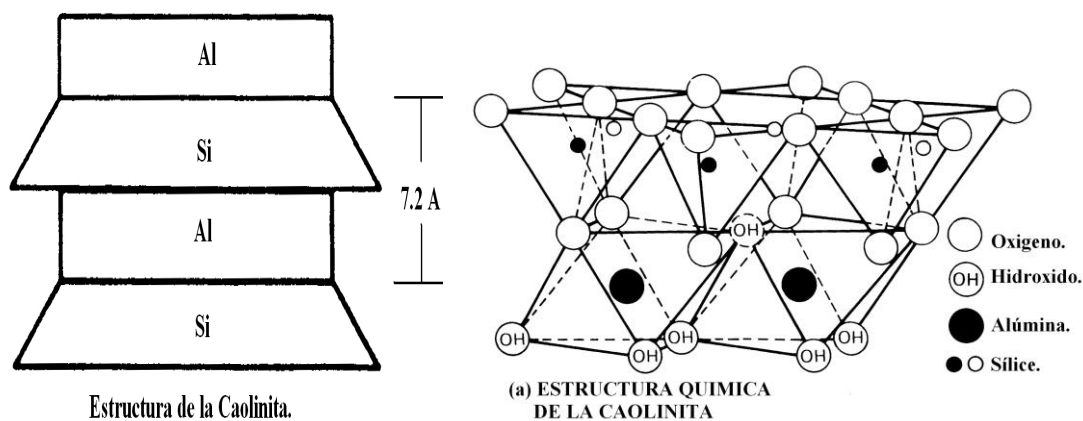
Las partículas de Caolinita se componen de capas de octaedros y tetraedros alternadas (Fig. 2.10.10 a). Las Caolinitas están formadas por hojas ó laminas de sílice y alumina alternadas consecutivamente, que forman un mineral arcilloso cuya placa unitaria tiene un espesor nominal de 7.2 \AA . La familia de las caolinitas esta formada por varios miembros de acuerdo a la variación de laminas de alumina.

Las láminas están fuertemente unidas, formando placas que ordenadas en forma de hojas de papel, impiden la penetración de agua entre ellas, ya que producen una lamina ó capa electrónicamente neutra, lo que influye que estas arcillas sean bastante estable en presencia del agua. Este tipo de arcillas de forma laminar, ejercen una influencia importante en la compresibilidad del suelo, en donde en este caso la Caolinita es menos

⁶⁴ Tomado del libro geotecnia y cimientos "Propiedades de los suelos y de las rocas"

plástica que la Illita, mientras que el pequeño tamaño propio de estas partículas hacen que la permeabilidad del conjunto sea bastante baja. En la figura 2.10.10 Se muestra diagrama de una caolinita.

Figura 2.10.10. Diagrama estructural de las Caolinita.⁶⁵



Cont. Figura 2.10.10. Diagrama estructural de las Caolinita

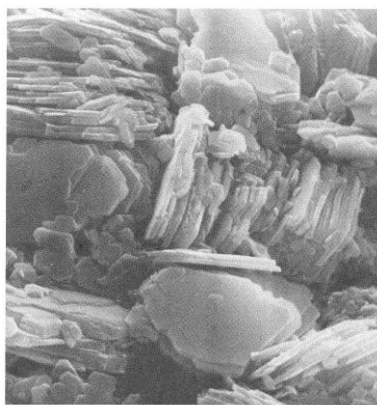


Fig. 3.11 Electron photomicrograph of well-crystallized kaolinite from St. Austell, Cornwall, England, Picture width is 17 μm (Tovey, 1971).

⁶⁵ Tomado del libro geotecnia y cimientos "Propiedades de los suelos y de las rocas"

Plasticidad y límite de consistencia.**Plasticidad.**

Como ya se ha mencionado anteriormente la plasticidad es la propiedad que tienen algunos suelos de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico. Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Límites de Consistencia.

Límites de consistencia⁶⁶ se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

⁶⁶ Entiéndase por Consistencia, el estado físico de un suelo de grano fino con un determinado contenido de agua.

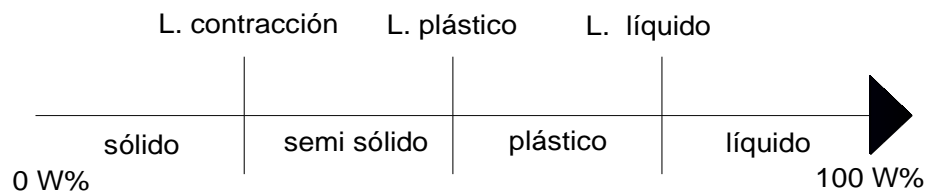
El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico

Los límites de Atterberg

Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua. De ahí que se puedan determinar sus estados de consistencia al variar si se conoce las fronteras entre ellas. Los estados de consistencia de una masa de suelo plástico en función del cambio de humedad son sólidos, semisólido, líquido y plástico. Estos cambios se dan cuando la humedad en las masas de suelo varía. Para definir las fronteras en esos estados se han realizado muchas investigaciones, siendo las más conocidas las de Terzaghi y Atterberg.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, la plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso. En la figura 2.10.11 se muestra gráficamente estos límites.

Figura 2.10.11: Estados del suelo y límites de consistencia o límites de Atterberg⁶⁷



⁶⁷ Manual de laboratorios de Geotecnia de la Universidad Centroamericana José Simón Cañas.

La frontera convencional entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta un diámetro al cual el pequeño cilindro se desmorona y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua que se encuentra se anota como límite plástico.

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción y a la frontera entre el límite plástico y líquido se llama límite líquido y es el contenido de agua que se requiere adicionar a una pequeña cantidad de suelo que se colocará en una copa estándar, y ranurará con un dispositivo de dimensiones también estándar, sometido a 25 golpes por caída de 10 mm de la copa a razón de 2 golpes/s, en un aparato estándar para límite líquido; la ranura efectuada deberá cerrarse en el fondo de la copa a lo largo de 13 mm.

En los granos gruesos de los suelos, las fuerzas de gravitación predomina fuertemente sobre cualquiera otra fuerza; por ello, todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar.

En los suelos de granos muy finos, sin embargo, fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación de área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significación. En general, se estima que esta actividad en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que dos micras (0,002 mm).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

CAPITULO III

D E F I N I C I Ó N D E L O S

B A N C O S Y E N S A Y O S

Q U E S E R E A L I Z A R A N A

L O S S U E L O S

E M P L E A D O S E N L A S

M E Z C L A S D E R E L L E N O

F L U I D O .

3. INTRODUCCIÓN

Para que el trabajo de investigación tenga mayor aplicabilidad en el campo de la construcción, se debe escoger un banco de material en el cual la ubicación, cantidad y características físicas del material que sea extraído sean las más adecuadas y convenientes, para considerar el empleo de éstos en sustituciones de suelo. Para ello se realizó una serie de visitas de campo y muestreo de materiales de varios posibles bancos, para escoger el que mejor cumpliera con los requisitos de la investigación, se realizó una visita en la zona de Santa Elena para la definición del banco granular, así también para seleccionar el banco para el material plástico, se realizaron visitas a dos posibles bancos, uno ubicado en Apopa y otro en Los Planes de Renderos; A estos materiales se les realizaron ensayos de límites de consistencia y granulometría para determinar sus características físicas y por medio de los resultados de estos ensayos y otros factores como la ubicación del banco, la disponibilidad de material y usos de los suelos, escoger el banco de material idóneo para el desarrollo de la investigación, los resultados de este proceso son el contenido del presente capítulo.

Además en este capítulo se describen las formas en que se harán las correcciones a cada uno de los materiales extraídos de los respectivos bancos para ser utilizados en la elaboración de M B R C .

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DIFERENTES BANCOS DE SUELO A UTILIZAR.

Para determinar la ubicación de los banco de material se escogieron tres sitios, uno para el material granular y dos sitios para el material mas fino con características plásticas, hasta encontrar el banco con el material que satisfaga los requerimientos de la investigación, como: la accesibilidad al banco, la abundancia de material, la granulometría para el primer banco y el índice de plasticidad para el segundo banco. Los datos de los bancos explorados se detallan a continuación:

3.1.1. Ubicación del banco de material granular.

El banco de préstamo N°1 corresponde al material granular que se encuentra ubicado en el municipio de Antiguo Cuscatlán, departamento de La Libertad, de tal forma que se considera parte del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), en la figura 3.1.1, se muestra la ubicación de la zona de la que será extraído el material



⁶⁸ Imagen de satélite. Google maps. Municipio de Antiguo Cuscatlán, La Libertad.

3.1.2. Ubicación del banco de material plástico.

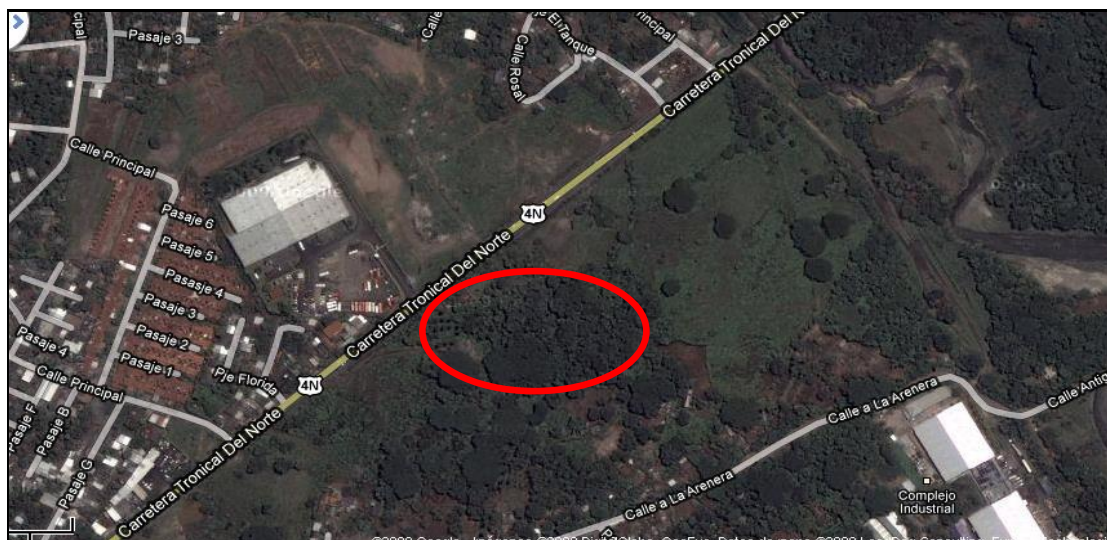
Para determinar el banco N°2 el cual corresponde al material plástico, se consideraron dos alternativas: uno de los bancos analizados está ubicado en los Planes de Renderos, en el departamento de San Salvador ubicado sobre a la calle antigua a Los Planes de Renderos, del cual la ubicación se puede observar en la figura 3.1.2. y el otro ubicado en el municipio de Apopa, carretera Troncal del Norte, Km . 14 en el departamento de San Salvador, la ubicación de este banco de material se puede observar en la figura 3.1.3.

Figura 3.1.2 Muestra el banco de material ubicado en Los planes de Renderos.⁶⁹



⁶⁹ Imagen Satelital obtenida de Google Maps y muestra la ubicación de banco de material de Los Planes de Renderos

Figura 3.1.3 Muestra el banco de material ubicado en Apopa.⁷⁰



3.2. RECONOCIMIENTO Y EXPLORACIÓN.

Se realizó un reconocimiento y exploración tal y como lo especifica la norma ASTM D 420⁷¹ a cada uno de los posibles bancos a utilizar en la investigación por medio de calicatas las cuales permiten: una inspección visual del terreno "in situ", la toma de muestras y realización de algún ensayo de campo como la clasificación visual manual. La visita de reconocimiento permitió conocer los antecedentes geológicos de los diferentes bancos, conocer si los suelos presentarían las características físicas necesarias que la investigación requería para utilizarlos como alternativa de material de construcción en sustituciones de suelo, así también obtener información sobre la cantidad y abundancia de material con la que cuenta cada banco y su uniformidad; mediante la observación de cortes naturales y/o artificiales producto de la erosión o

⁷⁰ Imagen Satelital obtenida de Google Maps, muestra la ubicación del banco de material fino, municipio de Apopa

⁷¹ ASTM D 420 "Guía estándar para caracterización en sitio con propósitos de Ingeniería, Diseño y Construcción"

deslizamiento, fue posible definir los principales estratos de suelos y delimitar zonas en las cuales estos presentan características similares, también se pudo observar la accesibilidad y el desarrollo infraestructural que se pueda proyectar en la zona, además se realizó una revisión de la información disponible, tanto a nivel regional y local, sobre la historia geológica y uso del suelo en los bancos propuestos y sitios aledaños. Además se analizaron las imágenes satelitales de las zonas para verificar las similares condiciones de los sitios aledaños. Los resultados se muestran a continuación:

3.2.1. Reconocimiento y exploración del banco N° 1 (Material granular).

La zona de Antiguo Cuscatlán se caracteriza por su acelerado progreso, tanto económico como infraestructural, la construcción de naves industriales, urbanizaciones y edificios permiten hacer con mayor facilidad la exploración, ya que en la excavación para cimentaciones de las construcciones aledañas se puede observar la estratigrafía de los materiales existentes en el sub suelo.

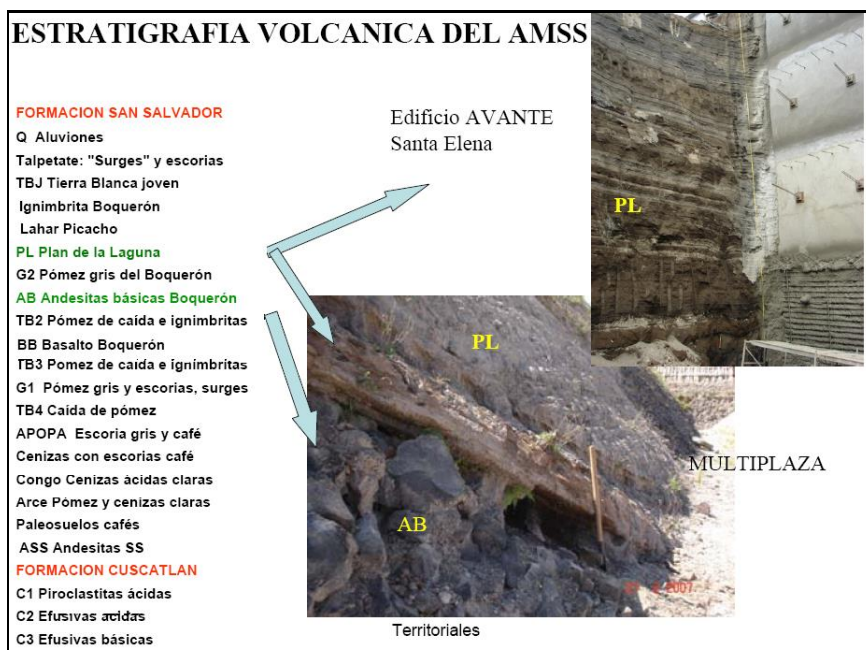
El Mapa Geológico de El Salvador clasifica al suelo granular encontrado en esta zona como producto piroclástico s5'b, "escorias, tobas de Lapilli, cínider" del Holoceno (Instituto Geográfico Nacional 1964-70). Estudios de suelos en diferentes sitios en Antiguo Cuscatlán, indican que el mejor candidato para el origen de este material era el cráter conocido como Plan de la Laguna que es considerado como un cráter explosivo formado por una violenta erupción hidromagmática⁷² y esto ha sido confirmado por estudios posteriores. Las investigaciones realizadas cerca al cráter y en zonas como

⁷² Datos tomados de documento de Williams y Meyer-Abich 1955; Sofield 1998.

M adreselva y Cumbres de Cuscatlán muestran un material con una estratigrafía muy similar.

A lo largo de los años el Servicio nacional de estudios territoriales (SNET), ha realizado la reconstrucción de la estratigrafía en el AMSS aprovechando los proyectos de construcción cuando hay excavaciones profundas, como se muestra en la figura 3.2.1. En la cual se observa la estratigrafía que se presenta en la zona de Santa Elena y Antiguo Cuscatlán.

Figura 3.2.1 Muestra la estratigrafía observada en excavaciones para cimentaciones de edificios en Antiguo Cuscatlán⁷³



El banco N° 1 se utilizará para la extracción del material granular. Las construcciones que se ejecutan en esta zona permiten observar el tipo de material que se encuentra en el

⁷³ Fuente según SNET y Oficina de Planificación del área metropolitana de San Salvador (OPAMSS)

sub suelo como se observa en la figura 3.2.1, este tipo de archivos extraídos de documentación del SNET y la visita realizada a diferentes construcciones de esta zona han permitido observar la cantidad de este material del tipo granular que hay en este sitio, el cual es abundante, lo que favorece aun más la aplicabilidad de la investigación. En el momento del muestreo, se construía en el banco seleccionado una nave industrial, esto permitió observar mejor los estratos de suelo existentes. En la figura 3.2.2 se observa que el banco se encuentra en una zona de fácil acceso ya que la carretera Panamericana pasa justo frente al proyecto.

Figura 3.2.2 Muestra accesibilidad al banco de material, así como material extraído producto de excavaciones del proyecto ejecutado en el banco N°1



3.2.2. Reconocimiento y exploración del banco N° 2 (Material plástico).

Como se menciono anteriormente, para el banco N° 2, se realizó el reconocimiento y exploración en dos sitios en los cuales se recolecto la siguiente información:

Planes de Renderos: El banco de material fino en este sitio se encuentra ubicado en la zona sur de San Salvador, sobre la calle antigua a Los Planes de Renderos, el material

encontrado es de color rojizo oscuro, pero no se puede determinar la dimensión de la capa de este material, ya que en este lugar no se han realizado excavaciones profundas previas debido a que en esta zona el progreso infraestructural no presenta mayor crecimiento.

Apopa: Banco de material fino se encuentra ubicado en la zona norte del departamento de S-S. En este sitio el crecimiento es más acelerado, ya que en la zona se han construido varias urbanizaciones, naves industriales y comercios, además de que el banco de material está ubicado sobre la carretera Troncal del Norte, que es una de las principales carreteras a nivel Centro Americano, que lo hace además un sitio muy accesible y con mucho desarrollo infraestructural proyectado. En el banco explorado se realiza corte y nivelación, el material extraído se utiliza como materia prima, en la elaboración artesanal de ladrillos de obra; gracias a eso, se pudo observar la abundancia del material, en la figura 3.2.3 se muestra la zona de recolección del material plástico en Apopa.

Figura 3.2.3. Muestra el banco de material plástico ubicado en Apopa.



En ambos bancos de material, por medio de calicatas con dimensiones de 0,80 m por 1,00 m, se encontró que los suelos predominantes son clasificados como: Regosoles⁷⁴, Latosoles⁷⁵ arcillo-rojizos y Andosoles⁷⁶ en terrenos alomados y montañosos accidentados.⁷⁷ “Son suelos superficiales a moderadamente profundos, los cuales presentan características de textura variable desde arenosa hasta arcillosos. Afectados en su mayoría por baja permeabilidad.

3.3. MUESTREO.

Se utilizarán las muestras alteradas para esta investigación, las cuales se obtienen en general de las paredes de los pozos o calicatas. Estos métodos permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y por lo tanto, es el método que normalmente entrega la información más confiable y completa

La cantidad de material que se recolectó en esta etapa correspondiente al muestreo, está basada en la norma ASTM D-420⁷⁸. Para llevar a cabo el muestreo de los suelos finos, se procedió a recolectar de cada uno de ellos 50 kg aproximadamente; no así para suelos gruesos ya que para ellos se requirió obtener una muestra de aproximadamente 100 kg.

⁷⁴ **Regosoles.** Suelos desarrollados sobre materiales no excesivamente consolidados y que presentan una escasa evolución, fruto generalmente de su reciente formación sobre aportes recientes no aluviales o localizarse en zonas con fuertes procesos erosivos que provocan un continuo rejuvenecimiento de los suelos.

⁷⁵ **Latosoles:** Suelos en los cuales se ha dado la laterización, se los llama también suelos ferralíticos y tienen alta concentración de hidróxidos de hierro y de aluminio o Bauxita (rica en alumina libre es la Gipsita, principal mineral de aluminio); si las rocas madres son ácidas y con mucho sílice, una parte de éstas se combina con alumina para formar arcillas poco fértiles del grupo de la caolinita, y mezcladas con sesquióxidos conocidas en el lenguaje común como “tierra colorada”.

⁷⁶ **Andosoles:** Son suelos que se han formado en lugares con clima húmedo, están constituidos por muchos materiales meteorizables y por material volcánico, es decir lava andesítica, nálfica y cenizas volcánicas depositadas. Su textura es franco-limosa, se caracterizan por retener agua entre el 50 y 100%, en ocasiones pueden contener piedra pómez.

⁷⁷ Datos tomados de levantamientos geológicos de Consejo de Alcaldes del AMSS y OPAMSS.

⁷⁸ ASTM D420 “Guía estándar para caracterización en sitio con propósitos de Ingeniería, Diseño y Construcción”

Las cantidades de muestra recolectadas, en base a parámetros establecidos, fueron las consideradas suficientes para realizar los siguientes ensayos: clasificación de suelos, análisis granulométrico y ensayos de plasticidad, los que servirán para escoger los bancos de materiales que se utilizarán en esta investigación.

Las muestras recogidas de cada banco se enviaron al laboratorio, colocándoseles la siguiente información para su correspondiente identificación:

- a) Fecha de muestreo
- b) Localización del Banco.
- c) Nombre de la persona que realizó el muestreo
- d) Localización e identificación de la calicata
- e) Profundidad de la calicata
- f) Identificación de la muestra
- g) Tipo de suelo
- h) Color, textura aparente, etc.

3.4. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CADA SUELO.

En esta etapa se analizará cada muestra de suelo obtenida de cada uno de los bancos de material, para determinar las características físicas de los suelos en estudio, como: su distribución granulométrica, tanto para plástico y granular, límites de consistencia para el material plástico, esto con el fin de obtener una clasificación de los suelos encontrados de acuerdo a Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) que es regido por la norma ASTM D2487 “clasificación de suelos para propósitos de ingeniería”.

3.4.1. Análisis Granulométrico

La finalidad del análisis granulométrico es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Para un suelo consiste en la determinación de los contenidos de grava, arena y finos que hay en una cierta masa de suelo, a través del método de análisis mecánico, mediante tamices de diferentes aberturas.

Para realizar el análisis granulométrico de las muestras obtenidas de los bancos se utilizó la norma ASTM D422 "Ensayo para el análisis granulométrico de partículas de suelo", la cual describe un análisis granulométrico de las partículas por medio de lavado. Los resultados de este ensayo se muestran a continuación para cada banco:

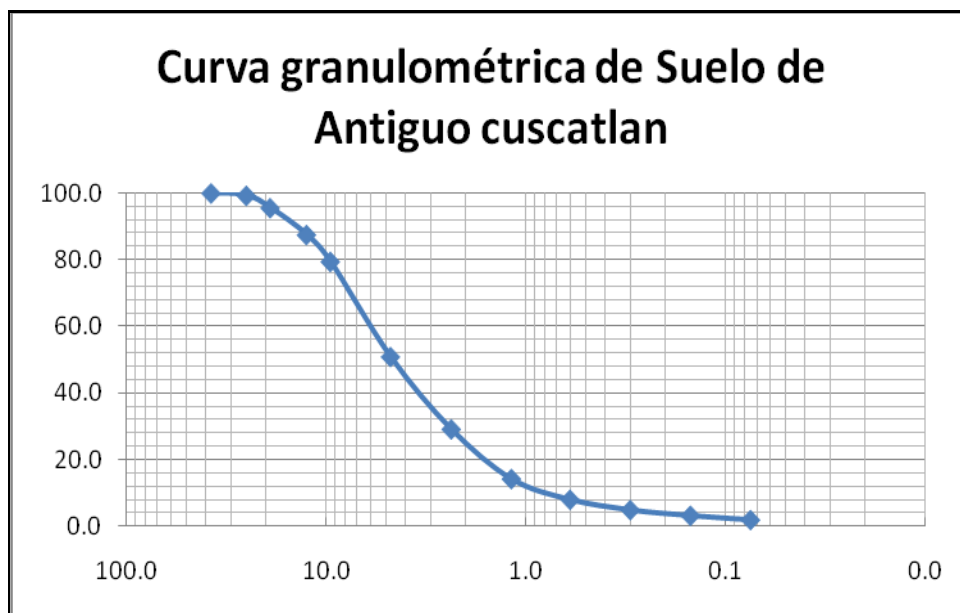
3.4.1.1 Análisis granulométrico del banco N° 1 (Material granular).

Al realizar el análisis granulométrico del material extraído del banco N° 1, pudo determinarse que el suelo posee una buena distribución granulométrica en el tamaño de sus partículas ó como se denomina bien graduado, esto por medio de la tendencia de la curva granulométrica, se puede observar en la figura 3.4.1, la cual muestra la tendencia obtenida al graficar el tamaño de las partículas vrs el porcentaje que pasa cada malla. El tamaño máximo nominal de las partículas es de 37.5 mm y un porcentaje de tamaño menor a 0.075 mm de 2%, estos datos se pueden observar en la tabla 3.4.1. Peso inicial de la muestra: 5000.1 g.

Tabla 3.4.1. Datos obtenidos del análisis granulométrico del suelo del banco N° 1.

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1 ½ "	0.0	0.0	0.0	100.0
1 "	36.4	0.7	0.7	99
¾ "	186.1	3.7	4.4	96
½ "	402.5	8.0	12.5	87
3/8 "	404.7	8.1	20.6	79
N° 4	1431.4	28.6	49.2	51
N° 8	1088.3	21.8	71.0	29
N° 16	747.4	14.9	85.9	14
N° 30	311.4	6.2	92.2	8
N° 50	156.0	3.1	95.3	5
N° 100	84.3	1.7	97.0	3
N° 200	64.8	1.3	98.3	2
FONDO	86.8	1.7	100.0	0
Suma	5000.1			

Figura 3.4.1. Muestra la curva granulométrica del suelo extraído del banco N° 1.



3.4.1.2 Análisis granulométrico del banco N° 2 (Material plástico).

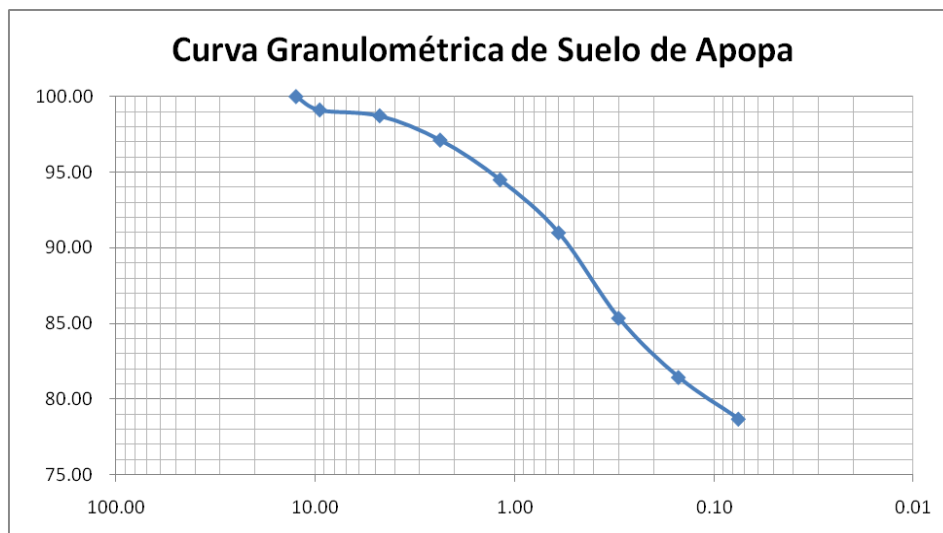
Como se mencionó anteriormente, para la selección del banco del material plástico, se escogieron dos sitios a los cuales se les realizaron los ensayos de laboratorio correspondientes para clasificarlos y determinar las características físicas de cada uno de ellos, para así, escoger uno de los bancos el cual presente el material con mayor IP, que es el objetivo de la investigación. Los resultados de los análisis granulométricos de cada sitio se muestran a continuación:

Apopa: este suelo contiene predominantemente partículas finas, ya que un 79% tiene un tamaño menor a 0.075 mm, la distribución de las arenas en este material es de un 9% de arenas finas, un 10% de arenas medias y 1% de arenas gruesas, quedando retenido en el tamiz N° 4 un 1%, como se puede observar en la tabla 3.4.2, y la figura 3.4.2. La tendencia de distribución de los tamaños de las partículas oscilan entre 9.5 mm a menores de 0.075 mm

Tabla 3.4.2. Datos obtenidos del análisis granulométrico del suelo extraído de Apopa.

TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1/2"	-	-	-	100
3/8"	2.85	0.88	0.88	99
N° 4	1.25	0.39	1.27	99
N° 8	5.20	1.61	2.87	97
N° 16	8.50	2.63	5.50	94
N° 30	11.34	3.51	9.01	91
N° 50	18.25	5.64	14.65	85
N° 100	12.67	3.92	18.57	81
N° 200	8.90	2.75	21.32	79
FONDO	254.54	78.68	100.00	-
Suma	323.50			

Figura 3.4.2. Muestra la curva granulométrica del suelo extraído de Apopa.

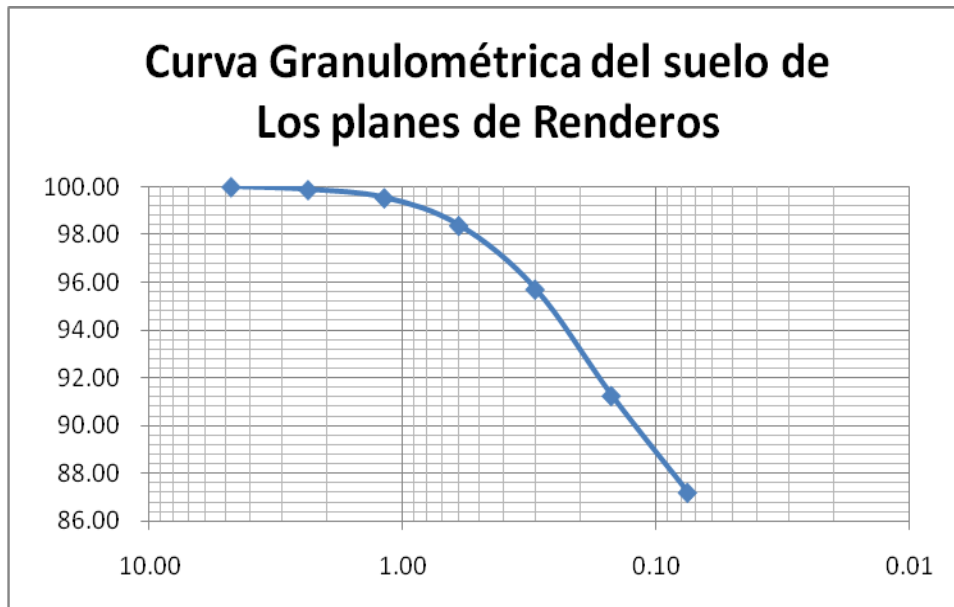


Planes de Renderos: Al igual que el suelo extraído de Apopa, este suelo contiene predominantemente partículas finas, con 87% de tamaños menores a 0.075 mm, las arenas están distribuidas en un 10% de arenas finas, 2% de arenas medias y un 1% de arenas gruesas; como se puede observar en la tabla 3.4.3, la tendencia de distribución de los tamaños de las partículas se puede observar en la curva de la figura 3.4.3 con tamaños que oscilan entre 9.5 mm a menores de 0.075 mm

Tabla 3.4.3. Datos obtenidos del análisis granulométrico del suelo extraído de Los Planes de Renderos.

TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
N° 4	-	-	-	100
N° 8	0.33	0.12	0.12	100
N° 16	0.93	0.34	0.47	99
N° 30	3.14	1.16	1.62	98
N° 50	7.24	2.67	4.30	96
N° 100	12.10	4.47	8.76	91
N° 200	11.00	4.06	12.83	87
FONDO	236.11	87.17	100.00	-
Suma	270.85			

Figura 3.4.3. Muestra la curva granulométrica del suelo extraído de Los Planes de Renderos.



3.4.2. Límites de Consistencia (Plasticidad).

La mecánica de suelos define la plasticidad, como la propiedad de un suelo para deformarse rápidamente sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse, como se mencionó en el capítulo anterior.

El análisis y determinación de las propiedades plásticas de un suelo está regido por la norma ASTM D – 4318 “Método de ensayo para determinación de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad” la cual se utilizó durante esta investigación para determinar dichos parámetros, para esto se utilizó el método A, el cual describe el procedimiento para determinar límites de consistencia a través de la determinación de varios puntos con diferentes contenidos de humedad. (Se sugiere citar dicha norma para comprender el procedimiento).

Las características del material correspondiente al banco N° 1 son del tipo granular, un material suelto, el cual no presenta cohesividad, muestra un porcentaje de finos muy bajo; debido a ello a este material no se le pueden determinar características plásticas, por lo tanto se determina como no plástico (NP).

Los resultados obtenidos de los ensayos de límites de consistencia realizados a los bancos del material N° 2 se muestran a continuación:

Apopa: La tabla 3.4.4 muestra los resultados obtenidos de límites de consistencia del suelo extraído de Apopa:

Tabla 3.4.4. Muestra los valores para determinar la plasticidad del suelo de Apopa.

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
54 %	32 %	22 %

Planes de Renderos: La tabla 3.4.5 muestra los resultados obtenidos de los límites de consistencia del suelo extraído de Los Planes de Renderos.

Tabla 3.4.5. Resultados de limite de consistencia de suelo extraído de Los Planes de Renderos

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
49 %	39 %	10 %

3.5. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS).

Existen diversos sistemas de clasificación de los suelos, para la clasificación de los materiales esta investigación utilizará el método SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos) que se rige por la norma ASTM D2487 "Practica estándar para la clasificación de suelos para propósitos de ingeniería"

3.5.1. Clasificación del material granular procedente del banco N° 1.

La clasificación de un material granular se hace por medio de su coeficiente de uniformidad (CU) y de su coeficiente de curvatura (CC), la determinación de estos coeficientes se hace por medio de la curva granulométrica del material.

Al material granular extraído del Banco N°1 se le realizó el ensayo de granulometría y de esta manera se pudieron conocer los datos necesarios para su clasificación. En la tabla 3.6.1 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.6.1. Resultados de ensayos de granulometría para banco N°1.

% DE GRAVA	% DE ARENA	% DE FINOS	CU	CC
49	49	2	7	1

Basándonos en estos resultados podemos decir que este material corresponde a un SW (Arena bien graduada), de color gris oscuro, el cual no presenta características plásticas.

3.5.2. Clasificación del material plástico procedente del banco N° 2

Para obtener la clasificación de los materiales obtenidos en Apopa y Los Planes de Renderos, por considerarlos materiales finos, ya que más de un 12% pasa el tamiz N° 200, se requirió los índices de plasticidad y su correspondiente granulometría, los resultados se muestran a continuación.

Apopa: En la tabla 3.6.2 muestra los resultados de los ensayos de granulometría y límites de consistencia obtenidos de este sitio.

Tabla 3.6.2. Resultados de ensayos de granulometría y límites de consistencia de material extraído de Apopa.

L1	Lp	% IP	% GRAVAS	% ARENAS GRUESAS	% ARENAS MEDIAS	% ARENAS FINAS	% FINOS
54 %	32 %	22	1	1	10	9	79

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede clasificar este material como MH, Limo inorgánico con arena, de alta plasticidad, considerada así, en función de su índice de plasticidad, ya que para suelos con $IP > 17$ se consideran de plasticidad alta; de color café claro, con brillo aparente, con 20% de arenas entre gruesas a finas.

Planes de Renderos: En la tabla 3.6.3 muestra los resultados de los ensayos de granulometría y límites de consistencia obtenidos de este sitio.

Tabla 3.6.3. Resultados de ensayos de granulometría y límites de consistencia de material extraído de Los Planes de Renderos.

L1	Lp	% IP	% GRAVAS	% ARENAS GRUESAS	% ARENAS MEDIAS	% ARENAS FINAS	% FINOS
49 %	39 %	10	0	1	2	10	87

Con los resultados obtenidos se puede clasificar este material como ML, Limo inorgánico con arena ligeramente plástico de acuerdo a su IP, ya que para $7 \leq IP < 17$ se consideran suelos medianamente plásticos, de color café oscuro, con un 11% de arenas finas.

3.6. SELECCIÓN DE LOS BANCOS DE PRESTAMO A UTILIZAR PARA LA ELABORACIÓN DE MBRC.

3.6.1. Banco de material N° 1.

Para la elección del banco de materiales N° 1, se han considerado varios criterios, como el desarrollo infraestructural ya que, Antiguo Cuscatlán es una zona que en estos últimos tiempos ha tenido un crecimiento acelerado, tanto económica como infraestructuralmente. Otro de los criterios que se tomó en cuenta fue la accesibilidad a la zona, ya que el banco de material elegido está ubicado a las orillas de la Carretera Panamericana, lo que lo hace muy accesible. En cuanto a la cantidad existente de este tipo de material, ya que se han observado en excavaciones realizadas en diferentes construcciones de esta zona la abundancia de este material. Además, la condición granular que presenta, permite la adición de un material complementario de grano fino como lo es la arena limosa, que es con la cual generalmente se realizan este tipo de mezclas, el cual le brinde cohesión, al adicionarlo o mezclarlo, el suelo granular brindará fricción, lo que permitiría obtener una mezcla mas óptima para sustituciones de suelo.

3.6.2. Banco de material N° 2.

En la elección del banco N° 2, se analizaron los sitios ubicados en Apopa y Los Planes de Renderos, el cuadro 3.7.1 muestra la comparación de estos dos sitios y sus respectivos materiales.

Tabla 3.7.1. Comparación entre Apopa y Los Planes de Renderos

CRITERIO	APOPA	PLANES DE RENDEROS
Desarrollo infraestructural proyectado.	Mayor, debido a la carretera de acceso y desarrollo industrial de la zona.	Menor, ya que no se tiene esperado mayor crecimiento industrial
Accesibilidad al banco de préstamo	Similares, ya que los 2 bancos presentan buenas vías de acceso.	
Cantidad de material existente	Abundante, generalmente es utilizado para elaborar ladrillos de obra.	No bien definido, ya que el material del tipo limo orgánico abunda más en la zona.
granulometría	Similares (a modo de comparación ver cuadros anteriores.)	
Índice de plasticidad	22%	10%

Basándonos en los resultados de la tabla 3.7.1 se ha escogido al material extraído de Apopa como el que se utilizará en la elaboración de MBRC, ya que esta zona es la que presenta mayor desarrollo infraestructural proyectado, lo que hará que la investigación tenga mayor aplicabilidad en las futuras construcciones de esta zona. Además el índice de plasticidad que presenta el material extraído de Apopa es mayor al encontrado en Los Planes de Renderos, este se ajusta más al objetivo de la investigación, la cual es estabilizar el material plástico.

3.7. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS ANALIZADOS CON LOS TIPOS DE MATERIALES ESTIPULADOS EN EL COMITÉ ACI 229R PARA ELABORACIÓN DE MBRC.

3.7.1. Comparación del material del banco N° 1, con lo establecido en el comité ACI 229R

No se puede realizar una comparación de la granulometría del material granular procedente del banco N° 1 con lo establecido por el comité ACI 229R, ya que este comité

nos refiere a la norma ASTM C 33 “Especificación estándar de agregados para concreto.”, la cual trata sobre agregados para concreto (arena y grava específicamente) y el material extraído del banco N° 1 no se comporta como ninguno de estos agregados. Dentro del comité ACI 229R no menciona una granulometría específica para suelos destinados para la elaboración de MBRC; sin embargo en el capítulo 3.8 de dicho comité, se definen los “Materiales no normalizados” que son los que no comúnmente son utilizados en la elaboración de MBRC y dentro de los cuales puede ser considerado el material encontrado en el banco N° 1.

3.7.2. Comparación del material plástico procedente del banco N° 2 con lo establecido en el comité ACI 229R.

Así también para el material del banco N° 2, luego de conocer su clasificación e Índice de plasticidad; es necesario compararlo con los criterios establecidos en ACI 229R para su utilización en esta investigación.

El ACI 229R, en el capítulo 3.7 “Agregados” no recomienda la utilización de materiales con plasticidad, ya que estos “presentan problemas de mezclado incompleto, rigidez de las mezclas, exceso de demanda de agua, encogimiento y resistencia a la compresión no uniforme”. Debido a ello generalmente no son considerados como materiales a utilizar en la elaboración de MBRC; sin embargo, en el capítulo 2.7 “Control de la erosión” hace mención de la utilización de este tipo de materiales para diferentes aplicaciones, mas no menciona el comportamiento y desempeño obtenido con este tipo de mezclas.

Por lo tanto el material del banco N° 2 del tipo plástico, también se tomará en consideración para su utilización como materiales no normalizados, estabilizándolo con

cal, para reducir el índice de plasticidad presente en el material, hasta obtener un IP que se considere medianamente plástico y poder observar los beneficios obtenidos con la reducción de plasticidad y así obtener por medio de ensayos de cilindros a compresión, registros de su comportamiento realizando las pruebas respectivas con este material para definir su conveniente utilización en la variedad de aplicaciones de MBRC.

3.8. CORRECCIONES A LOS TIPOS DE SUELO SELECCIONADOS PARA SU APLICACIÓN EN LAS MEZCLAS DE MBRC, SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS EN EL COMITE ACI 229R.

Los materiales que se utilizarán en este trabajo de investigación para elaboración de MBRC han sido seleccionados con el fin de aprovechar los materiales existentes del lugar de construcción de la obra, producto de excavaciones.

Según el comité ACI229R los materiales granulares producto de excavación, los cuales presentan propiedades de menor calidad, son una fuente potencial para la elaboración de MBRC y debido a ello deben ser considerados.

Los agregados o mezclas que se hinchan en servicio debido a reacciones expansivas o de otros mecanismos deben evitarse. En todos los casos la correcta o no utilización de materiales no normalizados deben determinarse a través de pruebas en la mezcla.

3.8.1. Corrección al material del banco N° 1.

Al realizar el análisis granulométrico del material recolectado en el banco N° 1, se determinó que este presenta un 49% de gravas y únicamente un 2% de material fino pasante del tamiz N° 200.

Debido a que el material granular del banco N°1 presenta poco material fino en su granulometría, se concluyó adicionar en el diseño de mezcla un material fino el cual proporcionará cohesividad y llenará los espacios vacíos que quedan entre los granos gruesos del material granular y de esta manera disminuir la cantidad de cemento necesaria para la mezcla. De esta manera con la mezcla de estos dos materiales conseguir una combinación que presente fricción y cohesividad ya que estos dos requisitos aumentan la capacidad portante en suelos según la ley de Coulomb en la mecánica de suelos.

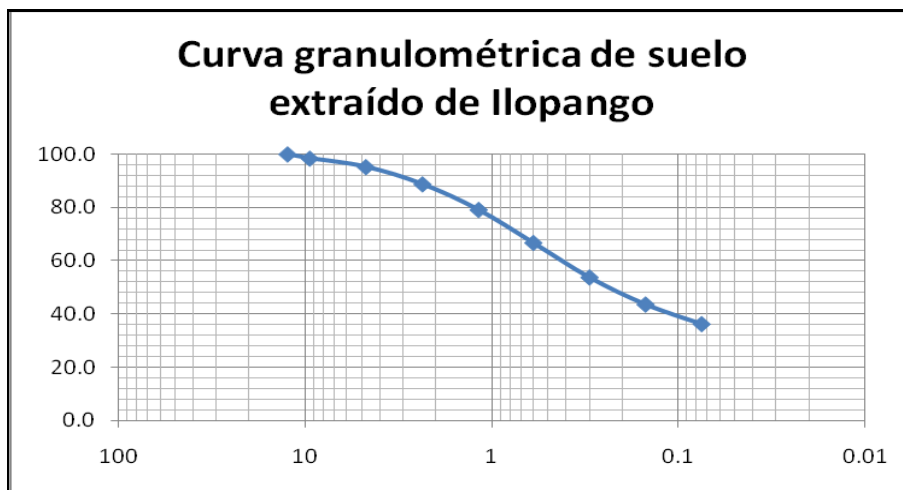
Se encontró un tercer material para adicionarlo en el diseño de mezcla del material granular, esta es una arena limosa no plástica procedente de Ilopango la cual fue sometida a ensayos de granulometría para poder observar su conveniente ó no utilización.

Según los ensayos realizados se observó que este material a adicionar contaba con un 36% de finos (material pasante del tamiz N° 200) y un 59% de arenas entre gruesas a finas. Los datos de este material se muestran en la tabla 3.8.1 y su curva granulométrica se observa en la figura 3.8.1.

Tabla 3.8.1. Datos obtenidos del análisis granulométrico del suelo extraído de Ilopango

TAMICES	PESO RETENIDO PARCIAL (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1/2"	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.47	1.59	1.59	98
N° 4	19.15	3.21	4.80	95
N° 8	38.53	6.46	11.26	89
N° 16	57.47	9.63	20.89	79
N° 30	73.91	12.39	33.28	67
N° 50	77.53	13.00	46.28	54
N° 100	60.74	10.18	56.46	44
N° 200	44.02	7.38	63.84	36
FONDO	215.68	36.16	100.00	0
Suma	596.50			

Figura 3.8.1. Muestra la curva granulométrica del suelo extraído de Ilopango



Para conocer qué cantidad de material del tipo Arena Limosa (SM) será conveniente adicionar al material granular en el diseño de MBRC, se realizaron varias combinaciones entre ambos materiales, obteniendo los respectivos pesos volumétricos sueltos de cada

una de las combinaciones, la combinación con la que se obtenga el mayor peso volumétrico suelto será la óptima para realizar el diseño.

La tabla 3.8.2 muestra las diferentes combinaciones hechas como se muestra en la figura 3.8.2 y basándonos en la norma ASTM C29 “Método de ensayo estándar para determinar la densidad bruta (peso unitario) y vacíos en los agregados” entre el material granular y la arena limosa y los pesos volumétricos obtenidos de estas combinaciones.

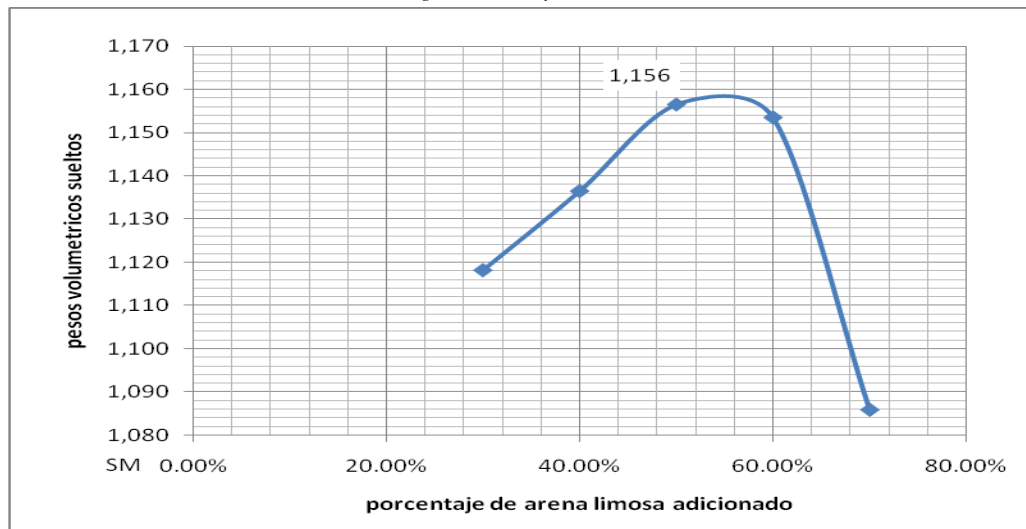
Figura 3.8.2. Muestra la combinación entre el material granular y la arena limosa para conocer el P.V.S de la combinación de ambos.



Tabla 3.8.2. Datos obtenidos de combinaciones entre material granular y arena limosa.

PORCENTAJE DE ARENA LIMOSA	PORCENTAJE DE MATERIAL GRANULAR	PESO VOLUMETRICO SUELTO (Kg/cm ³)
30.00	70.00	1,118
40.00	60.00	1,136
50.00	50.00	1,156
60.00	40.00	1,153
70.00	30.00	1,086

3.8.3 Muestra la gráfica de tendencia de pesos volumétricos y combinaciones entre material granular y arena limosa.



Por medio de la gráfica de la figura 3.8.3 se determinó que la combinación más conveniente a utilizar sería la del 50-50 que presenta un peso volumétrico suelto de 1156.47 Kg. /m³ que es el que se utilizará en la elaboración de M B R C , ya que esta es la que presenta el mayor peso volumétrico.

3.8.2. Corrección de material plástico del banco N° 2.

Para utilizar el material plástico seleccionado en la elaboración de M B R C , se procederá a adicionarle cal en diferentes porcentajes para disminuir de esta manera el alto IP que presenta a modo de estabilizarlo, aumentar capacidad de carga, su trabajabilidad y así poder observar el comportamiento de este material en rellenos, ya que el A C I 229R por su naturaleza plástica, no lo considera muy conveniente como material para elaborar M B R C . Para lograr disminuir el índice de plasticidad del material se le adicionó al suelo diferentes porcentajes de cal y se escogerá el porcentaje de cal con el que el índice de plasticidad disminuya en mayor medida, en la figura 3.8.4 se muestra el material pasante

del tamiz N° 40 adicionado con un porcentaje de cal. A este material con diferentes porcentajes de cal se les realizara nuevamente la determinación de los límites de consistencia y de esta manera determinar cómo disminuye el índice de plasticidad con la adición de cal en diferentes proporciones.

Fig. 3.8.4 Muestra la incorporación de cal al suelo pasante del tamiz N° 40 determinar el índice de plasticidad.

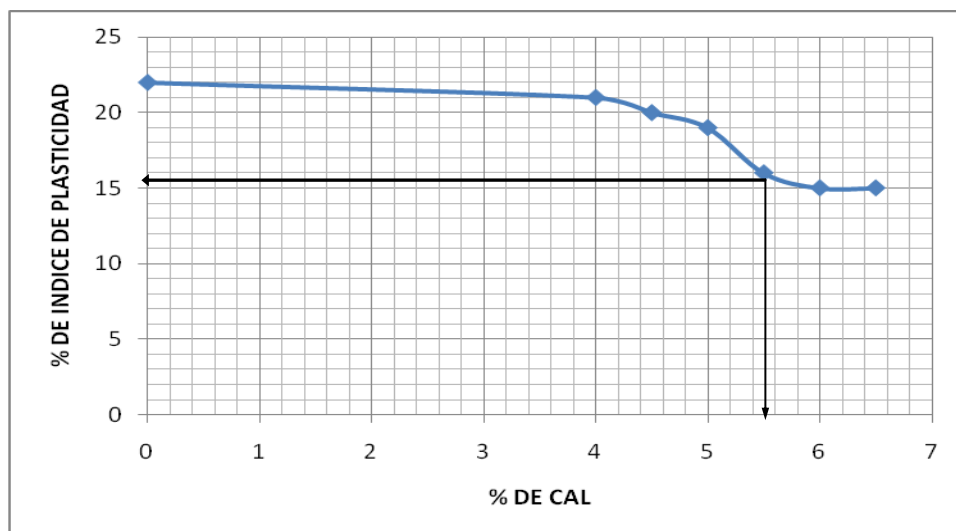


En la tabla 3.8.3 se muestran los resultados obtenidos de adicionar diferentes porcentajes de cal al material en estudio y en la figura 3.8.5 se muestra la tendencia con la que disminuye el índice de plasticidad con la adición de la cal.

Tabla 3.8.3 Índices de plasticidad obtenidos al aplicar al suelo diferentes proporciones de cal.

% DE CAL	% LIMITE LIQUIDO	% LIMITE PLASTICO	% INDICE DE PLASTICIDAD
0.0	54	32	22
4.0	62	41	21
4.5	60	40	20
5.0	58	39	19
5.5	57	41	16
6.0	56	41	15
6.5	55	40	15

Figura 3.8.5 Muestra la tendencia del IP de acuerdo al porcentaje de cal adicionado.



En la figura 3.8.5 se puede observar que con un porcentaje de 5.5% de cal adicionada a el material plástico se obtiene una disminución de 3 puntos porcentuales en el índice de plasticidad, obteniéndose un IP de 16% , por lo que este porcentaje de cal adicionado será el que se utilizará en la elaboración de M B R C ya que con este porcentaje de cal fue con el que se obtuvo una disminución significativa

CAPITULO IV

**ELABORACION DEL
DISEÑO DE MEZCLA.**

4. INTRODUCCIÓN

En el contenido de este capítulo se presentan los dos métodos de diseño de MBRC para cada uno de materiales estudiados en esta investigación, los cuales son el material granular y plástico. .

El primero de los métodos utilizados es el denominado “por resistencia” el cual por su simplicidad y pocos requerimientos de ensayos adicionales es el que más comúnmente se utiliza en el campo de la construcción y es el que se ha utilizado en el diseño de mezcla con material plástico.

El segundo de los métodos es una combinación de lo estipulado en el comité ACI229R y el comité ACI211, el cual fue obtenido de investigaciones realizadas por el Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto (ISCYC). Este método requiere realizar más ensayos a los materiales con los que se elaboró la mezcla y de esta manera se logró obtener características más definidas de la MBRC resultante del diseño, este método ha sido utilizado en el diseño de mezclas con material granular.

Adicionalmente, se presentan los resultados de esfuerzos a la compresión en cilindros realizados con las mezclas diseñadas en el presente capítulo a 7 y 28 días y por medio de estos resultados se escogerá la mezcla definitiva a ser analizada en este trabajo de investigación.

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE MBRC

Según el comité ACI 229R, capítulo N° 5, no se cuenta con un método específico para diseñar MBRC, generalmente el diseño de la mezcla se hace por medio de prueba y error hasta alcanzar el proporcionamiento con el cual se obtengan las propiedades de esfuerzo a la compresión, fluidez, y la densidad que se buscan en la mezcla.

En esta investigación se diseñaran MBRC de las cuales se elaboraran cilindros que deberán ser ensayados por medio del método descrito en la norma ASTM D4832 "Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBRC)" de los cuales se espera obtener a los 28 días una resistencia a la compresión de 15 Kg/cm², que según el comité ACI229R, es un criterio común para medir la capacidad portante del suelo valores de 3 a 9 kg/cm² (0,3 a 0,7 MPa) ya que es equivalente al esfuerzo de un relleno bien compactado, el esfuerzo de 15 Kg/cm² permite tener una resistencia tan alta que nos permita contar con un rango de seguridad y tan baja que permita las reexcavaciones futuras.

Además de la resistencia a la compresión esperada en la mezcla a elaborar, se requiere que ésta en estado fresco alcance un revenimiento de entre 6 a 8½ pulgadas, ya que con estos valores se obtiene una mezcla trabajable, fluida y sin segregaciones.

Para la elaboración de MBRC con material granular y material plástico se utilizaran materiales que cumplan con lo que se especifica en la tabla 4.1.1

Tabla 4.1.1: Características de MBRC y sus componentes.

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO	NORMA
Resistencia a la compresión a 28 días	15 Kg/cm ²	ASTM D 4832
Revenimiento	6 a 8 ½ pulgadas	ASTM C 143
Tipo de cemento	Pórtland, uso general, Tipo GU, 4060 psi	ASTM C 1157
Calidad del agua.	Agua aceptable para elaborar concretos y morteros son adecuadas para elaborar MBRC.	ASTM C 94

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A UTILIZAR EN EL DISEÑO DE MEZCLA.

Para la elaboración de los diseños de MBRC se decidió tomar metodologías diferentes para los dos tipos de materiales analizados en esta investigación (plástico y granular).

El primero de los métodos utilizados en el proporcionamiento de MBRC es el método por resistencia, este método se aplicará en el diseño de MBRC con material plástico, la manera de dosificar los materiales a utilizar se realiza por medio de volúmenes.

El segundo de los métodos se tomó de una investigación realizada por el ISCYC (Instituto Salvadoreño del Cemento y Concreto), con el cual se han obtenido resultados satisfactorios, utilizando una combinación del método ACI 211 y el ACI 229R. Pero este método aun no cuenta con la confiabilidad suficiente para ser utilizado en el diseño de MBRC ya que este comité describe el procedimiento para el diseño de mezclas de concreto de peso normal y las mezclas de MBRC se comportan de manera diferente a las mezclas de concreto en cuanto a tiempos de fraguado, fluidez y densidad, Para esta investigación, se ha seguido la metodología para la elaboración de diseño de MBRC utilizada por el ISCYC, en el diseño del MBRC con material granular. Con este método

se requiere conocer de los materiales a utilizar características como: pesos volumétricos, gravedades específicas y absorciones con lo que se obtiene una mezcla con características más controladas.

4.3. DISEÑO DE MEZCLA CON EL MATERIAL PLÁSTICO UTILIZANDO EN MÉTODO A: POR RESISTENCIA.

Este método está basado en el sistema de prueba y error, el cual consiste en establecer una determinada resistencia a la compresión a los 28 días en la MBRC, luego de tener definido el valor de resistencia esperado, se realizan diferentes mezclas, variando en cada una de ellas los porcentajes de cemento, hasta obtener una mezcla que cumpla con el requisito de resistencia establecido previamente.

El tipo de suelo que se utilizará para la elaboración de MBRC, de acuerdo a su clasificación es un MH (limo inorgánico de alta plasticidad), con un índice de plasticidad de 22%, el cual mediante pruebas ya realizadas disminuirá al adicionarle un determinado porcentaje de cal.

4.3.1. Proporcionamiento de MBRC preliminares con material plástico. (Diseño por volumen).

Paso 1: Determinación de la cantidad de mezcla:

Para realizar el proporcionamiento de la mezcla se definió un volumen de suelo que fuera suficiente para realizar las pruebas de revenimiento en estado fresco además de la elaboración de tres cilindros con dimensiones de 6 x 12"; 1 cilindro para ser ensayado a la compresión a los 7 días y 2 cilindros para ser ensayados a 28 días, para lo cual definió una cantidad de mezcla igual a 0.0238 m³ para la elaboración de mezclas preliminares.

Paso 2: Determinación de la cantidad de cal:

Previamente en el capítulo tres, en el apartado 3.9.2 se definió el porcentaje de cal de 5.5% del volumen de mezcla, ya que con este porcentaje el índice de plasticidad del suelo disminuía de 19% a 16%, en el rango de 5% a 5.5% de cal, el porcentaje de 5.5% se aplicó a la cantidad de 0.0238 m³ de mezcla para determinar el volumen de cal a utilizar.

Paso 3: Determinación de la cantidad de cemento:

Ya que este diseño se basa en el método de prueba y error, se realizaron 5 mezclas, definiendo para esto porcentajes de cemento en el rango de 3% a 7% del volumen total de mezcla, buscando obtener la resistencia a la compresión a 28 días previamente establecida.

Paso 4: Determinación de la cantidad de agua:

Se agregó agua hasta obtener un revenimiento que estuviera en el rango determinado previamente entre 6 a 8 pulgadas. Para el proporcionamiento de las mezclas no se realizaron correcciones por humedad, ni se definió una relación agua cemento ya que el objetivo de diseñar mezclas por este método es hacerlo de manera semejante como se hace en campo.

Las 5 mezclas realizadas fueron proporcionadas como se muestra en la tabla 4.3.1:

Tabla 4.3.1: Proporcionamiento de mezclas preliminares con suelos plásticos.

N°	DOSIFICACION	VOL. DE SUELO (m ³)	VOL. DE SUELO (litros)	% DE CAL	VOL. DE CAL (litros)	% DE CEMENTO	VOL. DE CEMENTO (litros)	VOL. DE AGUA (litros)
1	1:33	0.0238	23.8	5.50%	1.309	3%	0.714	14.5
2	1:25	0.0238	23.8	5.50%	1.309	4%	0.952	14.0
3	1:20	0.0238	23.8	5.50%	1.309	5%	1.190	15.0
4	1:17	0.0238	23.8	5.50%	1.309	6%	1.428	15.5
5	1:14	0.0238	23.8	5.50%	1.309	7%	1.666	15.5

4.3.2. Pruebas realizadas a MBRC preliminares con material plástico en estado fresco.

A la mezcla en estado fresco se le realizó las pruebas de revenimiento como lo especifica la norma ASTM C143 "Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico" como se observa en la figura 4.3.1, obteniéndose revenimientos entre 7 a 8 ½ pulgadas como se puede observar en la tabla 4.3.2.

Tabla 4.3.2: Revenimientos de mezclas preliminares con suelos plásticos.

N°	DOSIFICACION	REVENIMIENTO
1	1:33	7"
2	1:25	7 ½"
3	1:20	7 ½"
4	1:17	7 ½"
5	1:14	8 ½"

Figura 4.3.1: Muestra el proceso de medición del revenimiento de la mezcla de material plástico.



4.3.3. Pruebas realizadas a M B R C preliminares con material plástico en estado endurecido.

Se elaboraron 3 cilindros por cada una de las mezclas, los cuales se ensayaron según la norma ASTM D 4832 “Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (M B R C)”, un cilindro a los 7 días y dos a los 28 días obteniéndose los esfuerzos a la compresión que se muestran en las tablas 4.3.3 y 4.3.4 respectivamente:

Tabla 4.3.3: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de M B R C con material plástico a los 7 días.

PROBETA	MEZCLA	% DE CEMENTO	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm²)
1 A	1	3.00 %	7	1.42
2 A	2	4.00 %	7	2.40
3 A	3	5.00 %	7	3.27
4 A	4	6.00 %	7	3.51
5 A	5	7.00 %	7	3.79

Tabla 4.3.4: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de M BRC con material plástico a los 28 días.

PROBETA	MEZCLA	% DE CEMENTO	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
1 B	1	3 %	28	1.29	1.23
1 C	1	3 %	28	1.16	
2 B	2	4 %	28	1.84	1.84
2 C	2	4 %	28	1.84	
3 B	3	5 %	28	3.50	3.26
3 C	3	5 %	28	3.02	
4 B	4	6 %	28	3.74	4.12
4 C	4	6 %	28	4.49	
5 B	5	7 %	28	4.85	5.02
5 C	5	7 %	28	5.19	

Al comparar los resultados obtenidos a 7 y 28 días, se observa que no se tiene un incremento en el esfuerzo a la compresión en una misma mezcla.

Debido a que con los porcentajes de cemento considerados, las mezclas realizadas no alcanzaron a los 28 días el esfuerzo a la compresión esperado, se realizaron 3 mezclas adicionales, con porcentajes de cemento de entre 12% a 20% del volumen total de la mezcla, los proporcionamientos de estas nuevas mezclas se muestran en la tabla 4.3.5

Tabla 4.3.5: Proporcionamiento de mezclas preliminares con suelos plásticos.

N°	DOSIFICACION	VOL. DE SUELO (m ³)	VOL. DE SUELO (litros)	% DE CAL	VOL. DE CAL (litros)	% DE CEMENTO	VOL. DE CEMENTO (litros)	VOL. DE AGUA (litros)
6	1:8	0.0235	23.5	5.50 %	1.293	12 %	2.82	16
7	1:7	0.0235	23.5	5.50 %	1.293	15 %	3.525	16
8	1:6	0.0235	23.5	5.50 %	1.293	18 %	4.23	16.5
9	1:5	0.0235	23.5	5.50 %	1.293	20 %	4.7	17

Los resultados de los revenimientos de estas nuevas mezclas se muestran en la tabla

4.3.6

Tabla 4.3.6: Revenimientos de mezclas preliminares con suelos plásticos.

N°	DOSIFICACION	REVENIMIENTO
6	1:8	5 ¼ "
7	1:7	6 "
8	1:6	6 ½ "
9	1:5	7 "

Los resultados de esfuerzos a compresión de estas nuevas mezclas a los 7 y 28 días se muestran en las tablas 4.3.7 y 4.3.8 respectivamente.

Tabla 4.3.7: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de MBRC con material plástico a los 7 días.

PROBETA	MEZCLA	% DE CEMENTO	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)
6A	6	12.00%	7	11.49
7A	7	15.00%	7	15.71
8A	8	18.00%	7	17.10
9A	9	20.00%	7	13.96
9B	9	20.00%	7	17.14

Tabla 4.3.8: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de MBRC con material plástico a los 28 días.

PROBETA	MEZCLA	% DE CEMENTO	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
6B	6	12%	28	13.78	13.42
6C	6	12%	28	13.06	
7B	7	15%	28	22.57	24.73
7C	7	15%	28	26.88	
8B	8	18%	28	29.60	31.66
8C	8	18%	28	33.71	
9C	9	20%	28	33.46	33.46

Dados los resultados obtenidos se decidió realizar las mezclas con un 12% de cemento, ya que este porcentaje dio resultados más uniformes, es decir con menos variación entre valores en esfuerzos a compresión a los 28 días, el resultado promedio fue de 13.42 kg/cm² el cual es menor al de 15 kg/cm² pero supera al rango equivalente de un suelo bien compactado que es de 3 a 9 Kg/cm²; además de tomar en consideración el factor económico, relacionado al consumo de cemento.

4.4. DISEÑO DE MEZCLA CON EL MATERIAL GRANULAR, COMBINANDO COMITES ACI 229R Y ACI 211.

Para el diseño de mezcla de MBRC con material granular como se ha mencionado en el desarrollo del capítulo, se utilizó un método que combina lo estipulado en el comité ACI 229R Y ACI 211. Debido a que los documentos de referencia para llevar a cabo nuestra investigación en la elaboración de la MBRC son los mencionados anteriormente, se toman en cuenta los parámetros, cantidades, especificaciones y recomendaciones que ahí se describen en el diseño con materiales denominados no normalizados.

Dicho comité ACI 229R da una serie de parámetros de cantidades de material por metro cúbico que se deben agregar a una mezcla de MBRC, algunas de esas cantidades de presentan en la tabla 4.4.1.

Tabla 4.4.1: Parámetros para dosificación de MBRC según ACI229R

M A T E R I A L	C A N T I D A D	O B S E R V A C I Ó N .
C e m e n t o	30 a 120 kg / m ³	El aumento de cemento manteniendo al mismo tiempo la igualdad de todos los demás factores (es decir agua, cenizas volantes, agregados y la temperatura ambiente) por lo general aumenta la resistencia y reduce el tiempo de endurecimiento.
A r e n a s	1,500 a 1,800 kg / m ³	El contenido total de la arena varía en función de la cantidad necesaria para llevar el volumen de la MBRC después de considerar cemento, cenizas volantes, agua y el aire contenido.
A g r e g a d o G r u e s o	-	En general no se utiliza en mezclas de MBRC tan a menudo como las arenas. Cuando se utiliza, sin embargo, el contenido total de agregado grueso es aproximadamente igual al contenido total de arenas.
A g u a	193 a 344 kg / m ³	El agua ofrece una alta fluidez y promueve la consolidación de los materiales. El contenido de agua será mayor con mezclas utilizando agregados finos.

Los valores correspondientes a los materiales de la tabla 4.4.1 se tomaron como referencia para establecer las cantidades que se utilizarían en el diseño de la mezcla con el material granular.

Las características en cuanto a esfuerzos y revenimiento que se deben obtener en la mezcla son las detalladas en la tabla 4.1.1 del presente capítulo, estas son similares a la mezcla elaborada con materiales plásticos. La diferencia en cuanto a materiales que se utilizaran para la elaboración de la mezcla es el material granular de procedencia volcánica combinado con suelo fino del tipo Arena Limosa, el tamaño máximo de las partículas del suelo utilizado en la mezcla es de 3/4", esto para evitar segregación y aumentar la trabajabilidad.

Paso 1: Determinación de la gravedad específica de los agregados y pesos volumétricos sueltos.

Para realizar el proporcionamiento de la mezcla de MBRC según los parámetros del comité ACI211 se hace necesario contar con los datos de gravedad específica del cemento, del agua y de los suelos a utilizar en la mezcla, la gravedad específica del agua es un valor estándar de 1 y la gravedad específica del cemento se tomó como 2.94. (Ver tabla 4.4.2).

Para determinar la gravedad específica del suelo granular se utilizó la norma ASTM C128 "Determinación de la gravedad específica y absorción de agregado fino" para el agregado que pasa el tamiz N°4 y la norma ASTM C127 "Determinación de la gravedad específica y absorción de agregado grueso" para el tamaño de partículas que se retienen en el tamiz N°4, la determinación de la gravedad específica para el material granular se determinó con las normas correspondientes a agregados para concreto debido a que el suelo analizado cuenta únicamente con un 2% de agregado fino y un alto porcentaje de partículas gruesas. El valor de gravedad específica total del material granular se determinó multiplicando el valor obtenido de gravedad específica del material fino por el porcentaje que pasa el tamiz N°4 más el valor obtenido de gravedad específica del material grueso por el porcentaje retenido en el tamiz N°4

$$GE = 49\% GE_{\text{gravas}} + 51\% GE_{\text{arenas+finos}}$$

El valor de 49% representa el porcentaje retenido en el tamiz N°4 y el valor de 51% representa lo que pasa del tamiz N°4

Para determinar la gravedad específica de la arena limosa que se mezclará con el fin de agregar mayor cantidad de finos al material granular, se utilizó la norma ASTM D854

“Determinación de la Gravedad Específica de Partículas Sólidas de los suelos” y la absorción de este material se determinó por medio del método descrito en la norma ASTM C128. Los datos de gravedades específicas y absorción correspondientes se presentan en la tabla 4.4.2:

Tabla 4.4.2: Datos de gravedad específica y absorción de materiales a utilizar en MBRC.

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA	ABSORCION
Cemento	2.94	-
Agua	1	-
Material granular	1.97	11.97 %
Arena limosa	2.26	11.41 %

Los pesos volumétricos sueltos de los materiales a utilizar fueron determinados por medio de la norma ASTM C29 “Determinación del peso volumétrico suelto”. Los valores se presentan en la tabla 4.4.3

Tabla 4.4.3: Datos de pesos volumétricos sueltos de materiales a utilizar en MBRC.

MATERIAL	PESO VOLUMETRIC SUELTO (Kg/m ³)
Material granular	1,104
Arena limosa	989
Combinación	1,156

Paso 2: Proporcionamiento de los componentes de la mezcla.

Se realizó el diseño de MBRC tomando como base un volumen de 1m³ de mezcla. Para iniciar el proporcionamiento de MBRC se definió un valor para la cantidad de agua a utilizar que estuviera entre el rango que establece el comité ACI 229R, el valor tomado

fue de 172.50 Kg/m³ de agua. Luego basados siempre en el comité, se asumió un valor para la cantidad de cemento de 85 Kg/m³ para cumplir con una relación agua cemento provisional de 2.03 para fines de diseño y tomándolo como base para iniciar el tanteo de relación agua cemento. Además se consideró un contenido de aire del 4%, este valor fue tomado de investigaciones realizadas por el ISCYC en MBRC. Con los datos obtenidos se procedió a determinar los volúmenes de agua y cemento en litros a utilizar dividiendo el peso entre la gravedad específica de cada material y el porcentaje de aire por el volumen de un metro cúbico convertido a litros como se muestra a continuación:

$$V = \frac{W}{G.E.}$$

Donde:

V = Volumen

W = Masa del material húmedo

G.E.: Gravedad específica.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.4.4

Los volúmenes en litros para un metro cúbico de mezcla se muestran en la tabla 4.4.4.

Tabla 4.4.4: Determinación de los volúmenes de materiales a utilizar para 1m³ de MBRC.

MATERIAL	PESO DE MATERIAL (Kg)	GRAVEDAD ESPECIFICA	VOLUMEN (LITROS)
Cemento	85	2.94	28.91
Agua	172.50	1	172.50
Aire	4%	-	40

Para determinar la cantidad de suelo a utilizar se restó de 1000 litros que es el equivalente de un metro cúbico el volumen de cemento, más agua, más aire como se muestra a continuación:

$$1000 - (\text{vol. de cemento} + \text{vol. de agua} + \text{vol. de aire}) = \text{vol. de suelo}$$

$$1000 - (28.91 + 172.50 + 40) = 758.59 \text{ litros}$$

Este volumen de suelo se convierte a peso multiplicándolo por 2.12 que representa la gravedad específica del suelo combinado y se obtiene un peso a utilizar de 1604.41 Kg. De esta manera obtenemos las cantidades de material a utilizar para hacer 1 m³ de M B R C. Los datos se resumen en la tabla 4.4.5

Tabla 4.4.5: Cuadro resumen de cantidades de material para M B R C.

M A T E R I A L	P E S O D E M A T E R I A L K g	V O L U M E N (LITROS)
C e m e n t o	85.00	28.91
A g u a	172.50	172.50
S u e l o	1604.41	758.59
A i r e	4 %	40.00

4.4.3 Correcciones por humedad.

Para determinar la cantidad de agua a adicionar a la mezcla es necesario conocer y tomar en cuenta la humedad que presenta el suelo a la hora del mezclado, de esta manera se realiza la corrección por humedad, obteniéndose un dato de relación agua cemento más exacto.

El porcentaje de humedad el suelo se obtiene como lo describe la norma ASTM C566

“Método de ensayo estándar para contenido de humedad total del agregado por secado”

Con este dato y la absorción obtenida por el método descrito en las normas ASTM D 854, ASTM C 127 y ASTM C 128, se podrá hacer una corrección por humedad a la mezcla, lo que permitirá contar con la cantidad de agua que el suelo le proporciona a la mezcla, esta corrección por humedad se realiza como se describe a continuación:

- a) Se determina la cantidad de agua libre que contienen las partículas de suelo, restando el contenido de humedad (% CH) que contiene las partículas de suelo menos su absorción (% Abs).
- b) Determinar la condición de suelo. Si la humedad de las partículas de suelo es mayor que la absorción, se interpreta como exceso de humedad; si la humedad de las partículas de suelo es menor que la absorción, muestra la falta de agua; en ocasiones se da el caso que el valor de humedad del suelo y el valor de absorción son el mismo, en este caso la interpretación adecuada es un equilibrio en el contenido de agua.

% CH > % Abs = exceso de humedad

% CH < % Abs = falta de humedad

% CH = % Abs = equilibrio

- c) Se corrige la cantidad de suelo a utilizar con la siguiente fórmula:

$$S_c = S (1 + CH/100)$$

Donde:

S_c : Peso de suelo corregido.

S : Peso del suelo.

CH : Contenido de humedad.

d) Se corrige la cantidad de agua utilizando la siguiente fórmula:

$$A_c = S (1 + H_s/100)$$

Donde:

A_c: Peso de agua corregido.

S: Peso del suelo.

H_s: Humedad libre del suelo.

e) Se suma o se resta la cantidad de agua de la corrección (según sea el caso de la condición del suelo) a la cantidad de agua anteriormente determinada.

Con esta corrección por humedad de la mezcla y el agua adicional añadida para alcanzar el revenimiento especificado cuando se está elaborando, se altera la relación agua/cemento de diseño y debido a que la relación agua/cemento fue uno de los datos en el que nos basamos para proporcionar los componentes de la mezcla, se dan nuevos datos en las cantidades de materiales utilizados en las mezclas, estos nuevos valores de encuentran en la tabla 4.4.6

Esta corrección por humedad se debe de realizar cuando se está elaborando la mezcla, ya que el valor de humedad considerado es el que presenta el suelo en el momento del mezclado.

Estas cantidades son para una relación agua /cemento preliminar de 2.03 y un volumen de mezcla de 1 m³, pero para esta investigación se realizaron 5 mezclas con diferentes relaciones agua/cemento para determinar con cuál de las mezclas se obtendría la resistencia especificada, los datos de todas mezclas para un volumen de 0.028 m³

considerando revenimiento y elaboración de cilindros de MBRC se muestran en la tabla

4.4.6

Tabla 4.4.6: Proporcionamiento de mezclas preliminares con suelo granular.

N°	1	2	3	4	5
CEMENTO (Kg)	2.83	1.76	1.61	1.49	1.38
AGUA (Kg)	8.92	6.1	6.1	6.1	6.1
GRANULAR (Kg)	30.85	21.13	21.18	21.22	21.25
SM (Kg)	34.44	23.59	23.64	23.69	23.73
AGUA REAL (Kg)	12.42	8.1	8.35	9.1	9.1
A/C REAL	4.39	4.61	5.19	6.12	6.6

4.4.1. Pruebas realizadas a MBRC preliminares con material granular en estado fresco.

Se realizó a cada una de las mezclas la determinación del revenimiento según la norma ASTM C143, obteniéndose revenimientos entre 7 a 8 ½ pulgadas como se puede observar en la tabla 4.4.7

Tabla 4.4.7: Revenimientos obtenidos de MBRC con suelo granular.

N°	1	2	3	4	5
A/C REAL	4.39	4.61	5.19	6.12	6.6
REVENIMIENTO (plg)	7 ½ "	7	8	8 ½ "	8

4.4.2. Pruebas Realizadas a MBRC preliminares con material granular en estado endurecido.

Al igual que para las MBRC con material plástico, para las mezclas con material granular se hicieron 3 cilindros por cada una de ellas, los cuales se ensayaron a los según la norma ASTM D 4832, se obtuvo el esfuerzo a compresión de un cilindro a los 7 días y

dos cilindros a los 28 días obteniéndose los resultados que se muestran en las tablas 4.4.8 y 4.4.9 respectivamente:

Tabla 4.4.8: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de MBRC con material granular a 7 días.

PROBETA	MEZCLA	A/C	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)
1 A	1	4.39	7	5.94
2 A	2	4.61	7	3.23
3 A	3	5.19	7	4.08
4 A	4	6.12	7	2.83
5 A	5	6.60	7	3.68

Los valores obtenidos de esfuerzo a la compresión a los 7 días son muy bajos comparados al esfuerzo final esperado, puede observarse que los valores de esfuerzo a la compresión son inversamente proporcionales a la relación agua/cemento.

Tabla 4.4.9: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de MBRC con material granular a 28 días.

PROBETA	MEZCLA	A/C	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
1 B	1	4.39	28	11.32	11.36
1 C	1	4.39	28	11.39	
2 B	2	4.61	28	9.03	8.77
2 C	2	4.61	28	8.51	
3 B	3	5.19	28	5.91	6.01
3 C	3	5.19	28	6.11	
4 B	4	6.12	28	4.52	4.85
4 C	4	6.12	28	5.18	
5 B	5	6.6	28	4.95	4.80
5 C	5	6.6	28	4.65	

En los resultados de esfuerzos a la compresión a los 28 días presentados en la tabla 4.4.9 se observa que con las mezcla realizadas no se alcanzó en esfuerzo a la compresión de

15 Kg/cm² esperado, por lo que se elaboraron 3 mezclas adicionales, disminuyendo la relación Agua/cemento, esperando incrementar la ganancia de resistencia, las proporciones de estas nuevas mezclas se muestran en la tabla 4.4.10

Tabla 4.4.10: Proporcionamiento de mezclas preliminares con suelos granular.

N°	6	7	8
CEMENTO (Kg)	2.1	2.38	2.66
AGUA (Kg)	5.62	6.08	6.08
GRANULAR (Kg)	20.36	20.92	20.82
SM (Kg)	22.72	23.35	23.25
AGUA REAL (Kg)	9.12	8.58	8.58
A/C REAL	4.34	3.61	3.22

Los resultados de los revenimientos de las mezcla realizados como lo rige la norma ASTM C143 se muestran en la tabla 4.4.11

Tabla 4.4.11: Revenimientos de MBRC con suelos granulares

N°	6	7	8
A/C REAL	4.34	3.61	3.22
REVENIMIENTO (plg)	7	7	7

Los resultados de esfuerzos a compresión de estas mezclas a los 7 días se muestran en la tabla 4.4.12 y los resultados de esfuerzo a la compresión a los 28 días se muestran en la tabla 4.4.13

Tabla 4.4.12: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de MBRC con material granular a los 7 días.

PROBETA	MEZCLA	A/C	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
6A	6	4.39	7	6.42	6.75
6B	6	4.39	7	7.08	
7A	7	3.61	7	7.83	8.19
7B	7	3.61	7	8.55	
8A	8	3.22	7	8.69	8.71
8B	8	3.22	7	8.72	

En los datos presentados en la tabla 4.4.12 se observa que a edades tempranas, reduciendo la relación agua/cemento, se obtiene un mayor esfuerzo a la compresión.

Tabla 4.4.13: Resultados de esfuerzo a la compresión en cilindros de MBRC con material granular a los 28 días.

PROBETA	MEZCLA	A/C	EDAD (días)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	ESFUERZO PROMEDIO (kg/cm ²)
6C	6	4.39	28	10.75	11.29
6D	6	4.39	28	11.83	
7C	7	3.61	28	15.27	15.24
7D	7	3.61	28	15.21	
8C	8	3.22	28	19.12	17.89
8D	8	3.22	28	16.67	

Dados los resultados, se decidió escoger la mezcla N° 7 que corresponde a una relación agua/cemento de 3.61 para reproducir las mezclas definitivas, ya que esta presenta valores promedio de esfuerzo a la compresión a los 28 días de 15.24 Kg/cm², que es cercano al esfuerzo de 15.0 Kg/cm² especificado, además de tener los resultados similares entre dos cilindros de la misma mezcla.

P R U E B A S D E

C O N T R O L

R E A L I Z A D A S A L A

M E Z C L A D I S E Ñ A D A .

INTRODUCCIÓN.

Para los dos tipos de materiales (el material granular tipo Lapilli y el material plástico) se siguieron diferentes procedimientos para la elaboración de la mezcla de MBRC, según las necesidades del material, estos procedimientos se detallan en el presente capítulo; así como también los resultados a las edades de 7, 14 y 28 días de los ensayos a la compresión en especímenes elaborados con MBRC de los dos tipos de materiales, además en este capítulo se hace un análisis estadístico para la interpretación de los resultados obtenidos de los dos tipos de mezclas elaboradas.

5.1. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS.

En el capítulo tres del presente documento, se determinaron las mezclas definitivas que se reprodujeron. A continuación se describen los procedimientos que se siguieron para la elaboración de MBRC con material plástico y material granular.

5.1.1. Elaboración de Mezcla Plástica.

Para la mezcla de MBRC con el material plástico, se realizaron cuatro mezclas, tres de ellas agregándoles el 5.5% de cal, para una cantidad de 0.12 m^3 de suelo, 12% de cemento y suficiente agua para alcanzar el revenimiento especificado y una cuarta mezcla con la misma dosificación, pero ésta sin la adición de cal, esto con el fin de comparar la ganancia de resistencia que proporciona la cal. Con cada mezcla se elaboraron 15 especímenes, teniéndose un total de 60 cilindros de MBRC elaborados.

Preparación del suelo plástico a utilizar:

1. El material plástico se seco al aire para que fuera más fácilmente desmenuzable, tendiéndolo sobre una superficie limpia y expuesta al sol.
2. Se desmenuzaron los grumos de arcilla contenidos en el material.
3. Luego de desmenuzar los grumos se procedió a tamizar el material, pasándolo por una malla con aberturas de 4.75 mm, para evitar los grumos existentes y asegurar la homogenización del mezclado completo del suelo, cemento, cal y agua.

En la figura 5.1.1 se muestra el material plástico, expuesto al sol para ser secado y para posteriormente desmenuzar sus grumos.

Figura 5.1.1 Muestra la preparación del material, el cual es tendido, exponiéndolo al sol para que este pierda humedad y desmenuzarse.



O btención de cantidades de m ateriales para la elaboración de mezcla :

1. **Volumen de suelo:** Se estableció un volumen de suelo para cada mezcla, el cual proporcionara una cantidad de mezcla suficiente para la elaboración de 15 especímenes, más un ensayo de revenimiento; considerando un porcentaje de 25% de abundamiento.

2. **Volumen de Cal:** Para determinar el volumen de cal a utilizar en la mezcla, se tomó el 5.5% del volumen total del suelo, el cual representa el porcentaje de cal que produjo la mayor disminución del índice de plasticidad en este material, en ensayos realizados previamente.

3. **Volumen de cemento:** Para determinar el volumen de cemento en la mezcla, se tomó el 12% del volumen de suelo, este porcentaje representa la cantidad de cemento óptimo que produjo la resistencia a la compresión deseada en cilindros elaborados con este material y ensayados previamente a las edades especificadas.

4. **Determinación de la cantidad de agua:** Se agregó la suficiente cantidad de agua hasta obtener una mezcla con un revenimiento de $7\frac{1}{2}$ ".

La tabla 5.1.1 muestra las cantidades de materiales utilizados en la elaboración de las cuatro mezclas, incluyendo la que no contiene cal.

Tabla 5.1.1 Proporcionamiento de los materiales de la mezcla y revenimientos.

N ° MEZCLA	HUMEDAD %	CEMENTO %	CAL %	CANT DE SUELO (l)	CAL (l)	CEMENTO (l)	AGUA (l)	REVENIMIENTO (plg)
1	9.00	12.00	5.50	115.50	6.35	13.86	75.00	7 ½
2	16.00	12.00	5.50	117.20	6.45	14.06	62.00	7 ½
3	12.00	12.00	5.50	116.30	6.40	13.96	66.00	7 ½
4	10.00	12.00	0.00	116.40	0.00	13.97	72.00	7 ½

Mezclado de los componentes de la MBRC:

El mezclado se realizó en una mezcladora mecánica con capacidad de una bolsa, siguiendo los siguientes pasos:

1. Se midieron los volúmenes que se muestran en la tabla 5.1.1, de cada uno de los materiales a utilizar en la mezcla.
2. Se agregó el suelo, cal y cemento en la mezcladora mecánica, dejándose mezclar en seco durante tres minutos.
3. Se agregó agua, hasta obtener un revenimiento de 7 ½ ” y se dejó 3 minutos más mezclándose, hasta tener una mezcla homogénea como se muestra en la figura 5.1.2
4. Se elaboraron 15 cilindros por mezcla, de los cuales 5 fueron ensayados a la compresión a la edad de 7 días, 5 especímenes a 14 días y 5 especímenes a 28 días.

Fig. 5.1.2 Muestra el asentamiento y homogeneidad de la mezcla plástica.



5.1.2. Elaboración de Mezcla Granular combinada con Arena Limosa.

Preparación del material granular:

Se realizaron tres mezclas, de las cuales se obtendrían 15 especímenes de cada una, haciendo un total de 45 especímenes, de los cuales 5 fueron ensayados a compresión a la edad de 7 días, 5 especímenes a 14 días y 5 especímenes a 28 días por cada una de las mezclas.

1. Se procedió a separar del material granular del tipo Lapilli, los tamaños de partículas mayores a $\frac{3}{4}$ " , para cumplir con la granulometría con la cual se realizaron las pruebas preliminares.
2. Se determinó el contenido de humedad del material granular y la de arena limosa.

O btención de cantidades de m ateriales para la elaboración de mezcla :

1. Se definió una cantidad de mezcla que fuera suficiente para la elaboración de 15 cilindros y un revenimiento por mezcla, esta cantidad fue de 0.1155 m^3 .
2. Las cantidades correspondientes a los componentes de la mezcla fueron determinadas como se detalló en el capítulo cuatro, en el literal 4.2.2.1, tomando de éste el proporcionamiento que se definió para la mezcla definitiva, con una dosificación óptima de 5.30% de cemento.

La tabla 5.1.2 muestra las cantidades de materiales para cada una de las mezclas elaboradas.

Tabla 5.1.2: Cantidades de materiales utilizados para elaboración de MBRC con material granular.

	MEZCLA N° 1	MEZCLA N° 2	MEZCLA N° 3
% DE CEMENTO	5.30 %	5.30 %	5.30 %
CEMENTO (kg)	8.86	8.50	8.50
AGUA (l)	22.65	28.89	29.28
GRANULAR (kg)	77.88	71.65	71.48
SM (kg)	86.95	79.98	79.79
AGUA REAL (l)	38.15	44.89	43.28
A/C REAL	4.31	5.28	5.09
REVENIMIENTO	5 "	7 ½ "	7 "

Para realizar el proporcionamiento se realizaron correcciones por absorción y humedad.

Mezclado de los componentes de la MBRC:

La mezcla granular, al igual que la mezcla plástica se elaboró en una mezcladora mecánica con capacidad de una bolsa.

1. Se agregaron los componentes de la mezcla y se dejaron mezclando por un tiempo de 5 minutos. Como se muestra en la figura 5.1.3
2. Se realizó un ensayo de revenimiento en la mezcla para verificar su trabajabilidad.
3. Se elaboraron los 15 especímenes por mezcla, de los cuales 5 fueron ensayados a compresión a la edad de 7 días, 5 especímenes a 14 días y 5 especímenes a 28 días.

Fig. 5.1.3 Muestra la mezcla granular elaborada de forma mecánica previa a la elaboración de especímenes.



**5.2. RESULTADOS DE ESFUERZOS A COMPRESION DE LOS
ESPECÍMENES.**

**5.2.1. Resultados de ensayos a compresión en cilindros elaborados de MBRC
con material plástico.**

En las tablas de la 5.2.1 a 5.2.9, se presentan los resultados de esfuerzos a compresión realizados en especímenes elaborados con MBRC correspondiente al material plástico estabilizado con cal a edades de 7, 14 y 28 días.

Adicionalmente, en las tablas 5.2.13 a 5.2.15, se muestran los resultados de esfuerzos a compresión de la mezcla plástica sin la incorporación de cal.

Tabla.5.2.1: Resultados de esfuerzos a compresión a edad de 7 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 27 de Abril del 2010

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL										
RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMETRICOS										
Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 55%										
UBICACION DE BANCO:		límite del Norte Km14, Amapa			Mezcla N°1			Tipo de suelo:		MH
FECHA DE ELABORACION:		27 de Abril del 2010						Revenimiento:		1/2
FECHA DE RUPTURA:		4 de Mayo del 2010						Cemento:		12%
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALURA (m)	PESO (kg)	AREA (m ²)	EDAD (das)	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)
1	15.1	30.6	8862	179.08	7	16207	16209	9.23	1000	1617
2	15.1	30.6	8963	179.08	7	20229	20208	11.51		1636
3	15.1	30.6	8923	179.08	7	16136	16488	9.19		1628
4	15.0	30.5	8766	176.71	7	17821	181662	10.28		1626
5	15.1	30.5	8889	179.08	7	17178	175107	9.78		1627

Tabla 5.22: Resultados de esfuerzos a compresión a edad de 14 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 27 de Abril del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMID 4832</p> <p style="text-align: center;">Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CA: 55%</p> <p>UBICACION DE BANCO: Itirocal del Norte Km14, Apopa FECHA DE ELABORACION: 27 de Abril del 2010 Mezcla N°1 FECHA DE RUPTURA: 11 de Mayo del 2010</p> <table border="1" style="float: right;"> <tr><td>tipo de suelo</td><td>MH</td></tr> <tr><td>Reverimiento</td><td>7/2'</td></tr> <tr><td>Cemento</td><td>12%</td></tr> </table>											tipo de suelo	MH	Reverimiento	7/2'	Cemento	12%
tipo de suelo	MH															
Reverimiento	7/2'															
Cemento	12%															
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (kN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)						
6	15.1	305	8941	179.08	14	28228	2877.47	1607	15.36	1637						
7	15.2	304	8883	181.46	14	26525	2708.87	1490		1612						
8	15.1	305	8883	179.08	14	26191	2669.83	1491		1626						
9	15.1	306	8665	179.08	14	22693	2313.25	1292*		1576						
10	15.1	304	8831	179.08	14	27319	2784.81	1555		1622						

* Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.2.3: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 28 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 27 de Abril del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN SPECIMENES DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMILADO 482</p> <p style="text-align: center;">Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 55%</p> <p>UBICACION DE BANCO: Itirocal del Norte Km14, Aropa FECHA DE ELABORACION: 27 de Abril del 2010 Mezcla N°1 FECHA DE REPORTE: 25 de Mayo del 2010</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Tipos de arena</td> <td>MH</td> </tr> <tr> <td>Revermierta</td> <td>7 1/2'</td> </tr> <tr> <td>Cemento</td> <td>12%</td> </tr> </table>											Tipos de arena	MH	Revermierta	7 1/2'	Cemento	12%
Tipos de arena	MH															
Revermierta	7 1/2'															
Cemento	12%															
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTIMA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)						
11	15.2	305	8833	181.46	28	3040	30601	17.12	1628	1596						
12	15.1	304	8925	179.08	28	2469	25468	14.04		1639						
13	15.1	305	8961	179.08	28	2205	22618	12.54*		1641						
14	15.1	305	8885	179.08	28	2825	28920	16.08		1627						
15	15.3	305	8872	183.85	28	3225	32491	17.87		1582						

* Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser el disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.24: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 7 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 30 de Abril del 2010

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL										
RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMID 82										
Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CA: 55%										
UBICACION DE BANCO:	litrocal del Norte Km14, Aqpa							Tipo de suelo		MH
FECHA DE ELABORACION:	30 de Abril del 2010			Mezcla N°2				Reverimiento		7/2'
FECHA DE RUPTURA:	7 de Mayo del 2010							Cemento		12%
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTIURA (m)	PESO (kg)	AREA (m ²)	EDAD (das)	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/m ²)	PROMEDIO (kg/m ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)
16	15.1	305	9.09	179.08	7	21.419	2183.38	12.19 [*]	10.35	1664
17	15.1	305	9.17	179.08	7	18.707	1906.95	10.65		1679
18	15.0	306	9.18	176.71	7	17.046	1737.61	9.83		1697
19	15.1	306	9.14	179.08	7	19.738	2012.03	11.24		1667
20	15.1	305	9.15	179.08	7	17.044	1737.41	9.70		1675

* Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.2.5: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 14 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 30 de Abril del 2010

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL										
RESISTENCIA A COMPRESION EN ESQUEMENS DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMD482										
"Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC)" CAL: 55%										
UBICACION DE BANCO		Litoral del Norte Km14, Aoppa			Mezcla N°2			Tipo de suelo:		MH
FECHA DE ELABORACION:		30 de Abril del 2010						Revenimiento		7/2'
FECHA DE RUPTURA:		14 de Mayo del 2010						Cemento		12%
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (kN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)
21	15.1	305	9.30	179.08	14	27,014	2753.76	15.38	1469	163
22	15.1	305	9.18	179.08	14	27,391	2792.17	15.59		168
23	15.1	305	8.88	179.08	14	27,401	281.53	12.18*		162
24	15.1	305	9.15	179.08	14	23,028	2347.40	13.11		164
25	15.1	305	9.02	179.08	14	25,807	2600.0	14.69		161

*Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser el disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.2.6: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 28 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 30 de Abril del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMETRICOS</p> <p style="text-align: center;">Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 55%</p> <p>UBICACION DE BANCO: Irioncal del Norte Km4, Apopa FECHA DE ELABORACION: 30 de Abril del 2010 Mezcla N°2 FECHA DE RUPTURA: 28 de Mayo del 2010</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>tipo de suelo</td> <td>MH</td> </tr> <tr> <td>Reverimiento</td> <td>7/2</td> </tr> <tr> <td>Cemento</td> <td>12%</td> </tr> </table>											tipo de suelo	MH	Reverimiento	7/2	Cemento	12%
tipo de suelo	MH															
Reverimiento	7/2															
Cemento	12%															
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTIURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (das)	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)						
26	15.1	304	9.16	179.08	28	26.594	2710.91	15.14	1500	1682						
27	15.1	305	9.05	179.08	28	25.444	2590.62	14.47		1657						
28	15.2	305	9.11	181.46	28	26.743	2726.10	15.02		1645						
29	15.1	306	9.13	179.08	28	25.337	2582.77	14.42		1666						
30	15.1	305	9.00	179.08	28	28.025	2867.78	15.95		1647						

Tabla 5.27: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 7 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 4 de Mayo del 2010.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN SPECIMENES DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMILAR</p> <p style="text-align: center;">Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 55%</p> <p>UBICACION DE BANCO: litrocal del Norte Km14, Aropa FECHA DE ELABORACION: 4 de Mayo del 2010 Mezcla N°3 FECHA DE RUPTURA: 11 de Mayo del 2010</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>tipo de suelo</td> <td>MH</td> </tr> <tr> <td>Reverimiento</td> <td>7/2</td> </tr> <tr> <td>Cemento</td> <td>12%</td> </tr> </table>											tipo de suelo	MH	Reverimiento	7/2	Cemento	12%
tipo de suelo	MH															
Reverimiento	7/2															
Cemento	12%															
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)						
31	15.1	305	8970	179.08	7	19478	1985.50	11.09	11.83	1642						
32	15.1	304	8983	179.08	7	19951	2037.6	11.36		1650						
33	15.1	305	9014	179.08	7	21885	22899	11.89		1650						
34	15.2	304	9060	181.46	7	24534	25096	13.78*		1642						
35	15.2	306	8993	181.46	7	23085	235323	12.97		1620						

Tabla 5.28: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 14 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 4 de Mayo del 2010

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL RESISTENCIA A COMPRESION EN SPECIMENS DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMID 482 Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CA: 55%																
UBICACION DE BANCO:		límite del Norte Km14, Aopoa				Mezcla N°3		<table border="1"> <tr> <td>tipo de suelo</td> <td>MH</td> </tr> <tr> <td>Reverimiento</td> <td>7/2'</td> </tr> <tr> <td>Cenicienta</td> <td>12%</td> </tr> </table>		tipo de suelo	MH	Reverimiento	7/2'	Cenicienta	12%	
tipo de suelo	MH															
Reverimiento	7/2'															
Cenicienta	12%															
FECHA DE ELABORACION:		4 de Mayo del 2010														
FECHA DE RUPTURA:		18 de Mayo del 2010														
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (kN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)						
36	15.1	305	8974	179.08	14	24775	25248	14.10	14.90	1643						
37	15.1	305	8956	179.08	14	26246	26546	14.94		1640						
38	15.1	305	8831	179.08	14	22523	22595	12.82*		1617						
39	15.2	305	9000	181.46	14	2888	29861	16.19		1650						
40	15.1	306	9033	179.08	14	25246	25348	14.37		1648						

* Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser el disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.29: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 28 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico, fecha de elaboración 4 de Mayo del 2010.

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL RESISTENCIA A COMPRESION EN ESQUEMENS DE MRC CON MATERIAL PLASTICO ESTABILIZADO ASIMILAD#32 Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 55%										
UBICACION DE BANCO:		límite del Norte Km4, Aoppa			Mezcla N°3		Tipo de suelo:		MH	
FECHA DE ELABORACION:		4 de Mayo del 2010					Revermierta:		7/2'	
FECHA DE REPORTE:		2 de Junio del 2010					Cemento:		12%	
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	PESO (Kg)	AREA (m ²)	EDAD (das)	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)
41	15.20	3050	901	181.46	28	29,316	288.34	1647	1602	1629
42	15.20	3050	895	181.46	28	30052	303.38	1688		1619
43	15.10	3060	892	179.08	28	25,137	252.39	1431*		1628
44	15.20	3070	902	181.46	28	26,368	267.85	1481		1618
45	15.20	3050	902	181.46	28	28,309	285.75	1590		1629

*Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

5.2.3.1 Análisis de resultados de esfuerzos a compresión obtenidos en especímenes de M B R C con material plástico adicionando 5.5% de cal.

Para llevar a cabo el análisis de los resultados de las diferentes mezclas, se utilizarán variables estadísticas, como la media aritmética (\bar{X}) y la desviación estándar (σ), para poder mostrar la uniformidad de los resultados.

- a) **Valores promedios de la población por edad:** En la tabla 5.2.10 se muestra el esfuerzo a la compresión promedio de las tres mezclas obtenido a la edad de 28 días; además se muestra el valor de la desviación estándar, con el fin de analizar la uniformidad y representatividad de los resultados.

Tabla 5.2.10: Comparación del promedio de resistencias a compresión a la edad de 28 días con la desviación estándar.

	Probeta	Cal %	f'c a 28 días (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²) y σ	f'c de diseño (kg/cm ²)	Limite Superior kg/cm ²	Limite Inferior kg/cm ²
Mezcla N° 1	11	5.5	17.12	15.71	15.71±1.17	13.42	16.88	14.54
	12	5.5	14.04					
	13	5.5	12.54*					
	14	5.5	16.08					
	15	5.5	17.87					
Mezcla N° 2	26	5.5	15.14					
	27	5.5	14.47					
	28	5.5	15.02					
	29	5.5	14.42					
	30	5.5	15.95					
Mezcla N° 3	41	5.5	16.47					
	42	5.5	16.88					
	43	5.5	14.31*					
	44	5.5	14.81					
	45	5.5	15.90					

* Este resultado no se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

Los datos que corresponden a las probetas 11,12, 15, 27 y 29 se alejan de la media aritmética obtenida en más de $\pm 1\sigma$, sin embargo se tomaron en cuenta para obtener el valor de la media aritmética de la población de resultados.

En la tabla 5.2.11 se muestra la comparación de los resultados de esfuerzos a la compresión entre las mezclas preliminares elaboradas en el capítulo cuatro y las mezclas definitivas analizadas en este capítulo.

Tabla 5.2.11: Comparación de esfuerzos a compresión promedio versus esfuerzos a compresión de mezcla preliminar.

EDAD	ESFUERZO A COMPRESION PROMEDIO (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESION PRELIMINAR (kg/cm ²)
7	10.73	11.49
14	14.98	--
28	15.71	13.42

En la tabla 5.2.11 se puede observar que el esfuerzo a la compresión promedio a la edad de 28 días de la mezcla elaborada supera en un 14.51% a la mezcla preliminar que fue tomada como base para la elaboración de la mezcla definitiva.

b) Coeficiente de variación de la población de datos: Por medio del coeficiente de variación, se determinó la variación entre los resultados de los especímenes ensayados. El coeficiente de variación se determinó por medio de la siguiente fórmula, dando como resultado un valor de 7.45% :

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

En la tabla 5.2.12 se observa el grado de representatividad de los resultados, a través del coeficiente de variación:

*Tabla 5.2.12. Grado de representatividad de los resultados*⁷⁹

C o e f i c i e n t e d e v a r i a c i ó n (C v)	I n t e r p r e t a c i ó n
0 < C v < 10	A l t a r e p r e s e n t a t i v i d a d
10 < C v < 20	B a s t a n t e r e p r e s e n t a t i v o
20 < C v < 30	R e p r e s e n t a t i v o
30 < C v < 40	D u d o s a m e n t e r e p r e s e n t a t i v o
> 40	N o s e p u e d e c o n c l u i r

El coeficiente de variación de 7.45% obtenido en los datos de esfuerzos a compresión, se encuentra en el rango de $0 < C v < 10$; por lo tanto, la población de resultados, muestra una alta representatividad. Cuanto mayor sea el coeficiente de variación, mayor será la dispersión y por lo tanto, menor la representatividad de su media aritmética.

A continuación en las tablas 5.2.13 a la 5.2.15, se muestran los resultados obtenidos en la mezcla elaborada sin la incorporación de cal.

⁷⁹ Tomado de la página <http://www.iberfinanzas.com/index.php/C/coeficiente-de-variacion-mediana>.

Tabla 5.2.13: Resultados de esfuerzos a compresión a 7 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico sin estabilizar con cal, fecha de elaboración 7 de Mayo del 2010.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL M.H ASIMILADOS</p> <p style="text-align: center;">*Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 0%</p> <p>UBICACION DE BANCO: Itirocal del Norte Km14, Aoppa</p> <p>FECHA DE ELABORACION: 7 de Mayo del 2010</p> <p>FECHA DE RUPTURA: 14 de Mayo del 2010</p> <table border="1" style="float: right; margin-right: 20px;"> <tr> <td>Revenimiento</td> <td>7/2</td> </tr> <tr> <td>Cenicienta</td> <td>12%</td> </tr> </table>											Revenimiento	7/2	Cenicienta	12%
Revenimiento	7/2													
Cenicienta	12%													
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (Kg)	AREA (cm ²)	EDAD (das)	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)				
1	15.10	30.50	884	179.08	/	7,470	761.47	4.25*	5.64	1618				
2	15.00	30.50	884	176.71	/	10,345	1064.55	5.97		1640				
3	15.10	30.50	882	179.08	/	9,968	1016.11	5.67		1614				
4	15.10	30.50	883	179.08	/	9,195	957.31	5.23		1617				
5	15.10	30.50	877	179.08	/	9,966	1015.90	5.67		1616				

*Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.2.14: Resultados de esfuerzos a compresión a 14 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico sin estabilizar con cal, fecha de elaboración 7 de Mayo del 2010.

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL MH ASIMD 482</p> <p style="text-align: center;">‘Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC)’ CAL: 0%</p> <p>UBICACION DE BANCO: Itirocal del Norte Km14, Acaja FECHA DE ELABORACION: 7 de Mayo del 2010 FECHA DE RUPTURA: 18 de Mayo del 2010</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>Revenimiento</td> <td>7/2'</td> </tr> <tr> <td>Cemento</td> <td>12%</td> </tr> </table>											Revenimiento	7/2'	Cemento	12%
Revenimiento	7/2'													
Cemento	12%													
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTIURA (m)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (das)	CARGA (kN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)				
6	15.0	30.50	867	176.71	14	9.720	990.83	5.61	5.91	1608				
7	15.10	30.50	881	179.08	14	11.152	1136.80	6.35		1612				
8	15.0	30.50	862	176.71	14	11.233	1145.06	6.48		1598				
9	15.10	30.40	873	179.08	14	9.220	944.95	5.28		1603				
10	15.10	30.50	881	179.08	14	10.233	1043.12	5.82		1613				

Tabla 5.2.15: Resultados de esfuerzos a compresión a 28 días en especímenes elaborados de MRC con material plástico sin estabilizar con cal, fecha de elaboración 7 de Mayo del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FAULDADE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL MVH ASIMID 4832</p> <p style="text-align: center;">Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC) CAL: 0%</p> <p>UBICACIÓN DE BANCO: Itzamal del Norte Km14, Amapa FECHA DE ELABORACION: 7 de Mayo del 2010 FECHA DE RUPTURA: 2 de Junio del 2010</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>Revenimiento</td> <td>7/2</td> </tr> <tr> <td>Cemento</td> <td>12%</td> </tr> </table>											Revenimiento	7/2	Cemento	12%
Revenimiento	7/2													
Cemento	12%													
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (kN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)				
11	15.20	3050	883	181.46	28	889	9306	498*	622	155				
12	15.20	3040	877	181.46	28	12315	1255.5	692		150				
13	15.10	3050	885	179.08	28	12981	1318.14	735*		1621				
14	15.20	3040	884	181.46	28	10346	1064.64	581		1612				
15	15.20	3040	891	181.46	28	10575	1077.98	594		1616				

*Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

5.2.3.2 Análisis de resultados de esfuerzos a compresión, obtenidos en especímenes de la cuarta mezcla de M B R C con material plástico sin cal.

A continuación se muestran los valores promedio de resultados de esfuerzos a compresión en la mezcla sin la adición de cal, esto con el fin de observar los beneficios obtenidos con la incorporación de ésta a la mezcla a la edad de 28 días.

a) Valores promedios de la población por edad y desviación estándar:

La tabla 5.2.16 muestra los valores promedio de resistencias a la compresión a la edad de 28 días y su correspondiente desviación estándar.

Ya que el valor de la desviación estándar denota la representatividad de los resultados, los puntos obtenidos fuera de este intervalo se desvían en más de $\pm 1\sigma$ de la población de valores; para los resultados mostrados en la tabla 5.2.16 el único valor fuera de este intervalo es el de 6.92 Kg/m² ya que se aleja en más de $\pm 1\sigma$ del valor promedio.

Tabla 5.2.16: Comparación del promedio de resistencias a la compresión a la edad de 28 días con la desviación estándar.

Probeta	Cal %	f'c a 28 días (kg/cm ²)	f'c prom (kg/m ²)	f'c prom y σ (kg/cm ²)	f'c de mezcla estabilizada (kg/cm ²)	Límite inferior	Límite superior
11	0	4.98*	6.22	6.22 \pm 0.61	15.71	5.61	6.83
12	0	6.92					
13	0	7.36*					
14	0	5.81					
15	0	5.94					

* Este resultado no se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

Los valores medios obtenidos de esfuerzos a compresión en la mezcla sin adición de cal, se comparan con los resultados promedios de esfuerzos a compresión obtenidos en la mezcla elaboradas con M H estabilizado con 5.5% de cal en la tabla 5.2.17.

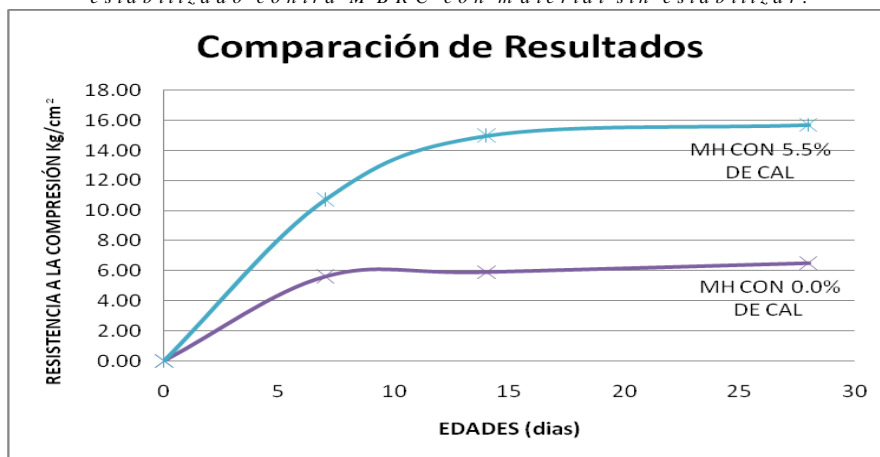
Tabla 5.2.17: Comparación de esfuerzos a compresión promedio de mezcla sin cal adicionada, versus esfuerzos a compresión de mezcla preliminar.

Edad (días)	Esfuerzo a la compresión promedio con M H sin estabilizar (kg/cm ²)	Esfuerzo a la compresión promedio con M H estabilizado (kg/cm ²)
7	5.62	10.98
14	5.91	14.51
28	6.22	15.71
Revenimiento	7 ½ "	7 ½ "

A la edad de 28 días, la mezcla elaborada sin la adición de cal, muestra un valor promedio de esfuerzo a la compresión de 6.22 kg/cm² el cual es más bajo con respecto al valor promedio obtenido de la mezcla estabilizada con cal, obteniendo en esta última un esfuerzo a la compresión promedio de 15.71 kg/cm², demostrando que la adición de cal aumenta la resistencia a la compresión en un porcentaje de 60.40% a esta edad.

En la figura 5.2.1 se muestra una comparación gráfica de la ganancia de resistencia promedio a las edades de 7, 14 y 28 días obtenidos de las mezclas elaboradas con M H estabilizado y sin estabilizar.

Figura 5.2.1: Comparación de resistencias a la compresión de M B R C con material estabilizado contra M B R C con material sin estabilizar.



a) Coeficiente de variación de la población de datos:

El coeficiente de variación de 10.76% obtenido en los datos de esfuerzos a compresión se encuentra en el rango de $10 < C_v < 20$; por lo tanto los valores obtenidos son bastante representativos.

5.2.3 Resultados de esfuerzos a compresión en cilindros elaborados con MBRC correspondiente a el material granular.

En las tablas 5.2.18, 5.2.21, 5.2.22, 5.2.23, 5.2.26, 5.2.27 y 5.2.28, se presentan los resultados de esfuerzos a compresión obtenidos en cilindros elaborados con MBRC correspondiente a el material granular conocido como Lapilli combinado con arena limosa a edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 5.2.18: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 28 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 9 de Abril del 2010

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL RESISTENCIA A COMPRESION EN ESQUEMAS DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASIMILAR *Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBCU)*										
UBICACION DE BANCO:		Carretera Panamericana y boulevard Walter Daininger, Artigro Guscaltán, La Libertad						Reverimiento:	5'	
FECHA DE ELABORACION:		12 de Marzo del 2010						Cemento %:	5.30%	
FECHA DE RUPTURA:		09 de Abril del 2010						AC de teor:	205	
		Mezcla N° 1						AC de real:	431	
PROBETA	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD (días)	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)
1	15.2	30.5	9.45	181.46	28	33	363.91	1854*	1513	1108
2	15.2	30.5	9.43	181.46	28	35	367.19	1967*		1113
3	15.2	30.5	9.48	181.46	28	45	458.16	2528*		1116
4	15.2	30.5	9.43	181.46	28	21	252.29	1517		1104
5	15.1	30.5	9.24	179.08	28	29	256.17	1651		1092
6	15.0	30.5	9.39	176.71	28	33	363.91	1904*		1144
7	15.2	30.5	9.45	181.46	28	29	256.17	1629		1116
8	15.2	30.5	9.35	181.46	28	25	248.42	1404		1097
9	15.2	30.5	9.49	181.46	28	25	248.42	1404		1115
10	15.3	30.4	9.52	183.8	28	21	252.29	1497		1114
11	15.2	30.4	9.35	181.46	28	29	256.17	1629		1097
12	15.1	30.5	9.45	179.08	28	21	252.29	1537		1132
13	15.0	30.4	9.58	176.71	28	23	244.55	1327*		1111
14	15.0	30.5	9.45	176.71	28	25	248.42	1442		1154
15	15.1	30.4	9.41	179.08	28	25	248.42	1423		1135

*Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser dispersión en relación a los demás valores.

5.2.3.1. Análisis de resultados de esfuerzos a compresión obtenidos en especímenes de la primera mezcla de M B R C.

El análisis de resultados de esfuerzos a compresión obtenidos en las diferentes mezclas elaboradas con material granular y arena limosa, se realizará de manera independiente; es decir, para cada una de las 3 mezclas, debido a que estas registran diferentes valores de revenimientos, por lo tanto existe una diferencia entre relaciones a/c.

b) Valores promedios de la población por edad y desviación estándar:

Los resultados del promedio y desviación estandar de los resultados de esfuerzos a compresión de la mezcla N° 1 a 28 días se muestran en la tabla 5.2.19:

Tabla 5.2.19: Comparación entre valores promedio de resistencias a compresión a 28 días con la desviación estándar.

Probeta	Cemento %	f'c a 28 días (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	f'c prom y σ (kg/cm ²)	f'c de diseño (kg/cm ²)	Límite inferior	Límite superior
4	5.30	15.17	15.13	15.13±0.96	15.24	14.17	16.09
5	5.30	16.51					
7	5.30	16.29					
8	5.30	14.04					
9	5.30	14.04					
10	5.30	14.97					
11	5.30	16.29					
12	5.30	15.37					
14	5.30	14.42					
15	5.30	14.23					

Los resultados correspondientes a las probetas 8,5, 9 y 11, se alejan de la media aritmética de la población de resultados en más de $\pm 1\sigma$, sin embargo se tomaran en cuenta para el cálculo de la media.

Los valores medios de esfuerzos a compresión obtenidos en la primer mezcla del material granular mezclado con arena limosa, se compararon con los resultados

obtenidos en la mezcla preliminar detallada en el capítulo IV, los esfuerzos a compresión a 28 días se muestran en la Tabla 5.2.20, encontrándose que el esfuerzo obtenido en la mezcla definitiva fue menor en un 0.73% al esfuerzo obtenido en la mezcla preliminar.

Tabla 5.2.20: Comparación de esfuerzos a compresión promedio versus esfuerzos a compresión de mezcla preliminar.

EDAD	ESFUERZO A COMPRESION PROMEDIO (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESION PRELIMINAR (kg/cm ²)
28	15.13	15.24
Revenimiento	5"	7"

Los valores de esfuerzos a compresión de la primera mezcla a edades de 7 y 14 días no se pudieron registrar, debido a ello no se conoce el comportamiento de la mezcla en el tiempo.

c) Coeficiente de variación de la población de datos:

La población de resultados presentó un coeficiente de variación de 6.35% obtenido en los datos de esfuerzos a compresión se encuentra en el rango de $0 < C_v < 10$; por lo tanto los valores obtenidos en esta mezcla, tienen una alta representatividad.

Tabla 5.221: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 7 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 9 de Abril del 2010.

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASIMILAR 432 'Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC)'											
UBICACION DE BANCO		Carretera Panamericana y boulevard Walter Daininger, Artigoo Cuscatlán, La Libertad						Revenimiento		1/2	
FECHA DE ELABORACION		9 de Abril del 2010						Cemento %		5.30%	
FECHA DE RUPTURA		16 de Abril del 2010						AC densa		203	
		Mezcla N° 2						AC real		5.28	
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	PESO	AREA (m²)	EDAD	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	
16	15.10	3040	9.52	179.08	7	2600	260.56	1480*	1000	1749	
17	15.10	3040	9.65	179.08	7	2400	246.48	1365*		1712	
18	15.00	3050	9.53	176.71	7	17451	17890	1007		1768	
19	15.20	3040	9.54	181.46	7	17961	18089	1009		1729	
20	15.00	3040	9.52	176.71	7	17046	173761	983		1712	

* Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

Tabla 5.2.22: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 14 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 9 de Abril del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A LA COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASIMILAR 82</p> <p style="text-align: center;">"Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBCU)"</p>											
UBICACION DE BANCO		Carretera Panamericana y boulevard Walter Döringer, Antiguo Cuscatlán, La Libertad						Revenimiento		1/2	
FECHA DE ELABORACION		9 de Abril del 2010						Cemento %		5.30%	
FECHA DE REPETURA		23 de Abril del 2010						AC deseado		203	
						Mezcla N° 2		AC real:		5.28	
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	FESO	AREA (m²)	EDAD	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)	FESO VOLUMETRICO (kg/m³)	
21	15.1	304	946	19.08	14	20627	21026	11.74	11.73	1131	
22	15.1	305	960	19.08	14	21691	22111	12.5		1151	
23	15.1	305	957	19.08	14	19847	20314	11.30		1152	
24	15.1	305	946	19.08	14	20699	21099	11.78		1131	
25	15.2	304	952	18.46	14	2043	20982	11.46		1125	

Tabla 5.2.23: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 28 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 9 de Abril del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASIMID 482</p> <p style="text-align: center;">“Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC)”</p>											
UBICACIÓN DEL BANCO		Carretera Panamericana y boulevard Walter Döringer, Artigro Cuscatlán, La Libertad						Revoimiento:		1/2	
FECHA DE ELABORACION		9 de Abril del 2010						Cemento %		530%	
FECHA DE RUPTURA:		7 de Mayo del 2010						AC diseño		203	
		Mezcla N°2						AC real:		5.28	
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	PESO (kg)	AREA (m²)	EDAD	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	
26	15.1	306	9613	1908	28	22623	23612	1288	1269	1754	
27	15.1	304	960	1908	28	22968	2341.28	1307		1763	
28	15.1	305	952	1908	28	20254	2064.63	1153		1743	
29	15.1	304	9508	1908	28	23191	23402	1320		1746	
30	15.1	306	9532	1908	28	22459	22940	1278		1739	

5.2.3.2. Análisis de resultados de esfuerzos a compresión obtenidos en especímenes de la segunda mezcla de MBRC con material granular.

La determinación del promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los resultados de esfuerzos a compresión de la mezcla N° 2 se muestran a continuación:

a) Valores promedios de la población por edad y desviación estándar:

En la tabla 5.2.24 se muestran los resultados del esfuerzo a compresión promedio y la desviación estándar, esto para determinar la representatividad de los resultados obtenidos.

Tabla 5.2.24: Comparación del promedio de resistencias a compresión a la edad de 28 días con la desviación estándar.

Probeta	Cemento %	f'c a 28 días (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	f'c prom y σ (kg/cm ²)	f'c de diseño (kg/cm ²)	Límite inferior	Límite superior
26	5.3	12.88	12.69	12.69±0.37	15.24	12.32	13.06
27	5.3	13.06					
28	5.3	11.53					
29	5.3	13.20					
30	5.3	12.78					

Los resultados que se alejan de la población de resultados son los correspondientes a las probetas 28 y 29 ya que varían en más de $\pm 1\sigma$ del valor promedio obtenido, sin embargo se tomarán en cuenta para el cálculo de la media aritmética.

Los valores medios de esfuerzos a compresión obtenidos en la mezcla N°2, se compararon con los resultados obtenidos en la mezcla preliminar detallada en el capítulo IV, los esfuerzos a la compresión a la edad de 28 días se muestran en la Tabla 5.2.25, encontrándose que el esfuerzo a compresión obtenido en la mezcla definitiva fue menor en 16.73% que el esfuerzo obtenido en la mezcla preliminar.

Tabla 5.2.25: Comparación de esfuerzos a compresión promedio versus esfuerzos a compresión de mezcla preliminar.

EDAD	ESFUERZO A COMPRESION PROMEDIO (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESION PRELIMINAR (kg/cm ²)
28	12.69	15.24
Revenimiento	7½"	7"

b) Coeficiente de variación de la población de datos:

El coeficiente de variación de 2.91% obtenido en los datos de esfuerzos a compresión se encuentra en el rango de $0 < C_v < 10$; por lo tanto tiene una alta representatividad por tener diferencias entre valores pequeñas

Tabla 5.2.26: Resultados de esfuerzos a compresión a los 7 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 13 de Abril del 2010

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL										
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASTM D-482 “Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC)”										
UBICACION DE BANCO		Carretera Panamericana y boulevard Walter Däninger, Antiguo Cuscatlán, La Libertad						Reverimiento		7'
FECHA DE ELABORACION		13 de Abril del 2010						Cemento %		5.30%
FECHA DE RUPTURA		20 de Abril del 2010						AC densa		203
		Mezcla N° 3						AC real:		5.09
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	PESO (kg)	AREA (m²)	EDAD	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/m²)	PROMEDIO (kg/m²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m³)
31	15.3	301	9.49	183.85	7	13907	1417.64	7.71	806	1715
32	15.3	301	9.39	183.85	7	14528	1480.94	8.05		1697
33	15.3	305	9.33	183.85	7	15518	1581.86	8.60		1663
34	15.4	305	9.43	186.27	7	14811	1509.79	8.11		1659
35	15.2	306	9.42	181.46	7	13904	1417.33	7.81		1697

Tabla 5.2.27: Resultados de esfuerzos a compresión a la edad de 14 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 13 de Abril del 2010

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p> <p style="text-align: center;">RESISTENCIA A LA COMPRESION EN ESPECIMENES DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASIM D 482</p> <p style="text-align: center;">“Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MRC)”</p>											
UBICACIÓN DE BANCO		Carretera Panamericana y boulevard Walter Daininger, Antiguo Cuscatlán, La Libertad						Revestimiento:		7"	
FECHA DE ELABORACION:		13 de Abril del 2010						Cemento %:		5.30%	
FECHA DE RUPTURA:		27 de Abril del 2010						ACdiseño:		203	
		Mezcla N° 3						ACreal:		509	
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	PESO (kg)	AREA (cm ²)	EDAD	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m ³)	
36	15.1	305	943	179.08	14	19.633	201.33	11.18	1230	1727	
37	15.1	305	953	179.08	14	23.045	2349.13	13.12		1744	
38	15.1	305	950	179.08	14	22.28	2271.15	12.68		1738	
39	15.1	305	935	179.08	14	20.11	2049.95	11.45		1711	
40	15.1	305	952	179.08	14	22.976	2342.10	13.08		1743	

Tabla 5.2.28: Resultados de esfuerzos a compresión a 28 días en especímenes elaborados de MRC con material granular, fecha de elaboración 13 de abril del 2010

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR FAULDADE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL RESISTENCIA A LA COMPRESION EN ESQUEMENS DE MRC CON MATERIAL GRANULAR ASIMILAR 2 "Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBCU)"											
UBICACIÓN DE BANCO		Carretera Panamericana y boulevard Walter Dinninger, Antiguo Cuscatlán, La Libertad						Revenimiento		7"	
FECHA DE ELABORACIÓN		13 de Abril del 2010						Cemento %		5.30%	
FECHA DE RUPTURA		11 de Mayo del 2010						AC densa		208	
		Mezcla N° 3						AC real		5.09	
PROBETA	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)	PESO (kg)	AREA (m²)	EDAD	CARGA (KN)	CARGA (kg)	ESFUERZO A COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)	PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	
41	15.1	30.5	9.49	179.08	28	26492	270051	15.08	15.66	1737	
42	15.3	30.5	9.35	183.85	28	29059	296218	16.11		1668	
43	15.2	30.5	9.61	181.46	28	23316	237676	13.10*		1737	
44	15.2	30.5	9.47	181.46	28	28602	291560	16.07		1711	
45	15.3	30.5	9.41	183.85	28	27751	28385	15.39		1678	

* Este resultado se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

5.2.3.3. Análisis de resultados de esfuerzos a la compresión obtenidos en especímenes de la tercer mezcla de MBRC con material granular.

El análisis de los resultados de esfuerzos a la compresión obtenidos de la mezcla N° 3 se muestra a continuación:

a) Valores promedios de la población por edad:

Los resultados de la media aritmética de la población y desviación estándar se muestran en la tabla 5.2.29:

Tabla 5.2.29: Comparación del promedio de resistencias a la compresión a la edad de 28 días con la desviación estándar.

Probeta	Cemento %	f'c a 28 días (kg/cm ²)	f'c prom (kg/cm ²)	f'c prom y σ (kg/cm ²)	f'c de diseño (kg/cm ²)	Límite inferior	Límite superior
41	5.3	15.08	15.66	15.66±0.51	13.42	15.15	16.17
42	5.3	16.11					
43	5.3	13.10*					
44	5.3	16.07					
45	5.3	15.39					

* Este resultado no se toma en cuenta en el promedio por ser disperso en relación a los demás valores.

El resultado obtenido de la probeta 41 no es representativo de la población de datos, ya que difiere del promedio en más de $\pm 1\sigma$, sin embargo se toma en cuenta para el cálculo de la media aritmética. Los valores medios de esfuerzos a compresión obtenidos en la mezcla N°3, se comparan con los resultados obtenidos en la mezcla preliminar detallada en el capítulo IV, los esfuerzos a compresión a 28 días se muestran en la Tabla 5.2.30, encontrándose que el esfuerzo a compresión promedio obtenido en la mezcla definitiva fue un 2.76% mayor que el esfuerzo obtenido en la mezcla preliminar.

Tabla 5.2.30: Comparación de esfuerzos a compresión promedio versus esfuerzos a compresión de mezcla preliminar.

EDAD	ESFUERZO A COMPRESION PROMEDIO (kg/cm ²)	ESFUERZO A COMPRESION PRELIMINAR (kg/cm ²)
28	15.66	15.24
Revenimiento	7"	7"

b) Coeficiente de variación de la población de datos:

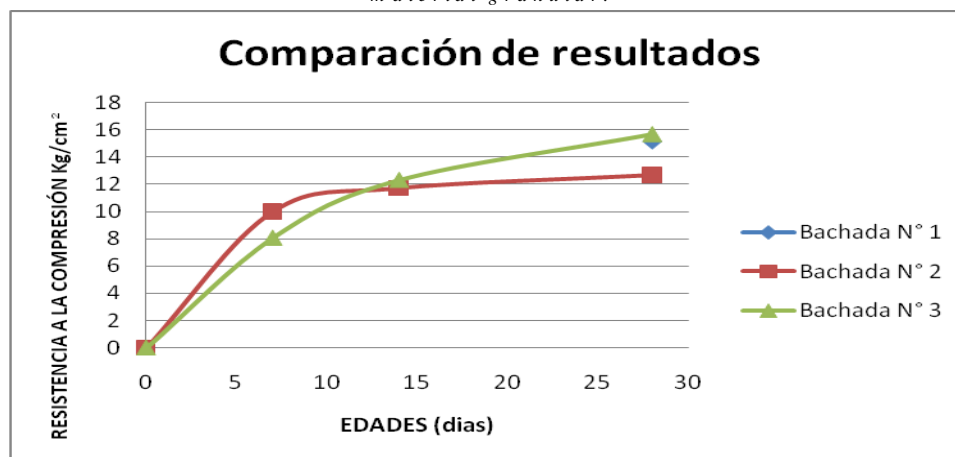
El coeficiente de variación de 3.25% obtenido en los datos de esfuerzos a compresión se encuentra en el rango de $0 < C_v < 10$; por lo tanto tiene una alta representatividad por tener diferencias entre valores pequeñas.

En la tabla 5.2.31 se muestra el resumen de los resultados de resistencias obtenidos de las mezclas elaboradas y en la figura 5.2.2 muestra una comparación de los resultados de esfuerzos a compresión entre mezclas elaboradas con material granular a edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 5.2.31: Cuadro resumen de resistencias obtenidas en mezclas elaboradas con material granular.

MEZCLA	7 días	14 días	28 días
1	----	----	15.13 Kg/cm ²
2	10.00 Kg/cm ²	11.73 Kg/cm ²	12.69 Kg/cm ²
3	8.06 Kg/cm ²	12.30 Kg/cm ²	15.66 Kg/cm ²

Figura 5.2.2: Comparación de resistencias obtenidas en mezclas elaboradas con material granular.



C O N C L U S I O N E S

Y

R E C O M E N D A C I O N E S .

6.1. CONCLUSIONES

Con respecto a la mezcla de MBRC realizada con material granular:

1. Para la obtención de peso volumétrico suelto máximo de una serie de combinaciones entre el material granular obtenido del banco de Antiguo Cuscatlán y la arena limosa obtenida del banco ubicado en Ilopango, se concluyó que la combinación óptima entre ambos materiales para ser utilizados en la mezcla es del 50% de cada uno, presentando esta combinación un peso volumétrico suelto máximo de 1156 kg/m^3 .
2. Para la elaboración de las mezclas con material granular fue necesario incorporar un suelo de partículas finas, para adicionar cohesividad a la mezcla, por esta razón se adicionó la Arena limosa a la mezcla.
3. Para la mezcla N° 1, con dosificación de 50% de arena limosa y 50% de material granular (Lapilli), 5.30% de cemento y un revenimiento de 5", proporcionó un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 15.13 kg/cm^2 , obteniendo para esta mezcla un peso volumétrico de 1716 kg/m^3 .
4. Para la mezcla N° 2, con dosificación de 50% de arena limosa y 50% de material granular (Lapilli), 5.30% de cemento y un revenimiento de $7\frac{1}{2}$ ", proporcionó un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 12.69 kg/cm^2 , obteniendo para esta mezcla un peso volumétrico de 1749 kg/m^3 .

5. Para la mezcla N° 3, con dosificación de 50% de arena limosa y 50% de material granular (Lapilli), 5.30% de cemento y un revenimiento de 7", proporcionó un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 15.66 kg/cm², obteniendo para esta mezcla un peso volumétrico de 1698 kg/m³.
6. De los resultados de esfuerzos a la compresión a la edad de 28 días obtenidos en las tres mezclas, se concluye que con el proporcionamiento propuesto se cumple con los requisitos de trabajabilidad y resistencia utilizada en rellenos fluidos.
7. Al aplicar un factor de seguridad de 3 a las resistencias a compresión obtenidas a 28 días, dan como resultados resistencias a la compresión de 5.04 kg/cm², 4.23 kg/cm² y 5.22 kg/cm², lo que se encuentra dentro del rango de 3 a 9 kg/cm², que es equivalente a un relleno bien compactado (según comité ACI 229R).

Con respecto a la mezcla de MBRC realizada con material plástico:

1. Mediante ensayos de determinación de límites de consistencia en el material plástico utilizado en esta investigación (MH, IP 22%), se determinó que el porcentaje óptimo de cal a adicionar es de 5.5%, consiguiendo con este porcentaje disminuir el índice de plasticidad de un 22% a un 16%.

2. Al adicionar valores de cal entre 5.5% al 6.5% al material del tipo M H, el índice de plasticidad únicamente disminuyó en un 1%, por lo tanto no representa para estos incrementos de cal, una disminución apreciable en el valor del IP.
3. Para la mezcla elaborada tomando un volumen de 0.12 m^3 de suelo (M H), 5.5% de cal, 12% de cemento y un revenimiento de $7\frac{1}{2}\%$, se obtuvo una resistencia a la compresión a 28 días de 15.71 kg/cm^2 , obteniendo para esta mezcla un peso volumétrico de 1634 kg/m^3 .
4. Al aplicar un factor de seguridad de 3 a la resistencia a la compresión a edad de 28 días con la dosificación utilizada en esta investigación (0.12 m^3 de suelo (M H), 5.5% de cal, 12% de cemento y un revenimiento de $7\frac{1}{2}\%$), da como resultado una resistencia de 5.24 kg/cm^2 , la capacidad portante de la mezcla se encuentra dentro del rango de 3 a 9 kg/cm^2 , lo que es equivalente a una capacidad portante de un relleno bien compactado. (según el comité ACI 229R).
5. La mezcla elaborada sin la adición de cal, para un volumen de 0.12 m^3 de suelo (M H), con un 12% de cemento y con un revenimiento de $7\frac{1}{2}\%$ proporciona valores de esfuerzos a la compresión de 6.22 kg/cm^2 a la edad de 28 días, obteniendo para esta mezcla un peso volumétrico de 1601 kg/m^3 .

6. El esfuerzo a la compresión obtenido en la mezcla elaborada con la adición de cal es un 60.41% mayor al obtenido en la mezcla elaborada sin cal. Este porcentaje representa la ganancia en resistencia a la compresión obtenida al elaborar la mezcla con material estabilizado.
7. Las mezclas elaboradas con suelos del tipo MH de alta plasticidad, pierden la trabajabilidad en poco tiempo, esto se debe a que este suelo está constituido por partículas muy finas, las cuales demandan una cantidad excesiva de agua, reduciendo esto la trabajabilidad y dificultando su colocación.

6.2. RECOMENDACIONES.

1. Según los valores obtenidos de resistencias en ambos tipos de mezcla (granular y plástico), las mezclas elaboradas pueden ser utilizadas como relleno fluido para bases de cimentaciones, zanjas y cavidades,
2. Los proporcionamientos de materiales para la elaboración de las mezclas utilizadas en esta investigación, solo son aplicables a los tipos de suelo descritos en este trabajo, si se desea elaborar mezclas con otros tipos de materiales se deberán efectuar nuevos ensayos tanto a las mezclas como a los suelos empleados para conocer sus efectos y resultados.
3. Para la elaboración de MBRC, con cualquier tipo de material, es necesario determinar los pesos volumétricos de los suelos, ya que de esta manera es más fácil la reproducción de la mezcla con las mismas proporciones y condiciones de laboratorio

4. Al emplear los suelos granulares procedentes del banco de Antigua Cuscatlán de origen volcánico (Lapilli) para la elaboración de las mezclas, debe de tomarse en cuenta que en este trabajo de investigación no se utilizaron tamaños de partículas mayores a $\frac{3}{4}$ ".
5. Al elaborar mezclas con suelos del tipo Lapilli y arena limosa es recomendable tener mucho cuidado al determinar las humedades de los materiales y los revenimientos de las mezclas y de esta manera obtener relaciones agua-cemento más exactas.
6. Al utilizar suelos plásticos en la elaboración de este tipo de mezclas, si estos presentan grumos, es necesario desmenuzarlos previo a la incorporación de estos a la mezcla, con el fin de evitar problemas de mezclado incompleto y la aparición de grumos, garantizando de esta forma su homogeneidad.
7. Al elaborar mezclas con materiales plásticos, es recomendable elaborarlos con la ayuda de una mezcladora mecánica, ya que de esta manera se garantiza la homogeneidad de ésta.
8. La condición en la que se debe encontrar el suelo previo al mezclado debe ser lo más seco posible, se debe incorporar a la mezcladora el suelo, luego la cal y el cemento y permitir que los materiales se mezclen por 3 min para lograr una mezcla homogénea de sus componentes, posteriormente agregar el agua, esto

para evitar que la mezcla se pegue en las paredes internas del tambor y evitar la aparición de grumos en ella.

9. Al momento de colocación de MBRC se recomienda evitar las burbujas de aire que puedan quedar atrapadas en la mezcla, aplicando vibración, ya sea manual o mecánica, especialmente en mezclas elaboradas con suelos del tipo MH.
10. Para trabajos de investigación posteriores, se recomienda elaborar mezclas con materiales plásticos utilizando otros métodos de estabilización, como la estabilización, con arena u otros alternativos, de esta manera conocer las ventajas y desventajas que presentan.
11. Se recomienda realizar investigaciones sobre la ganancia de resistencia que tiene la mezcla a edades mayores de 28 días, con mezclas elaboradas con material granular (Lapilli) y plástico (MH).
12. La calibración del equipo utilizado para la realización de los ensayos de laboratorio es un factor importante en los datos obtenidos; debe procurarse utilizar siempre los mismos equipos, aparatos y maquinas en todo el proceso de control de calidad y así evitar posibles errores o diferencias en los resultados esperados para que estos presenten una mayor confiabilidad.

A N E X O S

B I B L I O G R A F I A

Y

G L O S A R I O T E C N I C O

BIBLIOGRAFIA

Trabajos de graduación:

- ❖ Ing. José Salvador Granados Mejía, Ing. Alexander Wilfredo Landaverde González e Ing. Alex Edgardo Pineda Arévalo, “Aplicación de los parámetros de control ACI (American concrete institute), en mezclas de rellenos fluidos de resistencia controlada (lodocreto), variando porcentajes y tipos de cementos”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2003).

- ❖ Heber Manrique Huevo Maldonado y Alber Cristian Orellana Martínez “Guía Básica Para Estabilización De Suelos Con Cal En Caminos De Baja Intensidad Vehicular En El Salvador” Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2009).

Revistas técnicas:

- ❖ Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Año 10, N° 39, Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (2005).

- ❖ Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Año 11, N°40, Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (2006).

- ❖ Revista del Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto (IMCYC), “El concreto en la obra problemas, causas y soluciones”, año 2004

Comités:

- ❖ ACI 229R, “Controlled low strength materials (CLSM)”
- ❖ ACI 211.1-91 (2002): Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete
- ❖ ACI 211.4-93 (1998): Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash.

Normas:

- ❖ ASTM C 29/C 29M -97(2003): Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate.
- ❖ ASTM C 33-03: Standard Specifications for Concrete Aggregates.
- ❖ ASTM C 125-02: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- ❖ ASTM C 127-01: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

- ❖ ASTM C 128-01: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.

- ❖ ASTM C 136-01: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

- ❖ ASTM C 150-02ae1: Standard Specification for Portland Cement.

- ❖ ASTM D 5971 Práctica estándar para muestreo en una mezcla fresca de material de baja resistencia controlada (M B R C)

- ❖ ASTM C 143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”.

- ❖ ASTM D 6103 – 97, Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada (M B R C)

- ❖ ASTM D 4832, Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (M B R C)

- ❖ ASTM D 6024, Método de ensayo estándar para caída de bola en material de baja resistencia controlada (M BRC) para determinar convenientemente la aplicación de carga

- ❖ ASTM D 6023, Método de ensayo estándar para peso unitario, rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire (Gravimétrico) de material de baja resistencia controlada (M BRC)

- ❖ ASTM C 403, Método de prueba estándar para determinación de tiempo de resistencia a la penetración de mezclas de concreto

O tras fuentes:

- ❖ Instituto salvadoreño del cemento y del concreto ISCYC, “Curso sobre Materiales de resistencia baja controlada, M RBC” (2009)

G L O S A R I O T E C N I C O

- ❖ **Agregado fino:** son arenas naturales o manufacturadas, con tamaños de partículas pasantes de la malla N° 4 (4.75 mm) y retenidas en la malla N° 100 (150 μ m).

- ❖ **Agregado grueso:** Son materiales, cuyas partículas se retienen en la malla N° 16 (1.18 mm) y pueden variar hasta 152 mm.

- ❖ **Bachada:** Se conoce así a un proceso en el que se mezclan diferentes cantidades de materiales, en este caso, cemento, suelo, agua, mezclando los materiales hasta obtener una mezcla homogénea como producto final, a la que llamamos "bachada".

- ❖ **Bombeable (Bombeabilidad):** Se define una MBRC bombeable como aquella que puede ser conducido por presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y descargarlo directamente en el área de trabajo. Esta MBRC debe presentar una consistencia plástica y debe ser colocada sin perder sus características físicas

- ❖ **Calicatas:** Consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos o convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos en campo.

Tienen la ventaja de que permiten acceder directamente al terreno, pudiéndose observar las variaciones litológicas, estructuras, discontinuidades, etc., así como tomar muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis.

- ❖ **Colado:** Es la actividad de colocar el mezcla en las cimbras o encofrados.

- ❖ **Contracción:** Aumento o disminución del volumen de concreto, provocando cambios en la forma y tamaño del elemento, por efecto de variaciones térmicas, cambios de humedad o por el efecto del agregado o aditivos utilizados.

- ❖ **Consistencia de la mezcla:** Es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia que exhibe al ser manipulada y expresada de acuerdo resultados de prueba de revenimiento.

- ❖ **Cohesividad:** Es la mayor o menor acción de atracción de las partículas de un suelo, producido por la acción de la fricción interna de sus partículas.

- ❖ **Curado:** El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto y rellenos fluidos a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado (colado) y el acabado, de

manera que el concreto y los rellenos fluidos puedan desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada.

- ❖ **Exudación:** Forma particular de segregación, donde el agua tiende a migrar a la superficie y crea una capa delgada, débil y porosa sin resistencia y deficiente durabilidad.
- ❖ **Fraguado de la mezcla:** Es la condición alcanzada cuando ha perdido la plasticidad en un grado arbitrario, esta condición es medida en términos de resistencia a la penetración o deformación.
- ❖ **Hidratación:** Calor desarrollado por reacciones químicas de una sustancia con el agua tal como el desarrollo durante el fraguado y endurecimiento del cemento Portland.
- ❖ **Homogeneidad:** mezcla totalmente uniforme y presentan iguales propiedades y composición en todo el sistema
- ❖ **Mezclas autocompactables:** Se definen como aquellas que tienen la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibradas, aun en elementos estrechos y densamente armados.

- ❖ **Mezclado:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.

- ❖ **Piroclasto (Piroclástico):** Se llama piroclasto a cualquier fragmento sólido de material volcánico arrojado al aire durante una erupción. Petrologicamente los piroclastos son fragmentos de roca ígnea volcánica solidificados en algún momento de la erupción, lo más a menudo durante su recorrido aéreo.

- ❖ **Reexcavación:** Se le denomina así a la acción de remover el material de relleno que se colocó en una excavación de zanjas o cavidades por medios mecánicos o convencionales.

- ❖ **Relación agua/cemento (a/c):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo aquella que absorben los agregados, a la cantidad en peso de cemento.

- ❖ **Rigidización:** Etapa de la mezcla en la cual ya no puede ser moldeada o recompactada sin riesgo de causarle daño permanente, pero admite la ejecución de ciertas operaciones superficiales relacionadas con la obtención del acabado requerido, esta condición se da en el lapso de tiempo del fraguado inicial y final.

- ❖ **Sangrado:** Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos.

- ❖ **Segregación:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, provocando una falta de uniformidad en su distribución.

- ❖ **Segregación:** Es la separación de componentes del concreto o las mezclas de rellenos fluidos resultando una mezcla no uniforme, esto puede deberse a tamaños de granos grandes o exceso de agua en la mezcla.

- ❖ **Trabajabilidad:** Se considera como aquella propiedad del concreto o los rellenos fluidos mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna. Esta aceptación comprende conceptos tales como moldeabilidad, cohesión y compactación.

- ❖ **Vibrado:** Es el método comúnmente utilizado para consolidar la mezcla, el cual crea con la vibración una destrucción temporal de la fricción interna entre las partículas de agregado, y la mezcla se comporta como líquido, este proceso es utilizado para que los vacíos grandes de aire suban a la superficie.