



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

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS  
SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**

**Julio Rolando Garcia**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS  
SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JULIO ROLANDO GARCIA**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Lionel Barillas Romillo
EXAMINADOR	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

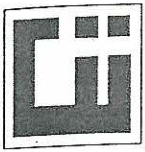
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS  
AGREGADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha octubre de 2012.



**Julio Rolando Garcia**



Guatemala, 3 de septiembre de 2013

Ingeniero  
Guillermo Francisco Melini Salguero  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**, elaborado con el estudiante universitario Julio Rolando García, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario García, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

  
Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA

*Dilma Y. Mejicanos Jol*  
Ingeniera CIVIL  
Col. 5947



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,  
26 de septiembre de 2013

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio Rolando García, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.  
Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Julio Rolando García, titulado **DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*Hugo Leonel Montenegro Franco*  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2013.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

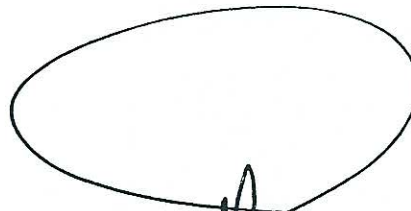




DTG. 721.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN LA NORMA ASTM C-88, EN CADA CICLO DEL PROCESO**, presentado por el estudiante universitario **Julio Rolando García**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 17 de octubre de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por brindarme vida, salud y por permitirme llegar a este día en que logro alcanzar una meta más.
<b>Mi madre</b>	Santa Ceferina Garcia Tzoc. Por su apoyo, cariño y por brindarnos los mejores años de su vida.
<b>Mi esposa</b>	Brenda Roxana Gómez González. Por su amor y el apoyo en el transcurso de la carrera.
<b>Mi hija</b>	Cinthia Giselle Garcia Gómez. Por ser la fuente de motivación y superación.
<b>Mis abuelos</b>	María Magdalena y José Florencio (q.e.p.d.).
<b>Mis hermanos</b>	Giovanni, Carlos, Ángel y Marcos. Por su cariño, comprensión y apoyo.
<b>Mi amigo</b>	Ing. Rigoberto González Cuyan (q.e.p.d.). Por haberme brindado su amistad y haber caminado juntos desde el inicio de la carrera, que descanses en paz apreciado amigo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de pertenecer a esta gloriosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme el conocimiento científico así como prepararme personal y profesionalmente.
<b>Mi padrino</b>	Ing. Álvaro Iván Posadas López. Por los consejos, apoyo y su amistad.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol. Por haberme brindado su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Aplikasa</b>	Estuardo Estrada. Por darme la oportunidad de laborar en su empresa, en un momento clave de la carrera, así como su apoyo incondicional y sus consejos.
<b>A toda mi familia y amigos en general</b>	Que de una u otra forma brindaron su valioso tiempo y colaboración.
<b>A las personas y empresas</b>	Que confiaron en mí, abriendo sus puertas y dándome la oportunidad de superación proporcionándome conocimiento y a su vez experiencia en el campo de la ingeniería civil.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. MARCO TEÓRICO SEGÚN LA NORMA ASTM C-88 .....	1
1.1. Descripción del ensayo .....	1
1.2. Definición de agregado grueso .....	1
1.2.1. Clasificación por su composición mineralógica .....	2
1.2.2. Propiedades del agregado .....	5
1.2.3. Determinación de la sanidad de los agregados .....	7
1.2.4. Granulometría (gradación) .....	7
1.2.5. Determinación de materia orgánica .....	12
1.3. Soluciones químicas .....	14
1.3.1. Compuesto químico .....	15
1.3.2. Elemento químico .....	15
1.3.3. Sulfato de sodio .....	17
1.3.4. Thenardita (NaSO <sub>4</sub> ) sulfato sódico .....	17
1.3.5. Solución de sulfato de sodio .....	18
1.4. Preparación de cápsulas .....	19
1.4.1. Muestras de agregados .....	20
1.4.2. Preparación de las muestras de ensayo .....	21
1.5. Número de ciclos .....	22

1.6.	Descripción del proceso del examen cualitativo y cuantitativo .....	23
1.6.1.	Examen cuantitativo .....	23
1.6.2.	Examen cualitativo .....	25
1.7.	Clasificación general de los suelos de Guatemala .....	26
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	39
2.1.	Selección del material .....	39
2.1.1.	Basalto .....	39
2.1.2.	Caliza .....	40
2.2.	Ensayos de laboratorio.....	42
2.2.1.	Análisis completo.....	42
2.2.1.1.	Peso específico .....	42
2.2.1.2.	Peso unitario suelto .....	44
2.2.1.3.	Peso unitario compactado .....	46
2.2.1.4.	Porcentaje de vacíos .....	47
2.2.1.5.	Porcentaje pasa tamiz 200 .....	48
2.2.1.6.	Porcentaje de absorción .....	48
2.2.1.7.	Granulometría.....	49
2.2.2.	Reporte ensayo de sulfato de sodio .....	51
2.2.3.	Resultados de ensayo de sulfato en agregado .....	67
2.3.	Análisis cuantitativo.....	69
2.3.1.	Cálculo del porcentaje de desgaste .....	70
2.3.2.	Cálculo del desgaste referido a graduación .....	71
2.3.3.	Datos finales.....	72
2.4.	Análisis cualitativo.....	74
2.5.	Análisis de resultados .....	77
2.5.1.	Análisis de resultados agregado grueso basalto.....	77
2.5.1.1.	Granulometría Norma ASTM C-33.....	77

2.5.1.2.	Peso específico Norma ASTM C-127	79
2.5.1.3.	Peso unitario Norma ASTM C-29	79
2.5.1.4.	Porcentaje de vacíos Norma ASTM C-29	80
2.5.1.5.	Porcentaje de absorción Norma ASTM C-127	80
2.5.1.6.	Tamiz 200 Norma ASTM C-117	80
2.5.1.7.	Determinación de la estabilidad a la disgregación Norma ASTM C-88	80
2.5.1.7.1.	Análisis cuantitativo	81
2.5.1.7.2.	Análisis cualitativo	83
2.5.2.	Análisis de resultados agregado grueso caliza	85
2.5.2.1.	Granulometría Norma ASTM C-33	85
2.5.2.2.	Peso específico Norma ASTM C-127	86
2.5.2.3.	Peso unitario Norma ASTM C-29	86
2.5.2.4.	Porcentaje de vacíos Norma ASTM C-29	87
2.5.2.5.	Porcentaje de absorción Norma ASTM C-127	87
2.5.2.6.	Tamiz 200 Norma ASTM C-117	87
2.5.2.7.	Determinación de la estabilidad a la disgregación Norma ASTM C-88	88
2.5.2.7.1.	Análisis cuantitativo	88
2.5.2.7.2.	Análisis cualitativo	90
CONCLUSIONES		95
RECOMENDACIONES		97

BIBLIOGRAFÍA ..... 99  
ANEXOS ..... 101

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Condiciones de humedad de los agregados.....	7
2.	Tamaños de partículas que se encuentran en los agregados para uso en concreto.....	8
3.	Análisis granulométrico del agregado grueso en el laboratorio.....	9
4.	Requisitos de granulometría para agregado grueso.....	10
5.	Thenardita en estado natural.....	18
6.	Bandejas con agregado grueso basalto y caliza .....	52
7.	Procedimiento de lavado del material.....	53
8.	Bandejas con material lavado .....	53
9.	Horno de convención forzada marca DESPATCH modelo No. 2BB2-27-1, serie 172818 .....	54
10.	Identificación de recipientes para colocar el material .....	55
11.	Conformación de cápsulas .....	56
12.	Identificación de galones de sulfato de sodio .....	56
13.	Total cápsulas a trabajar (para ambos casos).....	57
14.	Vertido de sulfato en cápsulas de material .....	57
15.	Material inmerso en sulfato de sodio .....	58
16.	Cápsulas cubiertas con nylon.....	58
17.	Cápsulas con leve presencia de escarcha .....	59
18.	Tamiz no.40 para filtrar sulfato .....	60
19.	Embudo plástico.....	60
20.	Procedimiento de filtrado de sulfato de sodio .....	61
21.	Residuos después del filtrado .....	62

22.	Cápsulas dentro de horno después del filtrado .....	62
23.	Aplicación de cloruro de bario.....	63
24.	Tamiz no. 5/16 y no.5 .....	64
25.	Tara y báscula .....	65
26.	Tamizar cápsula II en tamiz 5/16 de pulgada.....	65
27.	Tamizar cápsula III en tamiz no. 5 .....	66
28.	Tamizado manual .....	66
29.	Informe de granulometría CII (basalto) .....	78
30.	Informe de granulometría CII (caliza).....	85

## TABLAS

I.	Rocas y constituyentes minerales en los agregados .....	3
II.	Análisis granulométrico .....	9
III.	Requisitos de granulometría para agregado grueso .....	11
IV.	Principales aspectos del concreto influidos por los agregados ....	13
V.	Cantidad de agregado grueso para conformación de las cápsulas.....	21
VI.	Fracciones de agregado grueso y tamiz designado para determinar la pérdida.....	24
VII.	Formato sugerido para el examen cuantitativo .....	24
VIII.	Formato sugerido para el examen cualitativo .....	25
IX.	Análisis del suelo serie Chicaj arcilla .....	28
X.	Concentración de sodio en los suelos de Guatemala .....	30
XI.	Análisis del suelo serie Chicaj franco arcilloso arenoso.....	35
XII.	Análisis del suelo serie Chicaj franco arcilloso 1.....	35
XIII.	Análisis del suelo serie Chicaj franco arcilloso 2.....	36
XIV.	Análisis de suelo serie Chicaj arcilla.....	36
XV.	Análisis de suelo serie Mataquescuintla franco limoso .....	36



XVI.	Análisis de suelo serie Mita arcilla .....	37
XVII.	Análisis de suelo serie Papaturre franco arenoso .....	37
XVIII.	Análisis de suelo serie Sebach arcilla .....	37
XIX.	Análisis de suelo serie Tecojate franco arcilla .....	38
XX.	Análisis de suelo serie Yaxá arcilla 1 .....	38
XXI.	Análisis de suelo serie Yaxá arcilla 2 .....	38
XXII.	Composición mineral de las rocas ígneas .....	40
XXIII.	Composición mineral de las rocas sedimentarias .....	41
XXIV.	Datos obtenidos para determinar el peso específico .....	43
XXV.	Datos obtenidos para determinar el peso unitario suelto .....	44
XXVI.	Datos obtenidos para determinar el peso unitario compactado .....	46
XXVII.	Granulometría agregado grueso basalto y caliza .....	50
XXVIII.	Resultados del análisis cuantitativo del basalto .....	68
XXIX.	Resultados del análisis cuantitativo de la caliza .....	69
XXX.	Porcentaje retenido de granulometría (basalto) .....	71
XXXI.	Resumen de cálculos realizados del desgaste (basalto) .....	73
XXXII.	Resumen de cálculos realizados del desgaste (caliza) .....	74
XXXIII.	Análisis cualitativo basalto .....	75
XXXIV.	Análisis cualitativo caliza .....	76
XXXV.	Características físicas del agregado (basalto) .....	79
XXXVI.	Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula II (basalto) .....	81
XXXVII.	Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula III (basalto) .....	82
XXXVIII.	Comparación del desgaste C.5 y C.C. (basalto) .....	82
XXXIX.	Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula II (basalto) .....	83
XL.	Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula III (basalto) .....	84
XLI.	Características físicas del agregado (caliza) .....	86
XLII.	Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula II (caliza) .....	88
XLIII.	Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula III (caliza) .....	89
XLIV.	Comparación del desgaste C.5 y C.C. (caliza) .....	90

XLV.	Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula II (caliza) .....	90
XLVI.	Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula III (caliza) .....	92

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Acum.</b>	Acumulado
<b>C.5</b>	Ciclo 5
<b>C.C.</b>	Ciclo Completo
<b>C.n</b>	Ciclo número
<b>g</b>	Gramo
<b>kg/ha</b>	Kilogramo por hectárea
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico
<b>l</b>	Litro
<b>Mat.</b>	Material
<b>Me/100g Na</b>	Miliequivalente por cada 100 gramos de sodio
<b>%</b>	Porcentaje

**Prob. n**

Probeta muestra número

**pulg.**

Pulgada

## GLOSARIO

<b>ASTM</b>	Siglas en inglés que corresponden a la entidad American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
<b>Bandeja</b>	Recipiente de superficie lisa, pero con bordes levantados en todo su perímetro para evitar que los objetos resbalen y caigan de las mismas. Siendo las más habituales las ovaladas o rectangulares.
<b>Báscula</b>	Es un aparato que sirve para determinar el peso o la masa de los cuerpos, normalmente tiene una plataforma horizontal sobre la que se coloca el objeto que se quiere pesar.
<b>Cantera</b>	Explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.
<b>Cápsula</b>	Se refiere a la conformación de 1 ó 2 agregados con una granulometría y peso definido que se colocará dentro de un recipiente, el cual previamente ha sido identificado.
<b>Ciclo</b>	Serie de etapas o estados por los que pasa un acontecimiento que se repite en el mismo orden.

<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas, es el organismo nacional de normalización, es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.
<b>Disgregación</b>	Descamación, desintegración. Se produce por la acción continuada de los agentes contaminantes, de tal modo que un material puede sufrir un cambio en su composición química. En consecuencia, el material pierde parte de las partículas que lo componen, y se vuelve débil y vulnerable.
<b>Filtrado</b>	Hacer pasar algo por un objeto o material que contiene poros de determinado tamaño, a través del cual se hace pasar un fluido para separar las partículas que contiene.
<b>Halita</b>	Sal gema o sal de roca, es un mineral blando, de brillo vítreo, formado por cristales cúbicos de cloruro de sodio (NaCl). Es una roca sedimentaria.
<b>Hidratación</b>	Combinación de un cuerpo o una sustancia con agua.
<b>Inmersión</b>	Es la acción de introducir algo en un fluido.
<b>Mineral máfico</b>	Mineral rico en magnesio y hierro.

<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sulfato de sodio o sulfato sódico es una sustancia incolora, cristalina con buena solubilidad en el agua.
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.10H<sub>2</sub>O</b>	También conocida como mirabilita. Es un sulfato de sodio cristalino muy hidratado, que cuando se expone al aire seco rápidamente, se deshidrata y transforma en thenardita.
<b>Norma</b>	Documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que proporciona, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para actividades o sus resultados, con el fin de conseguir un grado óptimo de orden en un contexto dado.
<b>Sal anhidrida</b>	Es una sal sin agua. Esto se consigue calentando la sal hasta evaporar el agua.
<b>USP</b>	Grado USP ( <i>United States Pharmacopeia</i> ). Son sustancias que cumplen las especificaciones que exigen las normas de los Estados Unidos en cuanto a contenidos máximos de contaminantes que pueden ser dañinos para la salud. Pueden contener contaminantes no peligrosos, pero que interfieren en determinados procesos analíticos. Su uso no es aconsejable.

**Tamiz**

Utensilio que se usa para separar las partes finas de las gruesas, que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro.

**Tara**

Peso del recipiente o envase vacío.



## RESUMEN

El sulfato de sodio es una solución química que se encuentra en estado natural en los diferentes tipos de suelos, en porcentajes de concentración variables que depende del tipo de formación y del medio que los rodea, el sulfato de sodio es dañina en los elementos estructurales ya que tiende a disgregar los diferentes materiales que la integran, el porcentaje de disgregación está en función de la concentración de la solución de sulfato de sodio y principalmente de la calidad del agregado.

Razón por la cual se decide trabajar con el agregado grueso tipo basalto y calizo, ya que estos son de uso común en la construcción y se quiere conocer qué porcentaje de disgregación sufre cada agregado durante 7 días de proceso continuo, sumergido en el porcentaje de concentración de sodio establecida en la Norma ASTM C-88.

Del total de cápsulas se extrae una por día y al final del proceso se determina el porcentaje y el tipo de disgregación en cada ciclo. Con especial interés en el ciclo 5, ya que normalmente en los laboratorios es el número de ciclos que se realizan, sin conocer que sucede antes o después del proceso.

El desarrollo experimental se realizó con base a especificaciones y procedimientos indicados en la Norma ASTM C-88, aplicada al agregado grueso, caracterizando sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Dichos ensayos fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).



# OBJETIVOS

## General

Determinar la estabilidad a la disgregación de los agregados gruesos que se utilizan en la elaboración de concretos, mediante el uso de sulfato de sodio, por medio de los ensayos de laboratorio establecidos en la Norma ASTM C-88.

## Específicos

1. Por qué 5 ciclos son suficientes para determinar el desgaste o disgregación del material.
2. Determinar el tipo de disgregación principal que causa la solución de sulfato de sodio, con las concentraciones establecidas en la Norma ASTM C-88, en los 2 tipos de agregado grueso, usados frecuentemente en el diseño de mezclas de concreto para la construcción.
3. Comparar el desgaste de las cápsulas de los ciclos C.5 y completo que deberían ser similares por tener las mismas condiciones de ensayo.



## INTRODUCCIÓN

En la Norma ASTM C-88, determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, no se da razón el porqué se establecen 5 ciclos para determinar la estabilidad de los agregados, pudiendo encontrar la estabilidad en los primeros ciclos o después del quinto.

Realmente no se sabe qué pasa antes o después del quinto ciclo, por este motivo se decide investigar la norma y poner en práctica mediante ensayos de disgregación en el laboratorio, siendo el agregado grueso de tipo basalto y caliza los materiales de nuestra investigación.

El ensayo consiste en la inmersión continua de 7 cápsulas con muestras representativas de agregado grueso, en soluciones de sulfato de sodio durante 7 días continuos, después de extraída la cápsula se deshidrata en el horno a temperatura constante. Pasando del estado líquido al estado sólido, formándose dentro de los poros del agregado cristales, que tenderán al aumento de volumen, generando disgregación.

Este ensayo simula la expansión del agua al congelarse. Proporcionando información útil para determinar la estabilidad de los agregados en los suelos sulfatados. La idea primordial, es determinar el comportamiento del agregado desde el ciclo 1 hasta el ciclo 7, con base en los resultados obtenidos en ambos agregados, establecer el porqué se recomiendan y practican los 5 ciclos.



# **1. MARCO TEÓRICO SEGÚN LA NORMA ASTM C-88**

## **1.1. Descripción del ensayo**

Este método cubre el ensayo de agregados (agregado grueso), para estimar su estabilidad a la disgregación, cuando están sometidos a una acción de intemperismo, suelos sulfatados u otras acciones. Se procede con la inmersión repetida del agregado en soluciones saturadas de sulfato de sodio, seguidas de secado al horno hasta deshidratar parcial o totalmente las sales precipitadas en los espacios de los poros permeables.

La fuerza expansiva interna derivada de la rehidratación de la sal bajo la reinmersión, simula la expansión del agua al congelarse. Este método proporciona información útil para determinar la estabilidad de los agregados cuando no hay información adecuada disponible de los registros de comportamiento del material expuesto a las condiciones de meteorización reales.

## **1.2. Definición de agregado grueso**

El agregado es el material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural y/o desgaste de rocas, o que se obtiene mediante la trituración de ellas, que permiten obtener partículas de forma y tamaños estables, destinadas a ser empleadas para fabricar concreto.

### **1.2.1. Clasificación por su composición mineralógica**

Las rocas son agregados naturales que se presentan en el planeta en masas de grandes dimensiones, están formadas por la asociación de uno o más minerales que pueden formarse por cristalización o por transformaciones al estado sólido, pudiendo ser:

- Rocas ígneas

Están formadas por una masa fundida que en un tiempo estuvo caliente, conocida como magma o lava. El grado de cristalinidad y el tamaño del grano, varían según la rapidez a la cual se enfrió para formar una roca.

- Rocas sedimentarias

Se forman por la acumulación de fragmentos de rocas, minerales, restos de organismos y productos de acción química, evaporación o mezclas de estas, que se consolidaron en rocas duras, firmes estratificadas. Los minerales sueltos y las partículas de roca son transportados por el agua, el viento y el hielo hacia hondonadas o depresiones donde se depositan en un nuevo orden.

- Rocas metamórficas

Son rocas ígneas o sedimentarias que han cambiado su textura original, su estructura cristalina o su composición, como respuesta a condiciones físicas y químicas bajo la superficie de la tierra.



Tabla I. **Rocas y constituyentes minerales en los agregados**

<b>Minerales</b>	<b>Rocas ígneas</b>	<b>Rocas metamórficas</b>
Sílice	Granito	Mármol
Cuarzo Ópalo	Sienita	Metacuarcita
Calcedonia	Diorita Gabro	Pizarra
Tridimita	Periodita	Filita
Cristobalita	Pegmatita	Esquisto
Silicatos Feldespato	Vidrio volcánico	Anfibolita
Ferromagnesiano	Obsidiana Piedra	Hornfels(rocacórnea)
Homblenda	pómez	Gneis
Augita	(pumita)	Serpentinita
Arcilla lilitas	Tuía(toba volcánica)	
Caolines	Cagafierro	
Cloritas	Perlita	
Montmorinollita Mica	Vidrio volcánico	
Ceolita	Felsita	
Carbonato	Basalto	
Calcita		
Dolomita		
Sulfato		
Yeso Anhidrita		
Sulfuro dehierro		
Pirita Marcasita	<b>Rocas</b>	
Pirolita	<b>Sedimentarias</b>	
Óxido dehierro	Conglomerado	
Magnetita	Arenisca	
HematitaGoetita	Cuarcita Grauvaca	
Ilmenita	Subgrauvaca	
Limonita	(molasa)	
	Arcosa	
	Piedra arcillosa,	
	limonita,	
	argilita yesquisto	
	Carbonatos	
	Caliza	
	Dolomita	
	Marga	
	Greda (creta) Chert	

Fuente: diseño y control de mezclas de concreto PCA (Portland Cement Association), p. 104.

Las rocas también se pueden clasificar por otras características que ayudan a conocer su estructura:

- Por el método de obtención
  - Naturales: normalmente se extrae o draga de minas, ríos, lagos o del lecho marino.
  - Artificiales: proveniente de la trituración de piedra de cantera o canto rodado.
  
- Por tamaño
  - Agregado fino (arena): es el material que pasa en un 95 por ciento de sus partículas por el tamiz no. 4 (4,76 milímetros ó 3/16 pulgadas de abertura entre hilos).
  - Agregado grueso (grava o piedrín): es el material que queda retenido en el tamiz de 150 milímetros o 6 pulgadas, cuyas partículas son en un 95 por ciento mayores de 4,76 milímetros.
  
- Por su densidad
  - Agregados ligeros: son aquellos cuya densidad oscila entre 500 y 1 000 kilogramos por metro cúbico, son utilizados en concreto de relleno o en mampostería estructural.

- Agregados normales: son aquellos cuya densidad se encuentra comprendida entre 1 300 y 1 600 kilogramos por metro cúbico, se utilizan en concretos de uso general.
- Agregados pesados: son aquellos cuya densidad está entre 3 000 y 7 000 kilogramos por metro cúbico, provienen de rocas que contienen elementos pesados por ejemplo, hierro, bario, plomo. Se utiliza en hormigones pesados, tales como los utilizados en centrales nucleares o usos especiales.

### **1.2.2. Propiedades del agregado**

Los agregados deben cumplir con normas para que el uso se optimice; deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Los principales ensayos que pueden realizarse para determinar las propiedades del agregado son:

- Determinación del peso específico

La densidad de las partículas que se usa en los cálculos de proporcionamiento (no incluyen los vacíos entre las partículas) se determina por la multiplicación de la densidad relativa de los agregados, por la densidad del agua. Se usa un valor aproximado para la densidad del agua de 1 000 kilogramos por metro cúbico. La densidad de las partículas de la mayoría de los agregados naturales según especificación de la PCA está entre 2 400 y 2 900 kilogramos por metro cúbico.

- Determinación del peso unitario

Es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen conocido. El volumen a que se refiere, aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado. El peso normal aproximado del agregado comúnmente usado en el concreto varía de 1 200 a 1 750 kilogramos por metro cúbico según especificaciones de la PCA. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de pasta (cemento y agua) en el diseño de la mezcla.

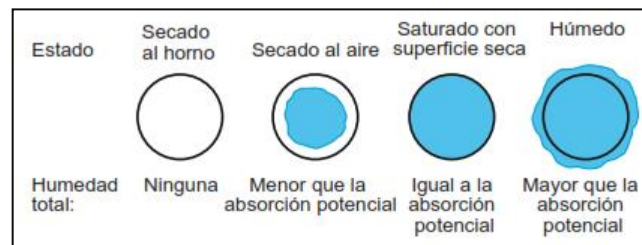
- Determinación de la absorción y humedad superficial

La estructura interna de una partícula de agregado, se constituye de materia sólida y vacía, que pueden o no contener agua. La absorción se determina como la cantidad de agua capaz de ser absorbida por un material después de 24 horas de inmersión y se expresa como porcentaje del peso seco del material. Las condiciones de humedad de los agregados se puede definir como:

- Secado al horno; totalmente absorbente.
- Secado al aire; la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y por lo tanto, aún es ligeramente absorbente.
- Saturado con superficie seca; no absorben ni ceden agua al concreto.

- Húmedos; contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre).

Figura 1. **Condiciones de humedad de los agregados**



Fuente: diseño y control de mezclas de concreto PCA (Portland Cement Association), p. 115.

### 1.2.3. **Determinación de la sanidad de los agregados**

Para el caso de los agregados, la sanidad se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo y a sales inorgánicas (sulfatos y cloruros), por producir expansiones capaces de destruir paulatinamente el concreto.

### 1.2.4. **Granulometría (gradación)**

Es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (Norma ASTM C-136). Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una masada a otra.

Figura 2. **Tamaños de partículas que se encuentran en los agregados para uso en concreto**



Fuente: diseño y control de mezclas de concreto PCA (Portland Cement Association), p. 106.

Las arenas muy finas, son normalmente antieconómicas, mientras que arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad. En general, los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica suave, producirán resultados satisfactorios.

Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, bien como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción (retracción) y durabilidad del concreto.

El agregado grueso se ensaya con 13 tamices estándar, con aberturas que varían de 1,18 a 100 milímetros, (Norma ASTM C-33).

Figura 3. **Análisis granulométrico del agregado grueso en el laboratorio**



Fuente: diseño y control de mezclas de concreto PCA (Portland Cement Association), p. 107.

La granulometría y los límites granulométricos se expresan generalmente en porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz.

Tabla II. **Análisis granulométrico**

TAMIZ (pulg.)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
No.4				
Fondo				

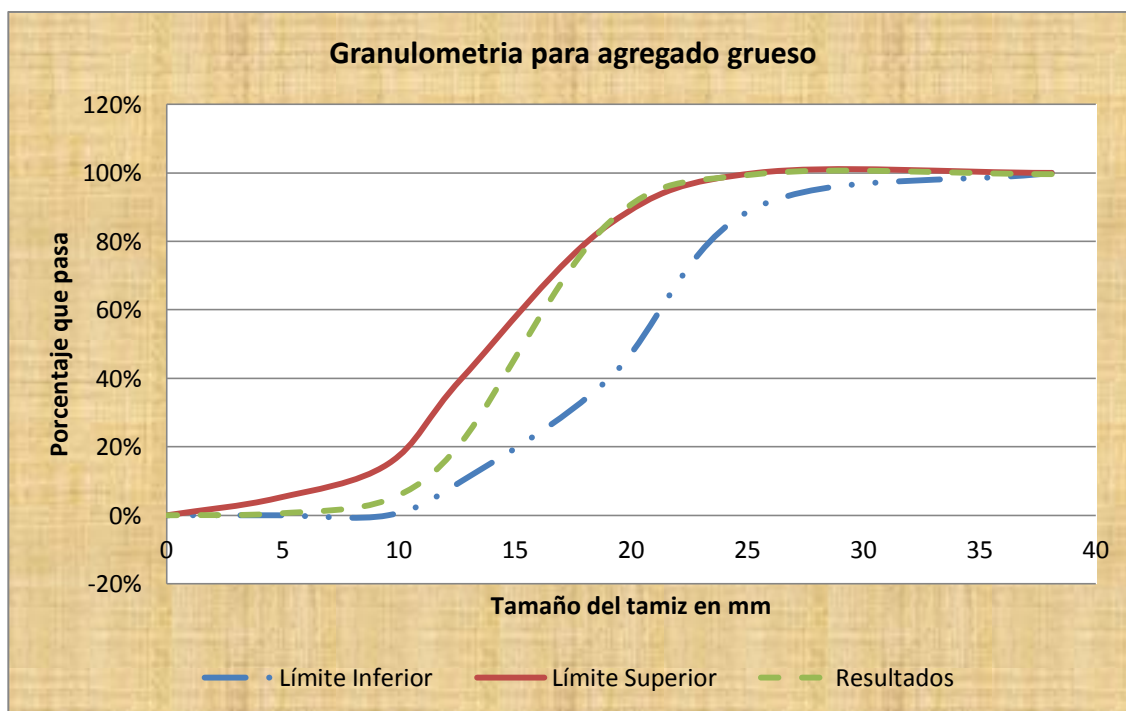
Sumatoria

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Las partículas con textura áspera, angulares o alongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos. Además, las partículas de agregado angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua/cemento.

Sin embargo, con la granulometría satisfactoria, tanto los agregados triturados como los no triturados (de un mismo tipo de roca), generalmente, producen concretos con la misma resistencia, si se mantiene el contenido de cemento. Los agregados angulares o mal graduados, también pueden ser más difíciles de bombear.

Figura 4. **Requisitos de granulometría para agregado grueso**



Fuente: Norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33), p. 13.



Tabla III. Requisitos de granulometría para agregado grueso

Número de Tamazo	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas)	Cantidades más finas que pasan por un tamiz (abertura cuadrada) en porcentaje en masa													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37,5 mm (1½ in.)	25,0 mm (1 in.)	19,0 mm (¾ in.)	12,5 mm (½ in.)	9,5 mm (3/8 in.)	4,75 mm (Nº4)	2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº16)	300 µm (Nº50)
1	90 a 37,5 mm (3½ a 1½ in.)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 a 37,5 mm (2½ a 1½ in.)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 a 25,0 mm (2 a 1 in.)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...	...	...	...	...
357	50 a 4,75 mm (2 in. A N°4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	...	0 a 5	...	...	...	...
4	37,5 a 19,0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	...	...	...	...	...
467	37,5 a 4,75 mm (1½ A N° 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	10 a 30	...	...	...	...	...
5	25,0 a 9,5 mm (1 a ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	...	...	...	...
56	25,0 a 4,75 mm (1 a ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 5	...	...	...	...
57	25,0 a 4,75 mm (1 in. A N°4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	0 a 10	0 a 5	...	...	...
6	19,0 a 9,5 mm (¾ in a 3/8 in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	...	...	...
67	19,0 a 4,75 mm (¾ in a N°4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
7	12,5 a 4,75 mm (½ in. A N°4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 5	...	...	...
8	9,5 a 2,36 mm (¾ in a N°8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	...	...
89	9,5 a 1,18 mm (¾ in a N°16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9A	4,75 a 1,18 mm (N°4 a N°16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

A El Agregado de número de tamaño 9 está definido en la norma terminología NTG/ASTM C-125 como un agregado fino. Esta incluido como un agregado grueso cuando está combinado con un material de número de tamaño 6 para crear un número de tamaño 89, que es un agregado grueso según está definido por la norma Terminología NTG/ASTM C-125.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33), p. 13.

### **1.2.5. Determinación de materia orgánica**

Es una de las sustancias perjudiciales y se debe conocer su contenido, ya que afecta la hidratación del cemento, si está presente en alto grado, puede bajar la resistencia y la durabilidad del concreto. Suele presentarse principalmente en forma de humus, fragmentos de raíces y plantas, trozos de madera.

Además de estos ensayos pueden hacerse, en caso de ser necesarios:

- Estabilidad volumétrica del agregado
- Pruebas de resistencia en morteros o concreto
- Desgaste a la abrasión
- Determinación de terrones de arcilla
- Determinación de partículas planas o alargadas
- Determinación de material liviano
- Examen petrográfico o mineralógico
- Dureza superficial del agregado

Las características más importantes de los agregados y del cómo influyen en las mezclas de concreto se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. Principales aspectos del concreto influidos por los agregados

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
GRANULOMETRÍA	MANEJABILIDAD, REQUERIMIENTO DE AGUA, SANGRADO	RESISTENCIA MECÁNICA, CAMBIOS VOLUMÉTRICOS, ECONOMÍA
LIMPIEZA (MATERIA ORGÁNICA, LIMO, ARCILLA Y OTROS FINOS INDESEABLES)	REQUERIMIENTO DE AGUA, CONTRACCIÓNPLÁSTICA	DURABILIDAD, RESISTENCIA MECÁNICA, CAMBIOS VOLUMÉTRICOS
DENSIDAD (GRAVEDAD ESPECIFICA)	PESO UNITARIO	PESO UNITARIO
SANIDAD	REQUERIMIENTO DE AGUA	DURABILIDAD
ABSORCIÓN Y POROSIDAD	PERDIDA DE REVENIMIENTO, CONTRACCIÓNPLÁSTICA	DURABILIDAD, PERMEABILIDAD
FORMA DE PARTÍCULAS	MANEJABILIDAD, REQUERIMIENTO DE AGUA, SANGRADO	RESISTENCIA MECÁNICA, CAMBIOS VOLUMÉTRICOS, ECONOMÍA
TEXTURA SUPERFICIAL	MANEJABILIDAD, REQUERIMIENTO DE AGUA	DURABILIDAD, RESISTENCIA AL DESGASTE, ECONOMÍA
TAMAÑO MÁXIMO	SEGREGACIÓN, PESO UNITARIO, REQUERIMIENTO DE AGUA	RESISTENCIA MECÁNICA, CAMBIOS VOLUMÉTRICOS, PESO UNITARIO, PERMEABILIDAD, ECONOMÍA
REACTIVIDAD CON LOS ÁLCALIS		DURABILIDAD
MODULO DE ELASTICIDAD		MODULO DE ELASTICIDAD, CAMBIOS VOLUMÉTRICOS
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN		RESISTENCIA A LA ABRASIÓN, DURABILIDAD
RESISTENCIA MECÁNICA (POR APLASTAMIENTO)		RESISTENCIA MECÁNICA
PARTÍCULAS FRIABLES Y TERRONES DE ARCILLA	CONTRACCIÓNPLÁSTICA	RESISTENCIA MECÁNICA, DURABILIDAD, REVENTONES SUPERFICIALES
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA		PROPIEDADES TÉRMICAS

Fuente: diseño y control de mezclas de concreto PCA (Portland Cement Association), p. 105.

### 1.3. Soluciones químicas

Una solución (o disolución) es una mezcla en fase líquida de dos o más componentes, perfectamente homogénea, ya que cada componente se mezcla íntimamente con el otro, de modo tal que pierden sus características individuales. Esto significa que los constituyentes son indistinguibles y el conjunto se presenta en una sola fase bien definida. Una solución que contiene agua como solvente, se llama solución acuosa.

Si se analiza una muestra de alguna solución, puede apreciarse que en cualquier parte de ella, su composición es constante. Las sales, ácidos y las bases se ionizan cuando se disuelven en el agua.

Sus componentes no pueden separarse por métodos físicos simples; como decantación, filtración, centrifugación. Sólo pueden separarse por destilación, cristalización, cromatografía.

Los componentes de una solución son; soluto, es aquel componente que se encuentra en menor cantidad y es el que se disuelve. Solvente es aquel componente que se encuentra en mayor cantidad y es el medio que disuelve al soluto.

Para saber exactamente la cantidad de soluto y solvente de una solución, se utiliza una magnitud denominada concentración. Dependiendo de su concentración, las soluciones se clasifican en:

- Diluidas: si la cantidad de soluto respecto del solvente es pequeña.

- Concentradas: si la proporción de soluto con respecto del solvente es grande.
- Saturadas: cuando no admite más cantidad de soluto disuelto.
- Sobresaturadas: contiene mayor cantidad de soluto que la permitida a una temperatura determinada. Se produce por enfriamientos.

### **1.3.1. Compuesto químico**

Es una sustancia formada por la unión de dos o más elementos de la tabla periódica. Una característica esencial, es que tiene una fórmula química. En general, esta razón fija, es debida a una propiedad intrínseca (valencia). Un compuesto está formado por moléculas o iones con enlaces estables y no obedece a una selección humana arbitraria.

### **1.3.2. Elemento químico**

Aquella sustancia que no puede ser descompuesta mediante una reacción química, en otras más simples. Pertenece a una categoría única clasificada por el número atómico. Es un átomo con características físicas únicas, no existen dos átomos de un mismo elemento con características distintas. Los elementos se encuentran en la tabla periódica.

- Sodio

(Símbolo Na), número atómico 11. Es un metal alcalino blando, ligero, untuoso, de color plateado, muy abundante en la naturaleza, encontrándose en

la sal marina y el mineral halita. Es muy reactivo, arde con llama amarilla, se oxida en presencia de oxígeno y reacciona violentamente con el agua.

El sodio está presente en grandes cantidades en el océano en forma iónica. También es un componente de muchos minerales y un elemento esencial para la vida. El sodio flota en el agua descomponiéndola, desprendiendo hidrógeno y formando un hidróxido. En las condiciones apropiadas reacciona espontáneamente en el agua.

- Azufre

(Símbolo S) número atómico 16. Es un no metal abundante con un olor característico. El azufre se encuentra en forma nativa en regiones volcánicas y en sus formas reducidas, formando sulfuros y sulfosales o bien en sus formas oxidadas como sulfatos. Se usa principalmente como fertilizante pero también en la fabricación de pólvora, laxantes, cerillas e insecticidas. Este no metal tiene un color amarillento fuerte, amarronado o anaranjado y arde con llama de color azul, desprendiendo dióxido de azufre. Es insoluble en agua pero se disuelve en disulfuro de carbono.

- Oxígeno

(Símbolo O), número atómico 8. Este compuesto comprende una importante parte de la atmósfera y resulta necesario para sostener la vida terrestre. Forma parte del grupo de los anfígenos en la tabla periódica y es un elemento no metálico altamente reactivo que forma fácilmente compuestos (especialmente óxidos) con la mayoría del resto de elementos.

Medido por su masa, el oxígeno es el más abundante en la corteza terrestre, formando prácticamente la mitad de su masa. Se produce por cianobacterias, algas y plantas.

### **1.3.3. Sulfato de sodio**

Sulfatos, son minerales que suelen quedar depositados cuando se evapora el agua rica en solutos. Los sulfatos están compuestos de azufre y oxígeno combinados con elementos metálicos. Suelen ser blandos y de colores vivos, con peso específico variable según el catión principal, de baja simetría, muchos son solubles en agua.

Los sulfatos de cationes alcalinos y alcalino-térreos, suelen formarse por procesos sedimentarios. Los sulfatos restantes generalmente son un producto de alteración superficial de sulfuros metálicos.

El sulfato de sodio o sulfato sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), es una sustancia incolora, cristalina con buena solubilidad en el agua y mala solubilidad en la mayoría de los disolventes orgánicos con excepción de la glicerina.

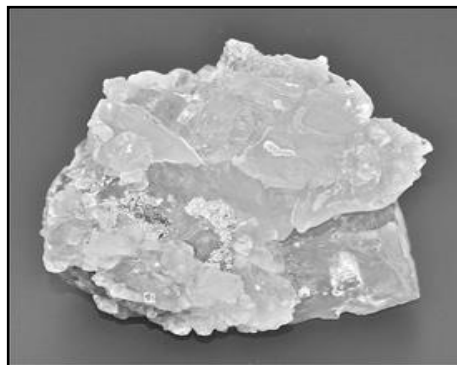
- Aplicaciones: los sulfatos suelen variar enormemente según el metal al que están unidos. Así el sulfato sódico, por ejemplo, se utiliza en la fabricación del vidrio, como aditivo en los detergentes.

### **1.3.4. Thenardita ( $\text{NaSO}_4$ ) sulfato sódico**

Desde el punto de vista químico la thenardita, es un sulfato de sodio. Contiene, por tanto, además de este último elemento, azufre y oxígeno en la relación de 1 a 4, para formar los grupos  $\text{SO}_4$  característicos de los sulfatos.

La thenardita es un mineral poco abundante y predomina su génesis de tipo sedimentario evaporítico. Se forma por tanto, como consecuencia de la evaporación de las aguas madres en cuencas cerradas marinas o lacustres. Se encuentra en las proximidades de los lagos salados de las regiones áridas, en forma de eflorescencias. Sin embargo, también pueden tener un origen de tipo volcánico, por sublimación en ambientes fumarólicos y en lavas recientes. La thenardita, forma cristales con aspecto de tablillas o prismas bipiramidales, aunque también aparece formando encostramientos y recubrimientos.

Figura 5. **Thenardita en estado natural**



Fuente: <<http://www.uhu.es/museovirtualdemineralogia/galerias/clase6/sulfatos.html>>

<<http://geologia.byethost7.com/mineralogia/6sulfatos.htm>>.

Consulta: 29 de agosto de 2013.

### **1.3.5. Solución de sulfato de sodio**

Se prepara una solución saturada de sulfato de sodio, disolviendo una sal USP o de igual grado, en agua a una temperatura de 25 a 30 grados Celsius. Se agrega suficiente cantidad de sal (ver nota 1) de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  cristalino, para asegurar no solo la estructuración, sino también la presencia de



un exceso de cristales cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos.

Se agita completamente la mezcla durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes, hasta el momento de ser usada. Para reducir su evaporación y prevenir su contaminación, se mantiene cubierta la solución todo el tiempo, cuando no se necesita usar la misma. Se deja enfriar la solución hasta  $21 \pm 1$  grados Celsius. Luego se agita y se la deja permanecer a la temperatura designada por al menos 48 horas antes de su uso.

Antes de cada uso, se rompe la costra de sal si la hubiere; se agita completamente la solución y se determina su densidad relativa. Al ser usada la solución debe tener una densidad relativa no menor de 1,151 ni mayor de 1,174. Se descarta una solución descolorida, o bien la misma se filtra y se comprueba nuevamente su densidad relativa.

Nota 1: para la solución se considera suficiente usar 215gramos de sal anhidra o 700gramos del decahidrato (sal cristalina) por litro de agua, para la saturación a 22 grados Celsius. Sin embargo dado que estas sales no son completamente estables y tomando en cuenta que es deseable que esté presente un exceso de cristales, se recomienda usar no menos de 350gramos de la sal anhidra, o 750gramos del decahidrato (sal cristalina), por litro de agua.

#### **1.4. Preparación de cápsulas**

Los recipientes para sumergir las muestras de agregado en la solución, de acuerdo con el procedimiento descrito en este método de ensayo, deberán ser perforados, de tal forma que permitan el libre acceso de la solución a la muestra y el drenaje de la solución de la muestra sin pérdida del agregado. Se

consideran recipientes satisfactorios, las canastas fabricadas con tela de alambre adecuada, o los tamices con aberturas adecuadas.

#### **1.4.1. Muestras de agregados**

El agregado grueso para el ensayo, debe consistir de material, del cual hayan sido removidos los tamaños menores que 4,75 milímetros, (no.4).

La muestra debe ser de tal tamaño que produzca por lo menos las siguientes cantidades de material, de los tamaños que están disponibles en cantidades de 5 por ciento o mayores:

Cuando el agregado a ser ensayado contenga cantidades apreciables de material fino y de material grueso, teniendo una graduación con más de 10 por ciento en peso, más grueso que el tamiz de 9,5 milímetros o 3/8 de pulgada, y también, de más de 10 por ciento en peso, más fino que el tamiz de 4,75 milímetros o no.4, se deben ensayar separadamente las fracciones de tamaños menores a 4,75 milímetros o no.4 y las fracciones de tamaños mayores a 4,75 milímetros o no.4 de acuerdo con los procedimientos para agregado fino y agregado grueso, respectivamente.

Se informa por separado los resultados para las fracciones de agregados fino y de agregado grueso, dando los porcentajes de la graduación inicial de las fracciones de agregado fino y de agregado grueso.

La tabla V, indica el peso del agregado para la conformación de las cápsulas así como la combinación de los diferentes tamaños de agregado de acuerdo a la granulometría realizada.

Tabla V. **Cantidad de agregado grueso para conformación de las cápsulas**

<b>Tamaño (Tamices de malla cuadrada)</b>	<b>Masa, g</b>
9.5 mm (3/8 pulg) a 4.75mm (No.4)	300 ± 5
19.0 mm (3/4 pulg) a 9.5 mm (3/8 pulg)	1000 ± 5
Consistente de:	
12.5 mm (1/2 pulg) a 9.5 mm (3/8 pulg)	330 ± 5
19.0 mm (3/4 pulg) a 12.5 mm (1/2 pulg)	670 ± 10
37.5 mm (1 1/2 pulg) a 19.0 mm (3/4 pulg)	1500 ± 50
Consistente de:	
25.0mm (1 pulg) a 19.0mm (3/4 pulg)	500 ± 30
37.5 mm (1 1/2 pulg) a 25.0 mm (1 pulg)	1000 ± 50
63.0 mm (2 1/2") a 37.5 mm (1 1/2 pulg)	5000 ± 300
Consistente de:	
50.0 mm (2") a 37.5mm (1 1/2 pulg)	2000 ± 200
63.0 mm (2 1/2") a 50 mm (2 pulg)	3000 ± 300
Tamaños mayores por intervalos de tamaño de 12.5 mm (1/2 pulg) por cada tracción,	
Consistentes de:	
75.0 mm (3 pulg) a 63 mm (2 1/2 pulg)	7000 ± 1000
90.0 mm (3 1/2 pulg) a 75 mm (3 pulg)	7000 ± 1000
100.0 mm (4 pulg a 90 mm (3 1/2 pulg)	7000 ± 1000

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41010 h6 (Norma ASTM C88), p. 9.

#### **1.4.2. Preparación de las muestras de ensayo**

Se lava completamente la muestra de agregado grueso y se seca a  $110 \pm 0,5$  grados Celsius. Luego, se separa en los diferentes tamaños por tamizado. Se pesan las cantidades de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias señaladas y cuando la porción de ensayo consista de 2 tamaños, se combinan los mismos para obtener el peso designado total. Se registran los pesos de las muestras de ensayo y de sus fracciones componentes. En el caso de tamaños mayores a 19 milímetros, se registra el número de partículas de las muestras de ensayo.

## 1.5. Número de ciclos

Se sumergen las muestras en la solución preparada de sulfato de sodio por un período no menor de 16 ni mayor de 18 horas, de tal manera que la solución cubra con un espesor de por lo menos 12,5 milímetros, (1/2 pulgada). Los recipientes de las muestras se tapan para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras se mantienen sumergidas en la solución a una temperatura de  $21 \pm 1$  grados Celsius durante el período de inmersión.

Después del período de inmersión, se remueve la muestra de agregado de la solución, se le permite drenar por  $15 \pm 5$  minutos y se coloca en el horno de secado. La temperatura del horno debe ser llevada previamente a  $110 \pm 5$  grados Celsius. Las muestras se secan a la temperatura especificada hasta alcanzar masa constante.

El tiempo requerido para alcanzar masa constante debe establecerse de la siguiente manera: determinar las pérdidas de masa de las muestras de ensayo, retirándolas del horno y pesándolas, sin enfriamiento, a intervalos de 2 a 4 horas.

Se considera que ha alcanzado masa constante, cuando la pérdida en masa es menor del 0,1 por ciento de la masa de la muestra después de 4 horas de secado. Después que se ha alcanzado masa constante, enfriar las muestras a temperatura ambiente, para nuevamente sumergirlas en la solución, e iniciar el siguiente ciclo.

Se repite el proceso de inmersión y secado alternados hasta que el número requerido de ciclos se haya obtenido. Después de completar el ciclo

final y después que la muestra se hayan enfriado, se lava la muestra hasta que esté libre de la solución de sulfato de sodio.

Se lava haciendo circular agua a  $43 \pm 6$  grados Celsius a través de las muestras en sus contenedores. Esto puede hacerse colocándolos en un tanque, en el que el agua caliente pueda ser introducida cerca del fondo y se suba hasta que rebalse. Durante la operación de lavado, las muestras no deben ser sometidas a golpes o a abrasión que pueda tender a quebrar las partículas.

## **1.6. Descripción del proceso del examen cualitativo y cuantitativo**

Los procesos que se describen a continuación, son los mismos en todas las cápsulas de material. Para ambos casos es necesario anotar el peso, el número de cápsula, y alguna observación que se crea conveniente para los cálculos posteriores de gabinete.

### **1.6.1. Examen cuantitativo**

El agregado grueso se tamiza sobre el tamiz indicado para el tamaño apropiado del agregado. Para el agregado grueso el tamizado debe hacerse manual, con agitación suficiente, solamente para asegurar que todo el material de tamaño inferior pase por el tamiz designado. No debe emplearse ninguna manipulación extra para romper las partículas o forzarlas a pasar por los tamices. Se pesa el material retenido en cada tamiz y se registra cada cantidad. La diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción de la muestra ensayada, es la pérdida durante el ensayo y se expresa como un porcentaje del peso inicial usado.

Tabla VI. **Fracciones de agregado grueso y tamiz designado para determinar la pérdida**

Fracciones de agregado Grueso y Tamiz designado para determinar la pérdida	
Tamaño del agregado	Tamiz usado para determinar la pérdida
100 mm (4 pulg) a 90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)
90 mm (3½ pulg) a 75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)
75 mm (3 pulg) a 63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)
63 mm (2½ pulg) a 37.5 mm (1½ pulg)	31.5 mm (1¼ pulg)
37.5 mm (1½ pulg) a 19.0 mm (¾ pulg)	16.0 mm (⅝ pulg)
19.0 mm (¾ pulg) a 9.5 mm (⅜ pulg)	8.0 mm (5/16 pulg)
9.5 mm (⅜ pulg) a 4.75 mm (No.4)	4.0 mm (No. 5)

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41010 h6 (Norma ASTM C88), p. 12.

Tabla VII. **Formato sugerido para el examen cuantitativo**

Tamaño de Tamiz	Graduación original de la muestra %	Peso de las fracciones de ensayo antes del ensayo	Porcentaje que pasa el tamiz designado después del ensayo	Pérdida ponderada en porcentaje	
<b>Ensayo de estabilidad o resistencia a disgregación del agregado fino</b>					
Minus 150 µm (No. 100)	6	...	...	...	
300 µm (No. 50) a No. 100	11	...	...	...	
600 µm (No. 30) a No. 50	26	100	4.2	1.1	
1.18 mm (No. 16) a No. 30	25	100	4.8	1.2	
2.36 mm (No.8) a No. 16	17	100	8.0	1.4	
4.75 mm (no.4) a No. 8	11	100	11.2	1.2	
9.5 mm (⅜ pulg) a No. 4	4	...	11.2 <sup>A</sup>	0.4	
<b>Ensayo de estabilidad o resistencia a disgregación del agregado grueso</b>					
63 mm (2½ pulg) a 50 mm (2 pulg)	2825 g	2½ a 20	4783	4.8	1.0
50 mm (2 pulg) a 37.5 mm (1½ pulg)	1958 g	1½ pulg			
37.5 mm (1½ pulg) a 25.0 mm (1 pulg)	1012 g	1½ a ¾ pulg	1525	8.0	3.6
25 mm (1 pulg) a 19.0 mm (¾ pulg)	513 g				
19.0 mm (¾ pulg) a 12.5 mm (½ pulg)	675 g	¾ a ⅝ pulg	1008	9.6	2.2
12.5 mm (pulg) a 9.5 mm (pulg)	333 g				
9.5 mm (⅜ pulg) a 4.75 mm (No. 4)	298 g		298	11.2	1.3
Totales			100	...	8

<sup>A</sup> El porcentaje de pérdida (11.2%) del anterior tamaño más pequeño se usa como porcentaje de pérdida para este tamaño, dado que este tamiz contiene menos del 5% de la muestra original como se recibió (ver 11.1.3.4).

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41010 h6 (Norma ASTM C88), p. 12.

## 1.6.2. Examen cualitativo

Se hace el examen y análisis de las muestras de ensayo más grandes que el tamiz de 19,0 milímetros o 3/4 de pulgada, consiste en observar minuciosamente cada partícula de agregado y clasificarlo de acuerdo a los criterios del laboratorista y lo establecido en la norma como sigue:

- Separar las partículas de cada una de las muestras de ensayo, en grupos, de acuerdo a la acción producida por el ensayo.
- Registrar el número de partículas que exhibe cada tipo particular de deterioro.
- Las acciones de deterioro esperadas son variadas. En general pueden ser clasificadas como: desintegración, rotura, desmoronamiento, agrietamiento, formación de escamas, entre otros. Aunque solo se requiere que se examine cualitativamente las partículas mayores de 19,0 milímetros o 3/4 de pulgada, se recomienda que se realice un examen de los tamaños menores, para determinar si existe alguna evidencia de una rotura excesiva.

Tabla VIII. **Formato sugerido para el examen cualitativo**

Examen cualitativo de los tamaños gruesos									
Partículas									
Tamaño del Tamiz	Rotura		Desmoronamiento		Agneta miento		Formación de escamas		No. Total de partículas antes del ensayo
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
63 mm (2½ pulg) a	2	7	...	...	2	7	...	...	29
37.5 mm (1½ pulg)									
37.5 mm (1½ pulg) a	5	10	1	2	4	8	...	...	50
19.00 mm (¾ pulg)									

Fuente: Norma COGUANOR NTG 41010 h6 (Norma ASTM C88), p. 13.

## **1.7. Clasificación general de los suelos de Guatemala**

La clasificación taxonómica de suelos, es una metodología de estratificación o agrupación de los entes llamados suelos, que tiene entre sus propósitos ser un auxiliar para la planificación del manejo de los mismos y por ende contribuye para la preparación de planes de manejo de los recursos naturales. Esta es una clasificación muy utilizada por diferentes países, en algunos casos de manera oficial y en otros casos como un auxiliar técnico y medio de comunicación entre profesionales o científicos que tratan del estudio y/o manejo de recursos naturales.

En Guatemala es usada desde la década de los años 80, con el propósito de identificar y caracterizar suelos a nivel local, regional o en pequeñas cuencas. La taxonomía de suelos tiene una característica muy particular sobre otras clasificaciones, es que con el nombre de un suelo, se puede deducir o interpretar las características o condiciones, así mismo deducir algunos aspectos de un manejo adecuado.

Los datos tabulados a continuación provienen de la primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala a escala 1/250,000. Se describen los resultados del primer acercamiento al conocimiento e identificación de los suelos del país, vistos desde la perspectiva de una nueva clasificación, a partir de la base dejada por la clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala de Simmons, Tarano y Pinto.

El trabajo que se ha realizado tiene algunas limitaciones, puesto que se ha utilizado información que data de varios años atrás, con datos de diversos laboratorios analíticos, lo cual le da cierta variabilidad a las fuentes consultadas. Por otra parte, en la verificación de suelos a nivel de campo, por las limitaciones



de tiempo y recursos, no se realizaron visitas a todas las unidades cartografiadas que se detectaron en el país. Es posible que cuando se hagan estudios posteriores, se encuentren otros órdenes y subórdenes de suelos que no pudieron detectarse en el presente estudio por las situaciones indicadas anteriormente y por la misma escala de trabajo.

- Elementos químicos presentes en los suelos

En el suelo existen diferentes componentes salinos, como resultado de los procesos que tienen lugar en él. Pueden provenir de la roca madre como los cloruros, carbonatos y sulfatos. Pueden ser de origen artificial, como los generados por restos de fertilizantes, o bien ser de origen natural, como los producidos por las plantas adaptadas a vivir en condiciones de alta concentración en sales, por las aguas freáticas marinas o el agua del mar.

- Importancia del análisis de suelo

La toma de muestras de un suelo, es una operación simple pero delicada, por cuanto una muestra tomada incorrectamente no brindará los resultados representativos y el diagnóstico será erróneo. Debe tenerse conocimiento de que existen distintos tipos de análisis de suelos, según los objetivos para los que estén orientados, estos son: de rutina y con fines especiales.

Los análisis simples, tienen como objetivo las principales variables (conductividad, nitrógeno, fósforo, potasio, ph, textura al tacto). Los análisis detallados aportan una evaluación completa del nivel de fertilidad edáfica (los nutrientes principales más capacidad de intercambio catiónico, niveles de cationes intercambiables, humedad equivalente, textura).

Los análisis con fines especiales corrigen algunos aspectos como salinidad, necesidad de fertilización, enmiendas, deficiencias, toxicidad.

- La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, debido a su contenido en arcillas y materia orgánica. Las arcillas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC.

- Tabla interpretativa

A continuación se brinda una tabla interpretativa para catalogar los niveles de nutrientes de los suelos en distintas categorías, para que al recibir los resultados de los análisis de suelos se pueda interpretar los niveles de fertilidad. Cabe aclarar que esta tabla es de características muy generales y solo sirve a nivel de dar una idea muy general del estado del suelo y sabiendo que cada suelo no puede ser interpretado como un elemento aislado, sino formando parte de un sistema físico, químico y biológico.

Tabla IX. **Análisis del suelo serie Chicaj arcilla**

Nombre: CHICAJ arcilla			Nº de Archivo: 5,306					Localidad: Zacapa (La Fragua)								
Nº Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.F.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm									
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases	Mn ppm	Fe ppm	P ppm
1	0-60	8.2	32.0	0.09	0.5	0.86	34.10	31.56	3.24	3.40	0.26	—	—	22.0	0	1.3
2	60-90+	8.3	15.7	0.02	0.1	0.17	74.80	15.09	2.54	0.09	0.13	6.95	71.98	13.0	0	13.3

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 748.

Con base en los análisis de suelos, se extrajo la información del catión intercambiable de sodio, de la gran variedad de series de suelos presentes en la República de Guatemala, los parámetros establecidos son los siguientes:

Se fundamenta que para que se origine sulfato de sodio, debe existir en el ambiente sodio, azufre y oxígeno, debido a la carencia de estudios exactos de la ubicación de sulfato de sodio, se plantea determinar la concentración y ubicación de sodio en base a los estudios registrados en el texto; clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala de Simmons, Tarano y Pinto.

- Se verifica en los análisis de suelos, el valor más alto presente de sodio, se anota la profundidad del horizonte e indica la localidad de donde proviene la serie de suelo.
- Para convertir de miliequivalente/100 gramos de sodio, se multiplica por 460 el valor resultante proporciona kilogramos por hectárea una profundidad de 17 centímetros de sodio. Para determinar la concentración de sodio, se divide el valor encontrado y la densidad de sodio en estado natural.
- Para determinar un parámetro de comparación, se toma la densidad promedio de la solución establecida en la Norma ASTM C-88 y dividirá entre la densidad del sodio en estado natural.
- El dato anterior servirá como referencia para medir la concentración de sodio en los suelos de la república. La tabla X contiene las diferentes series de suelos presentes en la república, así como los datos anteriormente mencionados.

Tabla X. Concentración de sodio en los suelos de Guatemala

Clasificación Taxonomica	Serie de Suelo	Localidad	Limite del horizonte (cm)	Cationes intercambiables me/100 g Na	kg/Ha x 17cm Na	Concentracion de Na
1 Orthenis	Acasaguasilan arcilloso	Baja Verapaz	20	0.07	32.2	3%
2 Orthenis	Acasaguasilan franco arcilloso	Guatemala	70	0.43	197.8	20%
3 Orthenis	Acasaguasilan franco arcilloso	El Progreso	50	0.26	119.6	12%
4 Rendolis-Orthenis	Acatan arcilloso	Huehuetenango	36	1.23	565.8	58%
5 Psammits - Fluvents	Achiqate franco limoso	Escuintla	15	0.33	151.8	16%
6	Alolemano franco arenoso	Escuintla	40	0.08	36.8	4%
7	Alolemano franco arenoso	Escuintla	25	0.09	41.4	4%
8 Ustelis-Ustalis	Altombran franco arcilloso limoso	Chiquimula	65	0.09	41.4	4%
9 Ustelis-Ustalis	Altombran franco arcilloso arenoso	Zacapa	40	1.05	483	50%
10 Ustalis-Ustulis	Alzatalte franco	Jalapa	60	0.2	92	10%
11 Udulis	Annay franco arcilloso	Huehuetenango	10	0.29	133.4	14%
12 Udulis	Annay franco arcilloso	Quiché	80	0.54	248.4	26%
13 Aquenis-Aquepis	Ansay franco arcilloso arenoso	Chiquimula	200	0.64	294.4	30%
14 Virands-Psamments-Orthenis	Aititan franco arenoso	Soloá	45	0.35	161	17%
15 Virands-Psamments-Orthenis	Aitilan franco	Soloá	37	0.07	32.2	3%
16 Ustelis	Atulapa franco arcilloso-limoso	Chiquimula	60	0.77	354.2	37%
17 Ustelis-Ustlands	Ayarza franco limoso	Santa Rosa	65	0.21	96.6	10%
18 Udlands	Balanjuyu franco	Chimaltenango	110	0.17	78.2	8%
19 Ustulis-Ustalis	Barberena franco arcilloso limoso	Santa Rosa	130	1.1	506	52%
20 Aqueris-Rendolls	Bolon arcilla	Petén	10	0.18	82.8	9%
21 Ustlands Psammits-Fluvents-Udolls	Bucul franco arcilloso	Escuintla	150	1.88	864.8	89%
22 Orthenis-Usterts	Bucul arcilla limosa	Santa Rosa	75	0.64	294.4	30%
23 Rendolis-Udepis	Calante franco limoso	Quiché	140	0.34	156.4	16%
24 Udlands-Orthenis	Camanchal franco	Soloá	210	0.55	253	26%
25 Udlands	Camantulul franco arcilloso	Escuintla	120	0.41	188.6	19%
26 Ustelis	Capucal franco limoso	Zacapa	80	1.1	506	52%
27 Udlands-Aquepis	Carcha franco limoso	Alta Verapaz	45	0.11	50.6	5%
28 Ustlands-Ustalis	Cauque franco	Chimaltenango	75	0.57	262.2	27%
29 Ustlands-Ustalis	Cauque franco arcilloso	Chimaltenango	150	0.6	276	29%
30 Ustlands-Ustalis	Cauque franco arcilloso	Sacatepéquez	130	0.63	289.8	30%
31 Udepis-Udulis	Civija franco limoso	Alta Verapaz	200	0.1	46	5%
32 Udulis-Udepis	Civija franco limoso	Quiché	60	0.17	78.2	8%
33 Orthenis-Rendolls	Coatan franco arcilloso	Huehuetenango	76	0.18	82.8	9%
34 Udulis-Orthenis	Coban franco arcilloso limoso	Alta Verapaz	90	0.36	165.6	17%
35	Cooliate arena franca	Quiché	115	2.18	1002.8	104%
36 Orthenis-Virands-Udlands	Cololiate arena franca	Escuintla	60	0.11	50.6	5%
37 Ustelis-Orthenis	Comapa arcilla	Jutiapa	100	0.7	322	33%
38	Cristina arcilla	Suchitepéquez	45	1.63	749.8	77%
39 Udepis-Psamments	Coyolate franco arcilloso	Escuintla	70	0.55	253	26%
40 Aquepis	Cristina arcilla	Izabal	40	0.14	64.4	7%
41 Ustelis-Ustlands-Ustalis	Cuitlapa franco	Santa Rosa	150	0.44	202.4	21%
42 Ustelis-Ustelis	Culma franco arcillo-gravoso	Jutiapa	20	0.25	115	12%
43 Udalis-Udepis	Cunen arcilla	Huehuetenango	110	0.33	151.8	16%
44	Cuitzan franco arenoso	Escuintla	100	0.16	73.6	8%
45 Udepis-Orthenis-Udlands	Cuitzan franco arenoso	Suchitepéquez	40	0.68	312.8	32%
46 Udepis-Orthenis-Udlands	Cuitzan franco arenoso	Suchitepéquez	50	0.39	179.4	19%
47 Rendolis-Orthenis	Cuxu arcilla	Petén	40	0.16	73.6	8%
48 Rendolis-Orthenis	Cuxu arcilla	Petén	30	0.14	64.4	7%

me/100 g Na  
 Densidad Na en estado natural  
 Densidad Na (Segun la norma ASTM C-88)  
 Parametro de comparación

kg/ha a 17 cm de profundidad  
 kg/m<sup>3</sup>  
 kg/m<sup>3</sup>  
 Concentración

Continuación de la tabla X.

	Clasificación Taxonomica	Serie de Suelo	Localidad	Limite del horizonte (cm)	Cationes intercambiables me/100 g Na	kg/Ha x 17cm Na	Concentración de Na
49	Udeplis-Uderts	Cuyotenango franco arcilloso	Retalhuleu	225	0.88	404.8	42%
50	Rendolis-Udalis-Udeplis	Chacalte arcilla	Petén	60	0.2	92	10%
51	Rendolis-Udalis-Udeplis	Chacalte arcilla	Petén	15	0.19	87.4	9%
52	Udulis-Udeplis	Chacon franco limoso	Izabal	20	0.14	64.4	7%
53	Udulis	Chachaclun franco arcilloso limoso	Petén	45	0.46	211.6	22%
54	Usterts-Aquetis	Champerico arcilla	Retalhuleu	15	0.83	381.8	39%
55	Usterts-Aquetis	Champerico arcilla	Suchitepéquez	100	0.36	165.6	17%
56	Udulis	Champona franco limoso	Izabal	25	0.3	138	14%
57	Udulis	Champona franco limoso	Izabal	36	0.73	335.8	35%
58	Udulis-Udeplis	Chapayal arcilla	Petén	10	0.35	161	17%
59	Usterts	Chicai franco arcillo arenoso	Iajapa	25	4.4	2024	209%
60	Usterts	Chicai franco arcillo arenoso	Juitapa	30	2.33	1071.8	111%
61	Usterts	Chicai arcilla	Zacapa (la fragua)	60	3.4	1564	162%
62	Usterts	Chicai franco arcilloso	Zacapa (la fragua)	45	3.46	1591.6	164%
63	Usterts	Chicai franco arcilloso	Zacapa (la fragua)	30	3.85	1771	183%
64	Usterts	Chicai arcilla	Zacapa (la fragua)	90	3.44	1582.4	163%
65	Ustelis-Orthenis	Chinaulta franco	Guatemala	20	0.1	46	5%
66	Ustelis-Ustlands	Chipo franco arenoso	Suchitepéquez	40	0.36	165.6	17%
67	Aquetis-Orthenis	Chixocol franco arenoso	Huehuetenango	110	0.86	395.6	41%
68	Aquetis-Orthenis	Chixocol franco limoso	Huehuetenango	80	0.42	193.2	20%
69	Aquetis-Orthenis	Chixocol franco limoso	Quiché	100	0.68	312.8	32%
70	Orthenis	Chixox arcilla gravosa	Quiché	5	0.14	64.4	7%
71	Vitrands-Udands-Udeplis	Chocola franco limoso	Suchitepéquez	80	0.75	345	36%
72	Aqualis-Uderts	Chocop arcilla	Petén	20	0.4	184	19%
73	Orthenis-Ustelis	Chol franco arcillo-arenoso-gravoso	Chiquimula	30	0.23	105.8	11%
74	Orthenis-Ustelis	Chol franco arenoso gravoso	Quiché	45	0.37	170.2	18%
75	Orthenis-Ustelis	Chuarancho franco	Guatemala	15	0.25	115	12%
76	Orthenis-Ustelis	Chuarancho franco arenoso	Guatemala	10	0.46	211.6	22%
77	Ustlands-Orthenis-Ustelis	Chucal franco arenoso-limoso	Chiquimula	50	0.64	294.4	30%
78	Vitrands-Psamments	Chuva arena franca	Quezaltenango	12	0.19	87.4	9%
79	Vitrands-Psamments	Chuva arena franca	Quezaltenango	25	1	460	48%
80	Vitrands-Psamments	Chuva arena franca	Quezaltenango	125	0.45	207	21%
81	Udalis	Exkxil arcilla	Petén	103	0.36	165.6	17%
82	Udands	Escuintla franco	Escuintla	115	0.44	202.4	21%
83	Ustlands-Ustalis	Freijanes franco limoso	Guatemala	45	0.31	142.6	15%
84	Ustelis-Udulis	Gacho franco limoso	Izabal	40	0.28	128.8	13%
85	Ustelis-Udulis	Gacho franco arcillo-limoso	Zacapa	35	1.32	607.2	63%
86	Udands	Guacalate franco	Escuintla	43	0.67	308.2	32%
87	Udalis-Udeplis	Guapaca arcilla	Petén	35	0.2	92	10%
88	Udulis-Udeplis	Guapinol arcilla	Izabal	90	0.1	46	5%
89		Guatalon franco arenoso	Escuintla	45	0.22	101.2	10%
90	Ustalis-Ustelis-Orthenis	Guatemala franco arcillo arenoso	Guatemala	110	0.34	156.4	16%
91	Orthenis-Ustelis	Guila arcilla	Chiquimula	95	0.73	335.8	35%
92	Aquetis	Inca franco arcilloso	Izabal	30	0.31	142.6	15%
93	Udeplis-Orthenis-Udulis	Ixbob arcilla	Petén	60	0.36	165.6	17%
94	Udeplis	Ixcanc arcilla	Huehuetenango	70	0.08	36.8	4%
95	Usterts-Ustalis	Ixtan arcilla	Retalhuleu	110	2.22	1021.2	105%
96	Usterts-Ustalis	Ixtan arcilla	Retalhuleu	80	1.25	575	59%

Continuación de la tabla X.

460 me/100 g Na  
968 Densidad Na en estado natural  
1162.5 kg/m<sup>3</sup>  
120% Densidad Na (Según la norma ASTM C-88)  
Concentración Parámetro de comparación

kg/ha a 17 cm de profundidad

Clasificación Taxonomica	Serie de Suelo	Localidad	Limite del horizonte (cm)	Cationes intercambiables me/100 g Na	kg/ha x 17cm Na	Concentración de Na
97 Ustolis-Usterts	Ixtan franco limoso	Retalhuleu	120	0.58	266.8	28%
98 Ustalis-Usteps	Jacaltenango franco arcilloso	Huehuetenango	68	0.23	105.8	11%
99 Orthenis-Ustelis	Jalapa franco arenoso	Chiquimula	130	0.91	418.6	43%
100 Orthenis-Ustelis	Jalapa franco arenoso	Chiquimula	50	0.64	294.4	30%
101 Orthenis-Ustelis	Jalapa franco arenoso	Jalapa	50	1.03	473.8	49%
102 Usteps-Orthenis	Jiqua arcilla gravosa	Zacapa	30	0.19	87.4	9%
103 Orthenis-Ustelis	Jilotepeque franco arcillo-gravoso	Jalapa	85	0.7	322	33%
104 Uderis-Rendolis	Jolia arcilla	Petén	15	0.49	225.4	23%
105 Uderis-Rendolis	Jolia arcilla	Petén	10	0.31	142.6	15%
106 Udepis-Orthenis	Jubuco arcilla	Izabal	80	0.23	105.8	11%
107 Uderis-Aqueris	Macanche arcilla	Petén	100	1.33	611.8	63%
108 Aqueris-Uderis	Marchalca arcilla	Petén	20	0.18	82.8	9%
109 Ustelis-Ustalis	Maraluma franco limoso	Baja Verapaz	30	0.49	225.4	23%
110 Psammens-Orthenis	Matapa franco	Escuintla	20	0.23	105.8	11%
111 Ustelis-Orthenis	Mataquescuintla franco limoso	Jalapa	25	2.7	1242	128%
112 Udepis-Udandis-Udalis	Mazatenango franco limoso	Suchitepéquez	200	1.5	690	71%
113 Usterts	Mita arcilla	Chiquimula	160	2.75	1265	131%
114 Usterts	Mita arcilla	Jalapa	60	0.86	395.6	41%
115 Udandis-Udepis	Moca franco arenoso	Suchitepéquez	60	0.16	73.6	8%
116 Orthenis-Ustelis	Mongoy arcilla	Juliapa	80	0.87	400.2	41%
117 Aqueris-Aqualis	Mopan arcilla	Petén	50	0.31	142.6	15%
118 Ustlands-Ustalis	Moran franco arcilloso	Guatemala	155	0.45	207	21%
119 Ustlands-Ustelis-Orthenis	Moyuta franco limoso	Juliapa	150	0.89	409.4	42%
120 Ustelis-Rendolis	Nenton arcilla	Huehuetenango	60	0.2	92	10%
121 Orthenis	Oquen franco arcilloso gravoso	Chiquimula	50	0.91	418.6	43%
122 Udandis-Virands	Ostuncalco arena franca	Quezaltenango	160	0.77	354.2	37%
123 Udulis-Udepis-Udandis	Osuna franco arcilloso	Chimaltenango	50	0.27	124.2	13%
124 Udulis-Udepis-Udandis	Osuna franco arcilloso	Escuintla	55	0.67	308.2	32%
125 Orthenis-Ustelis	Pacaya franco arenoso gravoso	Guatemala	75	0.17	78.2	8%
126 Virands-Udandis	Palin franco arenoso	Guatemala	110	0.84	388.4	40%
127 Virands-Psammens	Panam franco arenoso gravoso	Suchitepéquez	25	0.11	50.6	5%
128 Ustalis-Ustelis	Papaturo franco arcilloso	Escuintla	75	0.47	216.2	22%
129 Ustalis-Ustelis	Patzic franco arenoso	Santa Rosa	100	3.61	1660.6	172%
130 Udandis	Patzic franco arenoso	Quiché	90	0.24	110.4	11%
131 Udandis-Ustlands-Udalis	Patzic franco arenoso	Sololá	100	0.35	161	17%
132 Ustlands-Ustalis-Orthenis-Ustolis	Paxinama franco arenoso	Escuintla	55	0.14	64.4	7%
133 Psammens-Fluvents-Ustolis	Petexbatun franco arenoso	Petén	85	0.18	82.8	9%
134 Aquilis-Udulis	Pinula franco arcilloso	Jalapa	15	0.98	450.8	47%
135 Ustelis-Orthenis	Pinula franco limoso gravoso	Jalapa	110	1.6	736	76%
136 Ustelis-Orthenis	Poaguil franco arcilloso	Chimaltenango	60	0.39	179.4	19%
137 Ustalis-Ustelis	Polochic franco arcillo limoso	Alta Verapaz	10	0.25	115	12%
138 Aquepis-Aqueris-Orthenis	Popun franco arcilloso limoso	Petén	12	0.69	317.4	33%
139 Udalis-Orthenis	Quezaltenango franco arenoso	Quezaltenango	120	0.59	271.4	28%
140 Ustlands-Orthenis	Quezada franco arcilloso	Juliapa	90	1.43	657.8	68%
141 Ustlands-Ustelis	Quiche franco arcilloso	Chimaltenango	65	0.31	142.6	15%
142 Ustalis-Ustelis	Quiche franco arcilloso	Quiché	75	0.75	345	36%
143 Ustalis-Ustelis	Quiche franco arcilloso	Quiché	100	0.43	197.8	20%
144 Ustalis-Ustelis	Quiche franco arcilloso arenoso	Quiché	100	0.43	197.8	20%

Continuación de la tabla X.

460 me/100 g Na  
 968 Densidad Na en estado natural  
 1162.5 Densidad Na (Según la norma ASTM C-88)  
 120% Parametro de comparación

kg/ha a 17 cm de profundidad  
 kg/m3  
 kg/m3  
 Concentración

Clasificación Taxonomica	Serie de Suelo	Localidad	Limite del horizonte (cm)	Cationes intercambiables me/100 g Na	kg/ha x 17cm Na	Concentracion de Na
145 Udalis-Udeplis	Quinil arcilla	Petén	60	0.11	50.6	5%
146 Aqueplis-Udolis	Quirriqua franco limoso	Izabal	120	0.16	73.6	8%
147 Orthenis-Ustepls	Quixal franco arenoso	Huehuetenango	36	0.48	220.8	23%
148 Udepls-Rendolls	Quixtan franco arcilloso	Huehuetenango	30	0.36	165.6	17%
149 Udolis-Humulls	Retalhuleu franco arcilloso limoso	Retalhuleu	55	0.9	414	43%
150 Orthenis	Sacapulas franco arenoso	Huehuetenango	35	0.05	23	2%
151 Orthenis	Sacapulas franco arenoso gravoso	Quiché	55	0.57	262.2	27%
152 Udepls-Udeplis	Sacluc arcilla	Petén	35	0.12	55.2	6%
153 Aquepls	Saipuy arcilla	Petén	110	1.3	598	62%
154 Orthenis-Psamments	Salama franco arenoso	Baja Verapaz	50	0.25	115	12%
155 Orthenis-Psamments	Salama franco arenoso	Baja Verapaz	100	1.6	736	76%
156 Orthenis-Udands	Samavac franco limoso	Suchitepéquez	50	2.1	966	100%
157 Ustepls-Orthenis	Sansare franco arcilloso gravoso	Jalapa	15	0.2	92	10%
158 Aquepls	Sarsun arcilla	Petén	90	0.34	156.4	16%
159 Orthenis-Udepls	Sebach arcilla	Izabal	15	4.65	2139	221%
160 Udolis-Humulls-Udepls	Sebol franco arcilloso	Alta Verapaz	25	0.18	82.8	9%
161 Udepls-Udalis	Secala arcilla	Alta Verapaz	75	1.25	575	59%
162 Udepls-Orthenis	Semuc arcilla	Izabal	2	1.37	630.2	65%
163 Udepls	Sejal arcilla	Izabal	50	0.1	46	5%
164 Udolis-Udepls	Sholanima arcilla	Baja Verapaz	50	0.2	92	10%
165 Udolis-Udepls	Sholanima franco arcilloso	Quiché	20	0.07	32.2	3%
166 Ustlands-Ustolis	Smache franco arcillo limoso	Quiché	150	0.34	156.4	16%
167 Orthenis-Ustepls-Udands	Siquinala franco gravoso	Escuintla	40	0.35	161	17%
168 Udepls-Rendolls	Soioma franco	Huehuetenango	120	0.22	101.2	10%
169 Udalis-Udepls	Sotz arcilla	Petén	30	0.06	27.6	3%
170 Orthenis-Ustepls	Subinal franco	Chiquimula	100	0.17	78.2	8%
171 Orthenis-Ustepls	Suchachin franco arenoso	El Progreso	50	1.05	483	50%
172 Udalis-Udolis	Suchitan franco limoso	Petén	60	0.84	386.4	40%
173 Virands-Psamments	Suchitepéquez franco limoso	Jutiapa	115	2	920	95%
174 Udands-Udolis	suchitepéquez franco arenoso	Suchitepéquez	110	0.33	151.8	16%
175 Udands-Udolis	Suchitepéquez franco limoso	Suchitepéquez	35	0.4	184	19%
176 Udands-Udolis	Suchitepéquez franco limoso	Suchitepéquez	30	0.33	151.8	16%
177 Udands-Udolis	Tahuani franco	Chiquimula	15	0.7	322	33%
178 Ustepls-Ustalis-Orthenis	Talquesal franco arenoso	Jalapa	40	0.05	23	2%
179 Ustepls	Tamahu franco arcilloso	Alta Verapaz	50	0.14	64.4	7%
180 Orthenis-Rendolls	Taxisco franco arcilloso	Santa Rosa	140	0.18	82.8	9%
181 Ustolis-Ustalis	Taxisco arcilla	Santa Rosa	130	0.33	151.8	16%
182 Ustolis-Ustelis	Tecolate franco arcilloso	Escuintla	40	11.5	5290	546%
183 Ustolis-Aquolis	Telemán franco arcilloso	Chimaltenango	130	0.8	368	38%
184 Ustlands-udands	Tiquisate franco arenoso fino	Alta Verapaz	15	0.2	92	10%
185	Tiquisate franco arenoso muy fino	Escuintla	65	0.14	64.4	7%
186 Ustolis-Udolis	Tiquisate franco arenoso	Escuintla	80	0.25	115	12%
187 Ustolis-Udolis	Tiquisate franco	Escuintla	150	0.37	170.2	18%
188 Ustolis-Udolis	Tiquisate franco limoso	Escuintla	13	0.15	69	7%
189 Ustolis-Udolis	Tiquisate franco	Jutiapa	70	0.28	128.8	13%
190 Psamments-Ustolis	Tiquisate franco	Suchitepéquez	125	0.22	101.2	10%
191 Psamments-Ustolis-Udolis-Psamments	Tollman franco arcilloso	Sololá	110	0.39	179.4	19%
192 Ustlands						

Continuación de la tabla X.

Clasificación Taxonomica	Serie de Suelo	Localidad	Limite del horizonte (cm)	Cationes intercambiables me/100 α Na	kg/Ha x 17cm Na	Concentración de Na
193 Ustands	Tolimán franco	Sololá	85	0.95	437	45%
194 Ustelis	Toitec franco arcilloso	Izabal	200	0.21	96.6	10%
195 Ustelis-Ustolis-Ustelis	Toitecate franco	Santa Rosa	75	0.59	271.4	28%
196 Rendolis-Orthelis	Toquiá franco limoso	Huehuetenango	10	0.16	73.6	8%
197 Rendolis-Orthelis	Toquiá franco	Huehuetenango	20	0.16	73.6	8%
198 Udepis-Orthelis-Aquepis	Torolita franco arcilloso	Escuintla	110	0.43	197.8	20%
199 Udands	Totonitcapán franco	San Marcos	90	0.36	165.6	17%
200 Udands	Totonitcapán franco	Totonitcapán	70	0.21	96.6	10%
201 Udands	Totonitcapán franco	Totonitcapán	200	2.04	938.4	97%
202 Udepis-Udulis-Udalis	Tzeja franco arcilloso	Quiché	110	0.33	151.8	16%
203 Udepis-Udulis-Udalis	Tzeja franco limoso	Quiché	25	0.17	78.2	8%
204 Udepis-Aquepis	Uaxactún arcilla	Petén	25	2.4	110.4	11.4%
205 Aquepis-Aquepis	Usumacinta arcillo limoso	Petén	105	0.63	289.8	30%
206 Udepis-Ustelis	Xava franco arcilloso	Escuintla	85	0.34	156.4	16%
207 Aquepis-Udepis	Xava franco arcilloso	Petén	50	0.95	437	45%
208 Aquepis-Udepis	Yaloch arcilla	Petén	5	1.5	690	71%
209 Rendolis-Orthelis-Udepis	Yaxa arcilla	Petén	20	2.7	1242	128%
210 Rendolis-Orthelis-Udepis	Yaxa arcilla	Petén	40	3.08	1416.8	148%
211 Orthelis-Vitrands	Yenocapa	Chimaltenango	70	0.17	78.2	8%
212 Ustelis-Ustalis	Zacapa franco arenoso	Zacapa	100	0.58	266.8	28%
213 Orthelis-Vitrands	Zacualpa franco arenoso	Quiché	50	1	460	48%
214 Ustelis	Zarzal arcilla	Zacapa	35	0.8	368	38%

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, anexo B.



Los valores marcados con relleno, sobrepasan el valor de concentración de comparación, por lo que se puede establecer que estos suelos tenderán a degradar el material en un porcentaje mayor a los datos obtenidos en los ensayos de desgaste por sulfato de sodio.

Los valores que están por debajo de la concentración de comparación, se esperarían que se desgasten por lo menos en un porcentaje muy similar a los datos obtenidos en los ensayos de desgaste por sulfato de sodio.

A continuación se adjuntan los análisis de suelos que sobrepasan el valor de concentración de comparación.

Tabla XI. **Análisis del suelo serie Chicaj franco arcilloso arenoso**

Nombre: CHICAJ franco arcillo arenoso							Nº de Archivo: 2,607				Localidad: Jalapa					
Nº Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm					% Sat. Bases	Mn ppm	Fe ppm	P ppm	
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K					H
1	0-15	7.5	66.8	0.25	3.5	6.02	27.49	32.45	4.76	0.80	1.70	—	—	0.9	9.5	7.2
2	15-25	7.9	76.2	0.21	2.3	3.96	35.72	42.98	5.67	4.40	3.15	—	—	1.6	0.5	17.2
3	25-40	R O C A						R O C A							R O C A	

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 748.

Tabla XII. **Análisis del suelo serie Chicaj franco arcilloso 1**

Nombre: CHICAJ franco arcilloso							Nº de Archivo: 5,308				Localidad: Zacapa (La Fragua)					
Nº Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm					% Sat. Bases	Mn ppm	Fe ppm	P ppm	
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K					H
1	0-8	7.1	21.6	0.06	0.7	1.20	11.74	8.61	2.21	0.31	0.66	—	—	212.0	8.0	2.8
2	8-30	8.1	47.9	0.07	0.7	1.20	41.40	29.44	2.38	2.88	2.56	4.14	90.00	34.0	0.5	4.0
3	30-45	8.3	36.1	0.05	0.4	0.69	32.80	30.18	2.62	3.46	2.43	—	—	11.0	0.3	3.5
4	45-67	8.4	29.1	0.04	0.2	0.34	26.20	24.95	2.58	3.42	2.40	—	—	19.0	1.0	0.8
5	67-85+	8.4	21.3	0.03	0.1	0.17	27.30	21.96	2.66	2.88	1.82	—	—	12.0	0.5	2.5

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 748.

Tabla XIII. **Análisis del suelo serie Chicaj franco arcilloso 2**

Nombre: CHICAJ franco arcilloso			Nº de Archivo: 5,310				Localidad: Zacapa (La Fragua)									
Nº Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm							Mn ppm	Fe ppm	P ppm
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases			
1	0-5	6.8	24.3	0.11	1.1	1.89	17.79	8.70	3.50	0.72	1.41	3.46	80.55	156.0	8.0	15.5
2	5-30	8.4	54.7	0.08	0.8	1.38	41.40	43.29	4.93	3.85	2.92	—	—	23.0	0.5	19.8
3	30-40	8.8	34.2	0.06	0.5	0.86	36.20	24.95	2.09	0.69	3.52	4.95	86.33	4.0	0.2	35.6
4	40+	8.1	22.9	0.02	0.2	0.34	25.91	16.46	1.83	2.05	2.60	3.97	88.54	9.0	1.0	21.5

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 749.

Tabla XIV. **Análisis de suelo serie Chicaj arcilla**

Nombre: CHICAJ arcilla			Nº de Archivo: 5,311				Localidad: Zacapa (La Fragua)									
Nº Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm							Mn ppm	Fe ppm	P ppm
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases			
1	0-25	7.8	34.2	0.06	0.5	0.86	30.14	28.07	7.30	0.75	0.51	—	—	15.0	2.0	24.0
2	25-55	8.2	38.7	0.06	0.5	0.86	32.71	27.45	6.89	1.26	0	—	—	21.0	1.0	20.0
3	55-75	8.5	44.8	0.05	0.5	0.86	32.65	33.06	7.20	2.79	0.56	—	—	11.0	2.0	32.0
4	75-90	9.2	13.6	0.02	0.1	0.17	13.84	15.22	4.63	3.44	0	—	—	40.0	5.0	23.0

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 749.

Tabla XV. **Análisis de suelo serie Mataquesuintla franco limoso**

Nombre: MATAQUESUINTLA franco limoso			Nº de Archivo: 2,612				Localidad: Jalapa									
Nº Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm							Mn ppm	Fe ppm	P ppm
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases			
1	0-25	6.3	45.0	0.94	13.7	23.56	66.27	24.20	6.27	2.70	1.13	21.97	51.76	17.5	14.0	1.2
2	25-50	6.3	38.7	0.81	10.3	17.72	63.95	20.75	5.41	1.10	0.90	35.79	44.03	10.7	11.5	1.1
3	50-95	6.5	57.9	0.34	4.0	6.88	73.61	11.17	0.16	0.31	0.48	81.49	16.47	6.0	13.4	1.5
4	95-130	6.4	60.1	0.12	1.3	2.22	49.49	3.16	3.34	0.59	1.71	40.69	17.78	5.0	8.3	1.2
5	130-170	5.9	31.6	0.07	0.7	1.20	50.40	3.57	1.55	1.18	0.90	43.20	14.29	4.7	131.5	1.2

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 832.

Tabla XVI. **Análisis de suelo serie Mita arcilla**

Nombre: MTA arcilla		N° de Archivo: 1,603										Localidad: Chiquimula				
N° Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm					Mn ppm	Fe ppm	P ppm		
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K				H	% Sat. Bases
1	0-15	6.2	34.2	0.16	2.3	3.96	35.90	25.45	6.58	0.46	1.13	2.28	93.65	58.5	19.9	45.3
2	15-30	6.2	25.4	0.10	1.2	2.06	27.10	19.41	4.19	0.21	0.61	2.68	90.11	25.4	15.5	37.4
3	30-70	6.9	32.2	0.10	1.2	2.06	45.36	25.61	8.71	1.10	1.58	8.56	81.57	64.1	20.5	60.8
4	70-90	7.5	38.9	0.03	-0.1	-0.17	35.50	27.60	6.47	1.07	0.54	—	—	32.9	19.5	16.0
5	90-120	7.6	32.8	0.02	0.2	0.34	30.77	21.17	9.17	2.58	0.97	—	—	8.5	34.3	35.2
6	120-160+	7.6	34.1	0.01	0.1	0.17	33.08	20.75	10.26	2.75	1.15	—	—	26.5	24.4	27.2

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 833.

Tabla XVII. **Análisis de suelo serie Papaturro franco arenoso**

Nombre PAPATURRO franco arenoso		N° de Archivo: 4,403										Localidad: Santa Rosa				
N° Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm					Mn ppm	Fe ppm	P ppm		
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K				H	% Sat. Bases
1	0-5	6.3	25.2	0.10	1.2	2.05	7.97	4.61	0	0.38	0.31	2.67	66.50	36.6	76.2	3.5
2	5-10	7.1	27.0	0	0.9	1.34	8.71	4.73	0.01	0.51	0.10	3.36	61.42	22.4	66.3	1.8
3	10-45	7.2	29.9	0	0.4	0.68	21.20	9.70	2.14	2.36	3.72	3.08	85.47	13.0	29.0	1.9
4	45-90	7.6	42.7	0	0.2	0.34	19.90	10.93	4.44	3.38	0.46	0.49	97.54	9.6	20.3	3.3
5	90-100	6.2	33.9	0.02	1.1	1.88	18.60	9.70	3.39	3.61	0.39	1.51	91.88	14.0	30.8	16.0

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 870.

Tabla XVIII. **Análisis de suelo serie Sebach arcilla**

Nombre: SEBACH arcilla		N° de Archivo: 2,405										Localidad: Izabal				
N° Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm					Mn ppm	Fe ppm	P ppm		
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K				H	% Sat. Bases
1	0-2	6.1	45.5	0.85	19.4	33.37	51.43	15.79	11.86	4.03	0.40	19.35	62.38	118.1	15.3	18.8
2	2-15	6.4	48.3	0.73	11.5	19.78	53.64	19.96	12.54	4.65	0.80	15.69	70.75	115.6	26.0	2.2
3	15-40	6.8	43.7	0.17	1.8	3.10	39.80	5.27	16.13	0.29	0	18.11	54.50	30.9	140.8	1.3
4	40-70	6.9	49.5	0.17	1.1	1.89	48.09	3.79	18.29	0.47	0.12	25.42	47.14	62.0	84.8	0.9
5	70-120+	7.0	35.1	0.04	0.4	0.69	43.01	2.02	13.34	0.95	0.29	26.41	38.60	53.8	246.5	0.7

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 930.

Tabla XIX. **Análisis de suelo serie Tecojate franco arcilla**

Nombre: TECOJATE franco arcilloso			N° de Archivo: 1,830					Localidad: Escuintla									
N° Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm										
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases	Mn ppm	Fe ppm	P ppm	
1	--3-0	B R O Z A						B R O Z A								B R O Z A	
2	0-10	7.1	47.2	0.51	6.4	11.01	49.40	30.59	21.19	2.58	2.28	--	--	2.8	9.8	38.4	
3	10-25	7.1	41.3	0.14	1.9	3.27	39.18	20.48	23.48	6.35	2.10	--	--	21.4	8.3	35.6	
4	25-40	7.8	41.3	0.03	0.4	0.69	59.52	16.07	27.62	11.50	2.18	--	--	6.2	11.8	20.8	
5	40-135	8.0	34.3	0.01	1.9	3.27	22.93	10.37	15.79	10.00	1.78	--	--	12.8	60.0	11.6	
6	135+	7.9	43.5	0.02	0.4	0.69	--	--	--	--	--	--	--	3.9	54.6	31.8	

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 962.

Tabla XX. **Análisis de suelo serie Yaxá arcilla 1**

Nombre: YAXA arcilla			N° de Archivo: 3,016					Localidad: Petén									
N° Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm										
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases	Mn ppm	Fe ppm	P ppm	
1	0-10	7.7	52.4	0.74	8.9	15.31	29.06	70.48	0.80	1.13	1.58	--	--	0	6.0	2.3	
2	10-20	7.8	46.6	0.38	3.7	6.36	54.92	60.64	5.70	2.70	1.50	--	--	0.2	2.0	7.1	
3	20-30	7.9	37.1	0.23	2.4	4.13	33.42	48.94	5.26	1.23	0.43	--	--	0	0	9.2	
4	30-50	8.2	34.2	0.08	1.0	1.72	9.68	14.63	3.44	0.45	0.05	--	--	0	0	6.7	

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 989.

Tabla XXI. **Análisis de suelo serie Yaxá arcilla 2**

Nombre: YAXA arcilla			N° de Archivo: 3,020					Localidad: Petén									
N° Horizonte	Límites del Horizonte cm.	pH	H.E. (M.E.) %	N %	C.O. %	M.O.T. %	Cationes Intercambiables me/100 gm										
							Cap. Tot. Interc.	Ca	Mg	Na	K	H	% Sat. Bases	Mn ppm	Fe ppm	P ppm	
1	0-7	7.9	--	0.84	9.6	16.42	32.92	39.63	7.83	2.70	0.50	--	--	7.0	1.0	3.9	
2	7-40	7.8	28.4	0.17	10.0	17.20	45.52	56.92	9.96	3.08	0.93	--	--	2.0	6.0	4.9	
3	40-100+	R O C A						R O C A							R O C A		

Fuente: SIMMONS Charles. Clasificación de los suelos de la República de Guatemala, p. 990.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1. Selección del material**

El tipo de agregado ha sido seleccionado al azar, sin ninguna preferencia y la ubicación de la compra de estos han sido: caliza de la zona 6, de la ciudad de Guatemala y el basalto en San Miguel Petapa, municipio de Guatemala.

#### **2.1.1. Basalto**

Roca ígnea volcánica de color oscuro, de composición rica en silicatos de magnesio, hierro y bajo contenido en sílice. Es la roca volcánica más común y supera en cuanto a superficie cubierta de la tierra a cualquier otra roca ígnea.

Se dice que el término basalto se deriva de la palabra etíope que significa una piedra negra que lleva hierro. En el uso moderno, los basaltos pueden definirse como lavas máficas en las que la plagioclasa cálcica es el principal mineral constitutivo junto con un cierto número de minerales máficos. Los minerales máficos son augita, olivino y óxidos de hierro; la hornblenda, biotita y la hiperstena ocurren sólo en casos excepcionales. Pueden distinguirse 2 tipos de basalto que son las variedades portadoras de olivino y las variedades que carecen de olivino (toleitas), las cuales son marcadas frecuentemente por la presencia del cuarzo.

En general, los basaltos son de textura de grano fino. Se encuentran variedades compuestas totalmente de vidrio en los bordes templados

superficialmente de las intrusiones que sufrieron enfriamiento brusco y en la costra de los derrames.

Tabla XXII. **Composición mineral de las rocas ígneas**

Cuarzo .....	12.4
Feldespato alcalino (Or, Ab) ....	31.0
Plagioclasa .....	29.2
Piroxeno .....	12.0
Hornblenda .....	1.7
Biotita .....	3.8
Muscovita .....	1.4
Olivino .....	2.6
Nefelina .....	0.3
Minerales opacos .....	4.1
Clorita y serpentina .....	0.6
Apatita .....	0.6
Esfena .....	0.3
Total .....	100.0

Fuente: Walter T. Huang. Petrología, p. 28.

### 2.1.2. Caliza

Roca sedimentaria compuesta mayormente por carbonato de calcio. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, entre otros, que modifican sensiblemente el color y el grado de coherencia de la roca. Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización, sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos provoca su disolución.

La caliza, dolomita y rocas afines, son las más importantes de las rocas sedimentarias de carbonatos. Las calizas han recibido este nombre porque la cal se fabrica a partir de ellas. Con un proceso de quemado para quitarles el bióxido de carbono y dejar la cal.

Muchas sustancias, además de los carbonatos, ocurren en las calizas y rocas afines. Estas son fragmentos detríticos o piroplásticos arrastrados por el agua hasta la cuenca de depositación y mezclados con los carbonatos. Entre ellos se encuentra el cuarzo, feldespastos, minerales arcillosos y restos orgánicos. La composición química de las calizas están formadas principalmente de calcita, y el contenido de CaO y CO<sub>2</sub> es muy alto, formando algunos casos más de 95 por ciento. Las texturas de la caliza son variables e inigualables por cualquier otro grupo de rocas. Algunas texturas son clásticas, mientras que otras son el resultado de acreencia orgánica.

Las calizas clásticas se forman mecánicamente y contienen partículas carbonatadas, tales como fragmentos orgánicos, fragmentos de rocas carbonatadas más antiguas y oolitas. Estas partículas son transportadas y más o menos clasificadas antes de llegar finalmente al reposo. Los depósitos de máxima extensión se encuentran en el fondo del mar.

Tabla XXIII. **Composición mineral de las rocas sedimentarias**

Componente	(1) <sup>a</sup>	(2) <sup>b</sup>	(3) <sup>c</sup>	(4) <sup>d</sup>	(5) <sup>e</sup>	(6) <sup>f</sup>
SiO <sub>2</sub>	0.07	7.41	2.55	1.15	13.80	2.38
TiO <sub>2</sub>	—	0.14	0.02	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.68	1.55	0.23	0.45	7.00	1.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.70	0.02	—	4.55	0.56
FeO	—	1.20	0.18	0.26	—	—
MnO	—	0.15	0.04	—	0.29	—
MgO	0.59	2.70	7.07	0.56	1.32	0.59
CaO	54.54	45.44	45.65	53.80	38.35	52.48
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.15	0.01	0.07	2.61	—
K <sub>2</sub> O	—	0.25	0.03	0.07	0.86	—
H <sub>2</sub> O+	—	0.38	0.05	0.69	—	—
H <sub>2</sub> O—	—	0.30	0.18	0.23	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0.16	0.04	—	0.25	—
CO <sub>2</sub>	42.90	39.27	43.60	42.69	31.31	41.85
SO <sub>3</sub>	0.06	0.02	0.03	—	—	—
S	0.25	0.25	0.30	—	—	—
Orgánicos	—	0.09	0.04	—	—	—
Total	99.33	100.16	100.02	99.97	100.34	99.43

Fuente: Walter T. Huang. Petrología, p. 311.

## **2.2. Ensayos de laboratorio**

A continuación se colocan las tablas con los datos de los diferentes ensayos realizados a las muestras de materiales de origen basáltico y caliza, así como una descripción de los cálculos realizados en gabinete para la determinación de las propiedades físicas del agregado.

### **2.2.1. Análisis completo**

Son los ensayos básicos que se realizan al agregado para determinar sus propiedades físicas, los cuales permiten establecer la densidad, porosidad, capacidad de absorción de agua, diseñar las mezclas de concreto y en nuestro caso establecer la calidad del material a ensayar.

#### **2.2.1.1. Peso específico**

Generalmente se utiliza para el cálculo del volumen ocupado por el agregado y para determinar en el laboratorio su valor, se procede de la siguiente forma: pesar 500 gramos de material, lavar y dejar sumergida en agua durante 24 horas, luego secar superficialmente. Pesar las probetas de cristal, luego colocar 200 mililitros de material dentro de la probeta y pesar, después añadir agua, se debe agitar para evitar vacíos luego pesar, revisar que todas las probetas contengan 500 mililitros. Vaciar las probetas, secarlas y añadir agua hasta 500 mililitros, luego pesar.



Tabla XXIV. **Datos obtenidos para determinar el peso específico**

<b>Datos iniciales (basalto)</b>			
	prob. 1	prob. 2	prob. 3
Peso probeta	387,00	388,30	388,80
Peso probeta + mat.	586,80	588,50	589,30
Peso probeta + mat. + H2O	1 009,50	1 012,50	1 014,50
Peso probeta + H2O	880,50	889,20	880,76

<b>Datos iniciales (caliza)</b>			
	prob. 1	prob. 2	prob. 3
Peso probeta	387,60	388,80	389,40
Peso probeta + mat.	587,50	589,00	589,70
Peso probeta + mat. + H2O	1 008,80	1 013,10	1 012,70
Peso probeta + H2O	883,70	886,50	888,10

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

Peso mat. seco = (peso probeta + mat.) - (peso probeta)

Peso mat. seco (prob.1) = 586,80 - 387,00 = 199,80

Peso mat. seco (prob.2) = 588,50 - 388,30 = 200,20

Peso mat. seco (prob.3) = 589,30 - 388,80 = 200,50

Peso mat. saturado H2O = (Peso probeta + mat.+ H2O) - (Peso probeta + H2O)

Peso mat. saturado H2O (prob. 1) = 1009,50 - 880,50 = 129,00

Peso mat. saturado H2O (prob. 2) = 1012,50 - 889,20 = 123,30

Peso mat. saturado H2O (prob. 3) = 1014,50 - 880,76 = 133,74

$$\text{Peso específico} = \frac{(\text{peso mat. seco})}{(\text{peso mat. seco}) - (\text{peso mat. saturado H}_2\text{O})}$$

$$\text{Peso específico (prob. 1)} = \frac{199,80}{199,80 - 129,00} = 2,82$$

$$\text{Peso específico (prob. 2)} = \frac{200,20}{200,20 - 123,30} = 2,60$$

$$\text{Peso específico (prob. 3)} = \frac{200,50}{200,50 - 133,74} = 3,00$$

$$\text{Peso promedio} = \frac{2,82 + 2,60 + 3,00}{3,00} = 2,81$$

### 2.2.1.2. Peso unitario suelto

Los agregados poseen masa y volumen, la misma masa tiende a ocupar distintos volúmenes, tanto en un estado suelto como en un compactado. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, mayor será el peso que posea en un recipiente de volumen determinado. Y se determina de la siguiente forma: pesar el recipiente, colocar de forma homogénea el material dentro del recipiente hasta rebalsar, luego nivelar suavemente con una varilla, acomodar y retirar el material de exceso y pesar. Anotar los datos y repetir el procedimiento.

Tabla XXV. **Datos obtenidos para determinar el peso unitario suelto**

<b>Datos iniciales (basalto)</b>			
	suelto 1	suelto 2	suelto 3
Peso del recipiente	3 621,00	3 621,00	3 621,00
Peso recipiente + material	13473,00	13410,00	13434,00
Vol. del recipiente (l)	7,00	7,00	7,00

Continuación de la tabla XXV.

<b>Datos iniciales (caliza)</b>			
	suelto 1	suelto 2	suelto 3
Peso del recipiente	3 621,00	3 621,00	3 621,00
Peso recipiente + material	14012,00	14010,00	14017,00
Vol. del recipiente (l)	7,00	7,00	7,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

Peso del material = (peso recipiente + material) - (peso del recipiente)

Peso del material (suelto 1) = 13 473,00 - 3 621,00 = 9 852,00

Peso del material (suelto 2) = 13 410,00 - 3 621,00 = 9 789,00

Peso del material (suelto 3) = 13 434,00 - 3 621,00 = 9 813,00

Peso unitario =  $\frac{\text{Peso del material}}{\text{vol. del recipiente}}$

Peso unitario (suelto 1) =  $\frac{9\ 852,00}{7,00} = 1407,43$

Peso unitario (suelto 2) =  $\frac{9\ 789,00}{7,00} = 1398,43$

Peso unitario (suelto 3) =  $\frac{9\ 813,00}{7,00} = 1401,86$

Peso unitario promedio =  $\frac{1\ 407,43 + 1398,43 + 1401,86}{3,00} = 1402,57$

### 2.2.1.3. Peso unitario compactado

Se utiliza para conocer el volumen de materiales apilados. Y su procedimiento es el siguiente: pesar el recipiente, colocar de forma homogénea el material dentro del recipiente hasta 1/3 de la altura del recipiente, luego compactar con una varilla 25 veces, repetir hasta rebalsar el recipiente. Luego nivelar suavemente con una varilla, acomodar y retirar el material de exceso y pesar. Anotar los datos y repetir el procedimiento.

Tabla XXVI. **Datos obtenidos para determinar el peso unitario compactado**

<b>Datos iniciales (basalto)</b>			
	compactado 1	compactado 2	compactado 3
Peso del recipiente	3 621,00	3 621,00	3 621,00
Peso recipiente + material	13 970,00	13 996,00	13 886,00
Vol. del recipiente (l)	7,00	7,00	7,00
<b>Datos iniciales (caliza)</b>			
	compactado 1	compactado 2	compactado 3
Peso del recipiente	3 621,00	3 621,00	3 621,00
Peso recipiente + material	14 393,00	14 481,00	14 500,00
Vol. del recipiente (l)	7,00	7,00	7,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

Peso del material = (peso recipiente + material) - (peso del recipiente)

Peso del material (compactado 1) = 13970,00 - 3621,00 = 10349,00

Peso del material (compactado 2) = 13996,00 - 3621,00 = 10375,00

Peso del material (compactado 3) = 13886,00 - 3621,00 = 10265,00

$$\text{Peso unitario} = \frac{(\text{peso del material})}{\text{vol. del recipiente}}$$

$$\text{Peso unitario (compactado 1)} = \frac{10\,349,00}{7,00} = 1478,43$$

$$\text{Peso unitario (compactado 2)} = \frac{10\,375,00}{7,00} = 1482,14$$

$$\text{Peso unitario (compactado 3)} = \frac{10\,265,00}{7,00} = 1466,43$$

$$\text{Peso unitario promedio} = \frac{1\,478,43 + 1\,482,14 + 1\,466,43}{3,00} = 1475,67$$

#### 2.2.1.4. Porcentaje de vacíos

Los datos necesarios ya se tienen por cálculos anteriores, por lo que solo se copian y se ingresan en la fórmula establecida. Este cálculo nos proporciona la consolidación del material es decir la capacidad que tienen las partículas de acomodarse unos respecto a las otras.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

$$\text{Peso específico (P.E.)} = 2,81$$

$$\text{Peso unitario compactado (P.U.)} = 1475,67$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = \frac{(\text{P.E.}) * 1000 - (\text{P.U.})}{(\text{P.E.}) * 1000} * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = \frac{2,81 * 1000,00 - 1475,67}{2,81 * 1000,00} * 100,00 = 47,48$$

### 2.2.1.5. Porcentaje pasa tamiz 200

El material más fino que el tamiz no. 200 puede separarse de las partículas más grandes con mucha más eficacia y completamente por medio del tamizado húmedo que a través de la utilización del tamizado en seco. El ensayo consiste en pesar 500 gramos de material en condición seca, luego se lava pasándolo por los tamices no. 40 y no. 200, el material que queda retenido en el tamiz 200 se coloca en un recipiente y se coloca en el horno por 24 horas, para luego ser retirado y pesado en una balanza.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

Peso inicial (Po)= 500,00

Peso final (Pf) = 492,00

Porcentaje pasa tamiz =  $\frac{(Po - Pf)}{Po} * 100$

Porcentaje pasa tamiz =  $\frac{500,00 - 492,00}{500,00} * 100,00 = 1,60$

- Datos (material de origen caliza)

Peso inicial (Po)= 501,10

Peso final (Pf) = 496,10

### 2.2.1.6. Porcentaje de absorción

Después del período de saturación, la muestra se retira del agua y se coloca en una tela grande y absorbente, hasta que todas las películas visibles de agua se hayan removido, teniendo el cuidado de evitar la evaporación del

agua de los poros del agregado durante la operación del secado superficial. Secar en el horno, luego enfriar a temperatura ambiente y pesar la muestra seca.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

Peso inicial (Po) = 500,10

Peso final (Pf) = 494,10

Porcentaje de absorción =  $\frac{(Po - Pf)}{Pf} * 100$

Porcentaje de absorción =  $\frac{500,10 - 494,10}{494,10} * 100,00 = 1,21$

- Datos (material de origen caliza)

Peso inicial (Po) = 500,10

Peso final (Pf) = 495,40

#### **2.2.1.7. Granulometría**

Se gradúan las muestras de agregado grueso, vertiendo el material en la máquina tamizadora por un período de 3 minutos, tamices a utilizar en pulgadas (1 1/2, 1, 3/4, 1/2, 3/8), no.4 y fondo. Luego anotar y pesar cada tamiz, para proceder al cálculo de gabinete.

Tabla XXVII. **Granulometría agregado grueso basalto y caliza**

TAMIZ (pulg.)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA
1 1/2"	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
1"	31,00	0,15%	0,15%	99,85%
3/4"	2 171,00	10,30%	10,45%	89,55%
1/2"	11 367,00	53,92%	64,37%	35,63%
3/8"	3 440,00	16,32%	80,68%	19,32%
No.4	2 696,00	12,79%	93,47%	6,53%
Fondo	1 376,00	6,53%	100,00%	0,00%
Sumatoria	21 081,00			

TAMIZ (pulg.)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% QUE PASA
1 1/2"	82,00	0,37%	0,37%	99,63%
1"	0,00	0,00%	0,37%	99,63%
3/4"	3 110,00	14,06%	14,43%	85,57%
1/2"	14 179,00	64,08%	78,51%	21,49%
3/8"	3 742,00	16,91%	95,42%	4,58%
No.4	900,00	4,07%	99,49%	0,51%
Fondo	113,00	0,51%	100,00%	0,00%
Sumatoria	22 126,00			

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Sumatoria}} * 100$$

$$\% \text{ retenido (3/4")} = \frac{2\ 171,00}{21\ 081,00} * 100,00 = 10,30$$

$$\% \text{ retenido (no.4)} = \frac{2\ 696,00}{21\ 081,00} * 100,00 = 12,79$$



% retenido acum. = (% retenido acum. n-1) + (% retenido n)

% retenido acum. (3/4") = 0,15 + 10,30 = 10,45

% retenido acum. (no.4) = 80,68 + 12,79 = 93,47

% que pasa = (% retenido acum. del fondo) - (% retenido acum. n)

% que pasa (3/4") = 100,00 - 10,45 = 89,55

% que pasa (no.4) = 100,00 - 93,47 = 6,53

## 2.2.2. Reporte ensayo de sulfato de sodio

La norma establece los siguientes pesos para la conformación de cada cápsula para el ensayo de desgaste con sulfato de sodio. Se pesan individualmente los agregados y de acuerdo a la granulometría, así se conforman las cápsulas para luego ser colocadas en un recipiente y mezclar ambas granulometrías.

Cápsula I:

1 pulgada \_\_\_\_\_ 1 000 gramos

3/4 de pulgada \_\_\_\_\_ 500 gramos

Peso total de la cápsula I = 1 500 gramos

Cápsula II:

1/2 pulgada \_\_\_\_\_ 670 gramos

3/8 de pulgada \_\_\_\_\_ 330 gramos

Peso total de la cápsula II = 1 000 gramos

Cápsula III:

no.4 \_\_\_\_\_ 300 gramos

Peso total de la cápsula III = 300 gramos

Nota aclaratoria: debido al muestreo de material, el peso retenido de 1 pulgada no cumple con al menos 5 por ciento del peso necesario para la conformación de la cápsula I, esta no se incluirá en el análisis.

Para ambos análisis se trabajaran 5 ciclos, más un ciclo extra denominado ciclo completo, (el ciclo 5 y el ciclo completo tendrán el mismo tiempo de inmersión en la solución de sulfato, solo que en soluciones independientes y teóricamente deberán tener un desgaste similar) siendo en total 5 ciclos para cada cápsula. Si en la conformación de las cápsulas hiciera falta material para completar el peso, se tamizara más agregado para llegar al peso requerido de la cápsula.

Figura 6. **Bandejas con agregado grueso basalto y caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Antes de la conformación de las cápsulas, se debe lavar el material en sus respectivas bandejas, para luego ser colocadas dentro del horno, el cual deberá estar a una temperatura de 110 grados Celsius, para alcanzar masa constante.

Figura 7. **Procedimiento de lavado del material**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 8. **Bandejas con material lavado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 9. **Horno de convección forzada marca DESPATCH modelo No. 2BB2-27-1, serie 172818**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- Día de preparación e inicio (conformación de cápsulas y vertido de sulfato)
  - 11:00 horas, se sacan del horno las bandejas de material para que se enfríen a temperatura ambiente, luego se conforman las cápsulas de acuerdo a los pesos mencionados anteriormente. Y se identifican de la siguiente manera:

Figura 10. **Identificación de recipientes para colocar el material**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- C.1/II Ciclo para 1 día
- C.1/III Ciclo para 1 día
- C.2/II Ciclo para 2 días
- C.2/III Ciclo para 2 días
- C.3/II Ciclo para 3 días
- C.3/III Ciclo para 3 días
- C.4/II Ciclo para 4 días
- C.4/III Ciclo para 4 días
- C.5/II Ciclo para 5 días y C.C/II Ciclo completo 5 días
- C.5/III Ciclo para 5 días y C.C/III Ciclo completo 5 días

Figura 11. **Conformación de cápsulas**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

También se identifican los galones de la solución de sulfato, se utilizará exclusivamente un galón para la cápsula C.C., y dos galones para el resto de cápsulas.

Figura 12. **Identificación de galones de sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- 14:00 horas, se vierte la solución de sulfato de sodio dentro de cada cápsula a manera que la muestra de agregado grueso quede sumergida totalmente. Se coloca nylon sobre las cápsulas para evitar que objetos extraños caigan dentro de la solución. Se debe tener presente el galón de uso exclusivo para las cápsulas C.C.

Figura 13. **Total cápsulas a trabajar (para ambos casos)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 14. **Vertido de sulfato en cápsulas de material**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 15. **Material inmerso en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 16. **Cápsulas cubiertas con nylon**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.



- Día 1 (filtrado de cápsulas, vertido de sulfato y exclusión de C.1)
  - 8:00 horas, se destapan las cápsulas y se revisa que no presenten escarcha, si este fuera el caso, se colocan las cápsulas en el horno un tiempo prudente para que la escarcha se disuelva.

Figura 17. **Cápsulas con leve presencia de escarcha**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- 8:30 horas, el siguiente paso será el filtrado del sulfato de sodio, para esto se utilizará el siguiente equipo:

Figura 18. **Tamiz no.40 para filtrar sulfato**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 19. **Embudo plástico**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Procedimiento: se coloca el embudo en el galón de sulfato correspondiente, se coloca el tamiz y se filtran las cápsulas una por una. Teniendo presente el galón de uso exclusivo para la cápsula C.C.

Al tener filtradas todas las cápsulas, estas se ingresan simultáneamente al horno que estará a una temperatura de 110 grados Celsius.

Figura 20. **Procedimiento de filtrado de sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 21. **Residuos después del filtrado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 22. **Cápsulas dentro de horno después del filtrado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- 14:00 horas, se retiran del horno todas las cápsulas, dejando enfriar a temperatura ambiente, para luego aplicarle el sulfato de sodio, a excepción de la cápsula C.1la cual será lavada con agua tibia para disolver el sulfato adherido al agregado, luego se llena la cápsula con agua y se aplica una solución de cloruro de bario, el cual indicará que el agregado ya no contiene sulfato, de contener aún sulfato de sodio, reaccionará con una nube blanca en el agua y se deberá seguir con el lavado del agregado hasta que al aplicarle la solución de cloruro de bario no tenga reacción alguna.

Figura 23. **Aplicación de cloruro de bario**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Luego del lavado serán colocadas dentro del horno por 18 horas para obtener peso constante.

- Día 2 (filtrado de cápsulas, pesado de C.1 y exclusión de C.2)

El procedimiento a seguir es el mismo que se viene describiendo, los cuales se indican brevemente a continuación:

- Filtrado de sulfato
- Colocar en el horno las cápsulas
- Colocar sulfato
- Descartar una cápsula por día
- Lavado y puesta al horno de cápsula descartada
- Tamizado y pesado de material (este procedimiento se describe a continuación)
  - 8:30 horas, se saca del horno la cápsula C.1, se deja enfriar a temperatura ambiente, se tamiza y se pesa para determinar el desgaste del material al estar sumergido en la solución de sulfato de sodio. Para este paso se utilizará el siguiente equipo:

Figura 24. **Tamiz no. 5/16 yno.5**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

**Figura 25. Tara y báscula**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Procedimiento: en el tamiz 5/16 de pulgada se coloca el material de la cápsula C.1/II, se agita manualmente. En el tamiz no.5 se coloca el material de la cápsula C.1/III y de igual forma se agita. El material que pase a través de los tamices se descarta, este material es el desgaste. En la balanza se pesa el resto material que quedo retenido en cada tamiz y se anota el peso de cada cápsula.

**Figura 26. Tamizar cápsula II en tamiz 5/16 de pulgada**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 27. **Tamizar cápsula III en tamiz no. 5**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 28. **Tamizado manual**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.



- Ciclo 6 y ciclo 7

Debido a los resultados de desgaste que se han obtenido hasta el momento en ambos casos (basalto y caliza) en las cápsulas de los ciclos 4, 5 y C.C., y después de realizar algunos cálculos del porcentaje de desgaste de estos ciclos no se observa la tendencia del desgaste por lo que se decidió agregar al proceso 2 ciclos más.

Por lo que se preparo material para la conformación de estas nuevas cápsulas, con las especificaciones explicadas al inicio del informe, la única variación, es con el sulfato de sodio, ya que fue filtrado, con el fin de darle seguimiento y continuidad al proceso. El procedimiento de vertido de sulfato, filtrado, puesta al horno, lavado, tamizado y pesado es el mismo.

### **2.2.3. Resultados de ensayo de sulfato en agregado**

A continuación se tabula el peso individual inicial y final de cada cápsula que son el resultado de la disgregación del agregado mediante el uso del sulfato de sodio en material de origen basáltico y caliza respectivamente, estos son los datos para poder realizar el análisis cuantitativo.

Tabla XXVIII. **Resultados del análisis cuantitativo del basalto**

IDENTIFICACIÓN		PESOS INDIVIDUALES (gr)		DATOS INICIALES		DATOS FINALES	
				FECHA	PESO TOTAL (gr)	FECHA	PESO TOTAL (gr)
C.1	II	1/2"	670,30	22/05/2013	1 000,60	24/05/2013	996,60
		3/8"	330,30				
	III	No.4	300,30		300,30		298,80
C.2	II	1/2"	670,00	22/05/2013	1 000,50	27/05/2013	993,30
		3/8"	330,50				
	III	No.4	300,00		300,00		297,90
C.3	II	1/2"	670,00	22/05/2013	1 000,10	29/05/2013	990,00
		3/8"	330,10				
	III	No.4	300,00		300,00		295,20
C.4	II	1/2"	670,40	22/05/2013	1 000,40	30/05/2013	985,90
		3/8"	330,00				
	III	No.4	300,10		300,10		295,10
C.5	II	1/2"	670,20	22/05/2013	1 000,50	31/05/2013	981,20
		3/8"	330,30				
	III	No.4	300,20		300,20		292,90
C.C.	II	1/2"	670,00	22/05/2013	1 000,00	31/05/2013	979,60
		3/8"	330,00				
	III	No.4	300,20		300,20		294,80
C.6	II	1/2"	670,20	03/06/2013	1 000,20	17/06/2013	984,60
		3/8"	330,00				
	III	No.4	300,20		300,20		294,40
C.7	II	1/2"	670,50	03/06/2013	1 000,90	17/06/2013	985,70
		3/8"	330,40				
	III	No.4	300,00		300,00		291,60

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Tabla XXIX. **Resultados del análisis cuantitativo de la caliza**

IDENTIFICACIÓN		PESOS INDIVIDUALES (gr)		DATOS INICIALES		DATOS FINALES	
				FECHA	PESO TOTAL (gr)	FECHA	PESO TOTAL (gr)
C.1	II	1/2"	670,00	08/05/2013	1 000,10	10/05/2013	999,10
		3/8"	330,10				
	III	No.4	300,10				
C.2	II	1/2"	670,10	08/05/2013	1 000,30	13/05/2013	998,20
		3/8"	330,20				
	III	No.4	300,10				
C.3	II	1/2"	670,10	08/05/2013	1 000,10	15/05/2013	997,30
		3/8"	330,00				
	III	No.4	300,10				
C.4	II	1/2"	670,00	08/05/2013	1 000,00	16/05/2013	987,10
		3/8"	330,00				
	III	No.4	300,10				
C.5	II	1/2"	670,00	08/05/2013	1 000,10	17/05/2013	977,80
		3/8"	330,10				
	III	No.4	300,10				
C.C.	II	1/2"	670,00	08/05/2013	1 000,10	17/05/2013	985,60
		3/8"	330,10				
	III	No.4	300,00				
C.6	II	1/2"	670,30	03/06/2013	1 000,60	17/06/2013	944,60
		3/8"	330,30				
	III	No.4	300,00				
C.7	II	1/2"	670,30	03/06/2013	1 000,80	17/06/2013	935,30
		3/8"	330,50				
	III	No.4	300,00				

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

### 2.3. Análisis cuantitativo

No es más que la determinación de valores aplicando fórmulas, ya establecidas en la norma, para establecer la pérdida de volumen o desgaste que ha sufrido el agregado al estar sumergido dentro de la solución de sulfato y condiciones ya establecidas.

### 2.3.1. Cálculo del porcentaje de desgaste

Es la diferencia entre el peso inicial y el peso después aplicar las condiciones establecidas en la norma, luego será dividido entre el peso inicial. El resultado brinda el porcentaje que se desgasto respecto al peso inicial colocado dentro de la cápsula.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{Peso inicial}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de desgaste C.2 II} = \frac{1000,50 - 993,30}{1\ 000,50} * 100,00 = 0,72$$

$$\text{Porcentaje de desgaste C.2 III} = \frac{300,00 - 297,90}{300,00} * 100,00 = 0,70$$

$$\text{Porcentaje de desgaste C.4 II} = \frac{1000,40 - 985,90}{1\ 000,40} * 100,00 = 1,45$$

$$\text{Porcentaje de desgaste C.4 III} = \frac{300,10 - 295,10}{300,10} * 100,00 = 1,67$$

$$\text{Porcentaje de desgaste C.6 II} = \frac{1000,20 - 984,60}{1\ 000,20} * 100,00 = 1,56$$

$$\text{Porcentaje de desgaste C.6 III} = \frac{300,20 - 294,40}{300,20} * 100,00 = 1,93$$

### 2.3.2. Cálculo del desgaste referido a graduación

Es el producto del porcentaje de desgaste y el porcentaje de material retenido en la granulometría practicada al material, esto dividido entre 100. El resultado indica el desgaste respecto al volumen practicado en la granulometría.

Tabla XXX. **Porcentaje retenido de granulometría (basalto)**

TAMIZ (pulg.)	% RETENIDO
1 1/2"	0,00%
1"	0,15%
3/4"	10,74%
1/2"	56,25%
3/8"	17,02%
No.4	9,02%
Fondo	6,81%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

- Cálculos (ejemplo material de origen basalto)

$$\text{Desgaste referido a graduación} = \frac{(\text{Porcentaje de desgaste} * \% \text{ retenido})}{100}$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.2 I} = \frac{0,72 * (0,15 + 10,74)}{100,00} = 0,08$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.2 II} = \frac{0,72 * (56,25 + 17,02)}{100,00} = 0,53$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.2 III} = \frac{0,70 * (9,02 + 0,00)}{100,00} = 0,06$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.4 I} = \frac{1,45 * ( 0,15 + 10,74 )}{100,00} = 0,16$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.4 II} = \frac{1,45 * ( 56,25 + 17,02 )}{100,00} = 1,06$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.4 III} = \frac{1,67 * ( 9,02 + 0,00 )}{100,00} = 0,15$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.6 I} = \frac{1,56 * ( 0,15 + 10,74 )}{100,00} = 0,17$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.6 II} = \frac{1,56 * ( 56,25 + 17,02 )}{100,00} = 1,14$$

$$\text{Desgaste referido a graduación C.6 III} = \frac{1,93 * ( 9,02 + 0,00 )}{100,00} = 0,17$$

### **2.3.3. Datos finales**

A continuación la tabulación de los cálculos indicados anteriormente, de cada ciclo practicado al agregado. De acuerdo a lo establecido en la norma para la determinación de la estabilidad a la disgregación.

Tabla XXXI. **Resumen de cálculos realizados del desgaste (basalto)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.1	II	0,40	73,27	0,29
	III	0,50	9,02	0,05
C.2	II	0,72	73,27	0,53
	III	0,70	9,02	0,06
C.3	II	1,01	73,27	0,74
	III	1,60	9,02	0,14
C.4	II	1,45	73,27	1,06
	III	1,67	9,02	0,15
C.5	II	1,93	73,27	1,41
	III	2,43	9,02	0,22
C.C.	II	2,04	73,27	1,49
	III	1,80	9,02	0,16
C.6	II	1,56	73,27	1,14
	III	1,93	9,02	0,17
C.7	II	1,52	73,27	1,11
	III	2,80	9,02	0,25

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Tabla XXXII. **Resumen de cálculos realizados del desgaste (caliza)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.1	II	0,10	80,99	0,08
	III	0,20	4,07	0,01
C.2	II	0,21	80,99	0,17
	III	0,60	4,07	0,02
C.3	II	0,28	80,99	0,23
	III	1,30	4,07	0,05
C.4	II	1,29	80,99	1,04
	III	1,97	4,07	0,08
C.5	II	2,23	80,99	1,81
	III	3,47	4,07	0,14
C.C.	II	1,45	80,99	1,17
	III	3,23	4,07	0,13
C.6	II	5,60	80,99	4,53
	III	8,70	4,07	0,35
C.7	II	6,54	80,99	5,30
	III	7,33	4,07	0,30

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

#### 2.4. **Análisis cualitativo**

Es el análisis visual que se le ha practicado al agregado para clasificarlo de acuerdo al tipo de deterioro presentado, después de aplicarle la solución de sulfato de sodio y las condiciones establecidas de acuerdo a la norma. Se revisó individualmente cada partícula con una lente de aumento para poder observar el tipo de deterioro presentado la cual se detalla a continuación:



Tabla XXXIII. **Análisis cualitativo basalto**

IDENTIFICACIÓN		TIPO DE DETERIORO	PESOS INDIVIDUALES (gr)	%
C.1	II	DESMORAMIENTO	212,7	21%
		ROTURA	184,1	18%
		SIN DETERIORO	601,2	60%
	III	DESMORAMIENTO	72,3	24%
		ROTURA	23,5	8%
		SIN DETERIORO	203,7	68%
C.2	II	DESMORAMIENTO	186	19%
		ROTURA	165,3	17%
		SIN DETERIORO	646,2	65%
	III	DESMORAMIENTO	78,4	26%
		ROTURA	35,2	12%
		SIN DETERIORO	185	62%
C.3	II	DESMORAMIENTO	142,5	14%
		ROTURA	176,6	18%
		SIN DETERIORO	672,4	68%
	III	DESMORAMIENTO	62,7	21%
		ROTURA	23,9	8%
		SIN DETERIORO	209,6	71%
C.4	II	DESMORAMIENTO	229,3	23%
		ROTURA	176,6	18%
		SIN DETERIORO	581,8	59%
	III	DESMORAMIENTO	56,6	19%
		ROTURA	27	9%
		SIN DETERIORO	212	72%
C.5	II	DESMORAMIENTO	263	27%
		ROTURA	188,2	19%
		SIN DETERIORO	529,8	54%
	III	DESMORAMIENTO	81,5	28%
		ROTURA	64,6	22%
		SIN DETERIORO	147,3	50%
C.C	II	DESMORAMIENTO	235,8	24%
		ROTURA	194,6	20%
		SIN DETERIORO	549,8	56%
	III	DESMORAMIENTO	69,8	24%
		ROTURA	46,7	16%
		SIN DETERIORO	180	61%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Tabla XXXIV. **Análisis cualitativo caliza**

IDENTIFICACIÓN		TIPO DE DETERIORO	PESOS INDIVIDUALES (gr)	%
C.1	II	DESMORAMIENTO	321,5	32%
		AGRIETAMIENTO	83,1	8%
		ROTURA	230,3	23%
		SIN DETERIORO	365,4	37%
	III	DESMORAMIENTO	73,1	24%
		AGRIETAMIENTO	9,6	3%
		ROTURA	70,8	24%
		SIN DETERIORO	146,3	49%
C.2	II	DESMORAMIENTO	197,4	20%
		AGRIETAMIENTO	91,5	9%
		ROTURA	277,6	28%
		SIN DETERIORO	433,2	43%
	III	DESMORAMIENTO	99,3	33%
		AGRIETAMIENTO	41,8	14%
		ROTURA	95,2	32%
		SIN DETERIORO	61,9	21%
C.3	II	DESMORAMIENTO	158,9	16%
		AGRIETAMIENTO	56,6	6%
		ROTURA	170,4	17%
		SIN DETERIORO	610,9	61%
	III	DESMORAMIENTO	65,6	22%
		AGRIETAMIENTO	26	9%
		ROTURA	58,6	20%
		SIN DETERIORO	146,2	49%
C.4	II	DESMORAMIENTO	207,4	21%
		AGRIETAMIENTO	63,9	6%
		ROTURA	242,9	25%
		SIN DETERIORO	473,9	48%
	III	DESMORAMIENTO	93,5	32%
		AGRIETAMIENTO	27,5	9%
		ROTURA	45,4	15%
		SIN DETERIORO	129,4	44%
C.5	II	DESMORAMIENTO	136,9	14%
		AGRIETAMIENTO	48,2	5%
		ROTURA	246,1	25%
		SIN DETERIORO	546,5	56%
	III	DESMORAMIENTO	80,4	28%
		AGRIETAMIENTO	17,7	6%
		ROTURA	38,1	13%
		SIN DETERIORO	152,7	53%

Continuación de la tabla XXXIV.

<b>C.C</b>	II	DESMORAMIENTO	256,2	26%
		AGRIETAMIENTO	68,3	7%
		ROTURA	296,3	30%
		SIN DETERIORO	364,3	37%
	III	DESMORAMIENTO	71,2	25%
		AGRIETAMIENTO	10,3	4%
		ROTURA	37,2	13%
		SIN DETERIORO	171,9	59%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

## **2.5. Análisis de resultados**

A continuación se presentan los resultados finales obtenidos en gabinete a partir de los datos de los ensayos practicados en el laboratorio, así como la interpretación y la comparación con valores de referencia que establece la norma.

### **2.5.1. Análisis de resultados agregado grueso basalto**

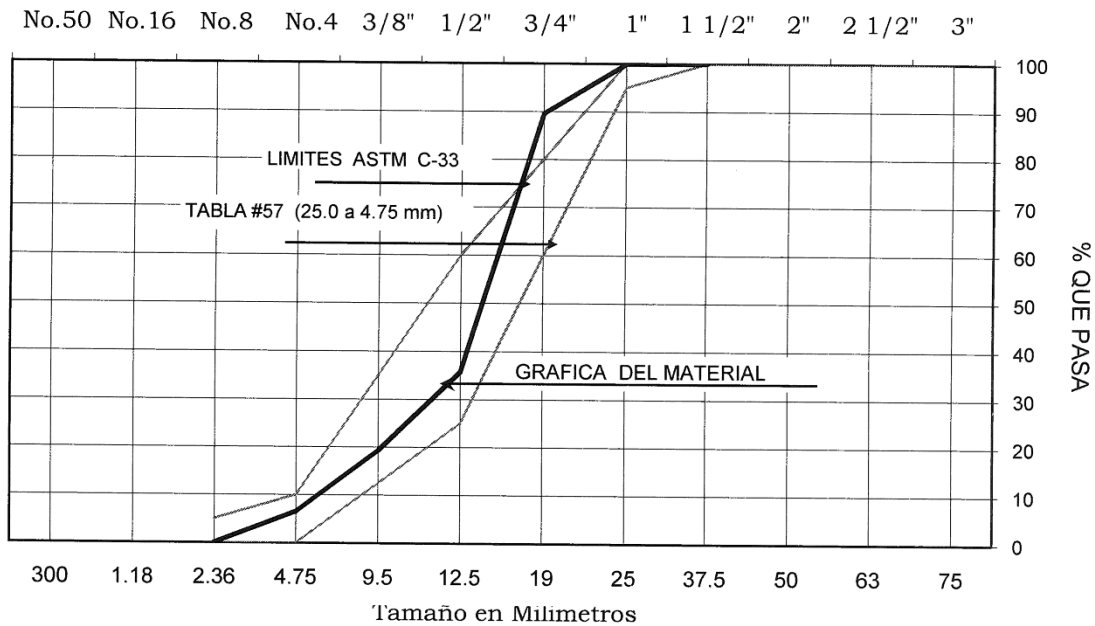
Las características físicas que se detallan son propias y exclusivas de este material, por lo que no se puede generalizar que estos sean aplicables a todos los agregados de origen basáltico. Se pueden tener como referencia de comparación.

#### **2.5.1.1. Granulometría Norma ASTM C-33**

La granulometría es la distribución de las partículas, que generalmente se expresa en términos de porcentajes acumulados. En la figura 29, se

encuentran tabulados los porcentajes que pasan en cada tamiz. Y representados en la curva granulométrica.

Figura 29. Informe de granulometría CII(basalto)



Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	100,00	99,85	89,55	35,63	19,32	6,53	0,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

La granulometría no cumple en los tamices 3/4 y 1 pulgada, estos muestran un alto porcentaje de retenidos con respecto a los otros tamices, mostrando una presencia mayor de esta graduación. Concluyendo que la muestra posee un porcentaje alto en gruesos, por lo que no se cumple la uniformidad en el material.

Tabla XXXV. **Características físicas del agregado (basalto)**

Peso Especifico	2,71
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1475,67
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1402,57
Porcentaje de Vacios	45,55
Porcentaje de Absorcion	1,21
% tamiz 200	1,60

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

#### **2.5.1.2. Peso específico Norma ASTM C-127**

Los valores de peso específico para agregado grueso en estado natural, se encuentran entre 2,4 y 2,9 para la muestra analizada se obtuvo un resultado de 2,71 encontrándose así dentro del rango permisible.

#### **2.5.1.3. Peso unitario Norma ASTM C-29**

Debido a que no existe una norma que especifique los rangos permisibles, un rango aceptable según especificaciones de la PCA, oscila entre 1 200 y 1 750 kilogramos por metro cúbico para un agregado liviano y normal respectivamente, mientras que el análisis de la muestra en estudio, indica que el peso unitario suelto es 1 402,57 y el peso unitario compactado es 1 475,67 kilogramos por metro cúbico, por lo que se clasifica como agregado liviano y no presenta demasiado vacíos, es un material consolidado. Ubicándose dentro del rango permisible.

#### **2.5.1.4. Porcentaje de vacíos Norma ASTM C-29**

Según el informe, está en un 45,55 por ciento, considerándose estar en el límite, ya que según especificaciones el porcentaje de vacíos de un agregado grueso varía de un 30 a un 45 por ciento, ya que con un porcentaje mayor de vacíos aumenta la demanda de agua y de cemento.

#### **2.5.1.5. Porcentaje de absorción Norma ASTM C-127**

El agregado grueso generalmente tiene niveles de absorción (contenido de humedad a superficie seca saturada) que varían del 0,2 a 4 por ciento, y el porcentaje de absorción del agregado fue 1,21 por ciento, por lo que se puede decir que es un material con poca absorción.

#### **2.5.1.6. Tamiz 200 Norma ASTM C-117**

El porcentaje de finos que pasa a través del tamiz fue de 1,60 por ciento, por lo que cumple con los requisitos de la norma que especifica que los valores máximos oscilan entre un 2 o 3 por ciento.

#### **2.5.1.7. Determinación de la estabilidad a la disgregación Norma ASTM C-88**

Para determinar la estabilidad a la disgregación, por la acción de una solución de sulfato de sodio con una densidad relativa no menor de 1,151 ni mayor de 1,174 en siete ciclos, se obtuvo los siguientes datos.

### 2.5.1.7.1. Análisis cuantitativo

Se puede establecer que el desgaste se mantiene con un aumento constante entre un rango de 1 a 2 veces hasta la cápsula C.5, luego se aprecia un decremento por lo que se puede decir, según los resultados obtenidos que el desgaste máximo obtenido es de 1,93 en el ciclo 5.

Tabla XXXVI. **Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula II (basalto)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.1	II	0,40	73,27	0,29
C.2	II	0,72	73,27	0,53
C.3	II	1,01	73,27	0,74
C.4	II	1,45	73,27	1,06
C.5	II	1,93	73,27	1,41
C.C.	II	2,04	73,27	1,49
C.6	II	1,56	73,27	1,14
C.7	II	1,52	73,27	1,11

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Normalmente en los laboratorio se trabajan 5 ciclos en base a esto, se observa que en C.5 el desgaste es de 2,43 por ciento y el desgaste es constante sin cambios significativos, con un aumento que se mantiene entre 1 a 2 veces para luego decrementarse con respecto a C.5

Tabla XXXVII. **Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula III (basalto)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.1	III	0,50	9,02	0,05
C.2	III	0,70	9,02	0,06
C.3	III	1,60	9,02	0,14
C.4	III	1,67	9,02	0,15
C.5	III	2,43	9,02	0,22
C.C.	III	1,80	9,02	0,16
C.6	III	1,93	9,02	0,17
C.7	III	2,80	9,02	0,25

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Teóricamente los resultados en cuanto a desgaste de las cápsulas C.5 y C.C., deberían ser muy parecidos en este caso se puede establecer un margen de diferencia del 6 por ciento para las cápsulas II y 37 por ciento para las cápsulas III. Esto debido a la manipulación y fatiga del agregado durante el proceso entre ciclo y ciclo.

Tabla XXXVIII. **Comparación del desgaste C.5 y C.C. (basalto)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.5	II	1,93	73,27	1,41
	III	2,43	9,02	0,22
C.C.	II	2,04	73,27	1,49
	III	1,80	9,02	0,16

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.



### 2.5.1.7.2. Análisis cualitativo

Se puede determinar con el tipo de deterioro la calidad del material, ya que las partículas sin deterioro representan un 60 por ciento en promedio y el deterioro máximo se ve en C.5.

Tabla XXXIX. **Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula II (basalto)**

IDENTIFICACIÓN		TIPO DE DETERIORO	PESOS INDIVIDUALES (gr)	%
C.1	II	DESMORAMIENTO	212,7	21%
C.2	II	DESMORAMIENTO	186	19%
C.3	II	DESMORAMIENTO	142,5	14%
C.4	II	DESMORAMIENTO	229,3	23%
C.5	II	DESMORAMIENTO	263	27%
C.C	II	DESMORAMIENTO	235,8	24%
C.1	II	ROTURA	184,1	18%
C.2	II	ROTURA	165,3	17%
C.3	II	ROTURA	176,6	18%
C.4	II	ROTURA	176,6	18%
C.5	II	ROTURA	188,2	19%
C.C	II	ROTURA	194,6	20%
C.1	II	SIN DETERIORO	601,2	60%
C.2	II	SIN DETERIORO	646,2	65%
C.3	II	SIN DETERIORO	672,4	68%
C.4	II	SIN DETERIORO	581,8	59%
C.5	II	SIN DETERIORO	529,8	54%
C.C	II	SIN DETERIORO	549,8	56%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

En este caso se observa que la rotura en la cápsula III es menor a la sufrida en la cápsula II y el porcentaje del material sin deterioro se sigue manteniendo y el deterioro máximo sigue en C.5

Tabla XL. **Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula III (basalto)**

IDENTIFICACIÓN		TIPO DE DETERIORO	PESOS INDIVIDUALES (gr)	%
C.1	III	DESMORAMIENTO	72,3	24%
C.2	III	DESMORAMIENTO	78,4	26%
C.3	III	DESMORAMIENTO	62,7	21%
C.4	III	DESMORAMIENTO	56,6	19%
C.5	III	DESMORAMIENTO	81,5	28%
C.C	III	DESMORAMIENTO	69,8	24%
C.1	III	ROTURA	23,5	8%
C.2	III	ROTURA	35,2	12%
C.3	III	ROTURA	23,9	8%
C.4	III	ROTURA	27	9%
C.5	III	ROTURA	64,6	22%
C.C	III	ROTURA	46,7	16%
C.1	III	SIN DETERIORO	203,7	68%
C.2	III	SIN DETERIORO	185	62%
C.3	III	SIN DETERIORO	209,6	71%
C.4	III	SIN DETERIORO	212	72%
C.5	III	SIN DETERIORO	147,3	50%
C.C	III	SIN DETERIORO	180	61%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

En este caso se puede establecer que se trata de un material con peso específico promedio, el peso unitario se encuentra en el mínimo y un porcentaje de absorción bajo, lo que indica que el material es bastante denso y poco poroso, por lo que posee una buena resistencia a la disgregación mecánica

Encontrándose los valores de desgaste por debajo de los límites de la Norma ASTM C-88, que establece un máximo del 12 por ciento, definiendo entonces un agregado de buena calidad al estar sometido a la acción de los agentes atmosféricos.

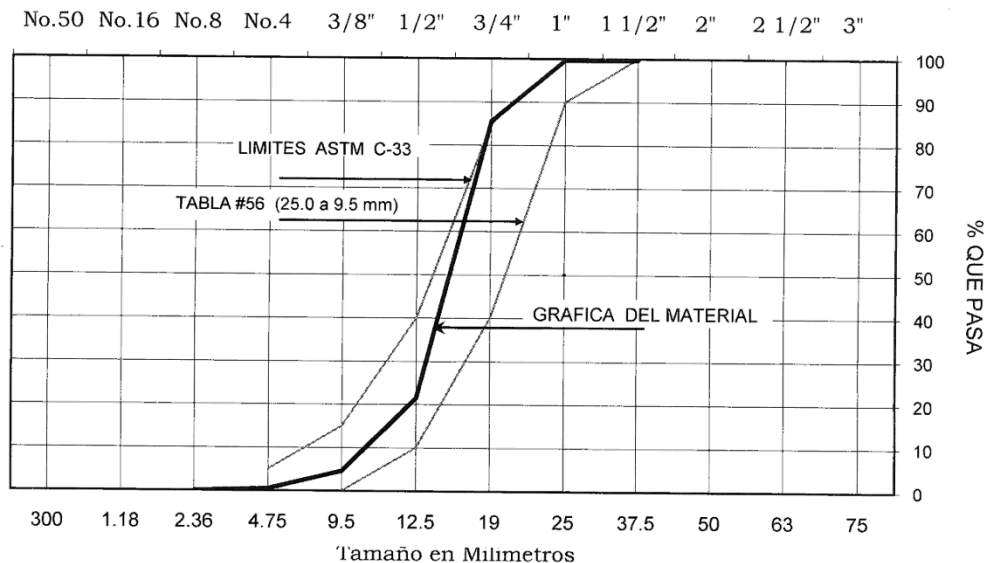
## 2.5.2. Análisis de resultados agregado grueso caliza

Las características físicas que se detallan, son propios y exclusivos de este material, por lo que no se puede generalizar que estos sean aplicables a todos los agregados de origen caliza.

### 2.5.2.1. Granulometría Norma ASTM C-33

La granulometría es la distribución de las partículas, que generalmente se expresa en términos de porcentajes acumulados. En la figura 30 se encuentran tabulados los porcentajes que pasan en cada tamiz. Y representados en la curva granulométrica.

Figura 30. Informe de granulometría CII(caliza)



Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	99,63	99,63	85,57	21,49	4,58	0,51	0,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Como puede observarse en la curva, la gráfica del material se encuentra dentro de los límites establecidos por la Norma ASTM C-33, lo cual indica que el material posee una adecuada graduación, y que la planta posee un buen control de calidad en el proceso de trituración. Debido a su buena graduación, se puede obtener un concreto con buena trabajabilidad, lo cual contribuye en obtener un concreto económico.

Tabla XLI. **Características físicas del agregado (caliza)**

Peso Especifico	2,68
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1548,14
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1484,57
Porcentaje de Vacios	42,22
Porcentaje de Absorcion	0,95
% Tamiz 200	1,00

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

### **2.5.2.2. Peso específico Norma ASTM C-127**

Los valores de peso específico para agregado grueso en estado natural se encuentran entre 2,4 y 2,9 para la muestra analizada obtuvimos un resultado de 2,68 encontrándose así dentro del rango permisible.

### **2.5.2.3. Peso unitario Norma ASTM C-29**

Debido a que no existe una norma que especifique los rangos permisibles, un rango aceptable según especificación de la PCA, oscila entre 1 200 y 1 750 kilogramos por metro cúbico para un agregado liviano y normal respectivamente, mientras que el análisis de la muestra en estudio indica que el

peso unitario suelto es 1 484,57 y el peso unitario compactado es 1548,14 kilogramos por metro cúbico, por lo que se clasifica como agregado liviano. Ubicándose dentro del rango permisible.

#### **2.5.2.4. Porcentaje de vacíos Norma ASTM C-29**

Según el informe está en un 42,22 por ciento, considerándose estar en el límite ya que según especificaciones el porcentaje de vacíos de un agregado grueso varía de un 30 a un 45 por ciento, ya que con un porcentaje mayor de vacíos aumenta la demanda de agua y de cemento.

#### **2.5.2.5. Porcentaje de absorción Norma ASTM C-127**

El agregado grueso generalmente tiene niveles de absorción (contenido de humedad a superficie seca saturada) que varían del 0,2 a 4 por ciento, y el porcentaje de absorción del agregado fue 0,95 por ciento, por lo que se puede decir que es un material con poca absorción.

#### **2.5.2.6. Tamiz 200 Norma ASTM C-117**

El porcentaje de finos que pasa a través del tamiz, fue de 1,00 por ciento por lo que cumple con los requisitos de la norma que especifica que los valores máximos oscilan entre un 2 o 3 por ciento.

### 2.5.2.7. Determinación de la estabilidad a la disgregación Norma ASTM C-88

Para determinar la estabilidad a la disgregación, por la acción de una solución de sulfato de sodio con una densidad relativa no menor de 1,151 ni mayor de 1,174 en siete ciclos, se obtuvo los siguientes datos.

#### 2.5.2.7.1. Análisis cuantitativo

Hasta la cápsula C.3 el deterioro obtenido es el doble, luego para C.4 el aumento es de 4,6 veces, luego se estabiliza con aumentos proporcionales respecto al obtenido de C.4 a C.5.

Tabla XLII. Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula II (caliza)

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.1	II	0,10	80,99	0,08
C.2	II	0,21	80,99	0,17
C.3	II	0,28	80,99	0,23
C.4	II	1,29	80,99	1,04
C.5	II	2,23	80,99	1,81
C.C.	II	1,45	80,99	1,17
C.6	II	5,60	80,99	4,53
C.7	II	6,54	80,99	5,30

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

En el caso del agregado en la cápsula III, el desgaste máximo se encuentra en C.5 siendo 2 veces el aumento constante hasta C.6, para luego decrementarse en C.7

Hasta C.5 el desgaste es proporcional, ya C.6 representa un cambio significativo en cuanto a desgaste se refiere. Por lo que se confirman los 5 ciclos en los ensayos de disgregación por sulfatos.

Tabla XLIII. **Resumen del desgaste por ciclo para la cápsula III (caliza)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.1	III	0,20	4,07	0,01
C.2	III	0,60	4,07	0,02
C.3	III	1,30	4,07	0,05
C.4	III	1,97	4,07	0,08
C.5	III	3,47	4,07	0,14
C.C.	III	3,23	4,07	0,13
C.6	III	8,70	4,07	0,35
C.7	III	7,33	4,07	0,30

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

El desgaste entre ambas cápsulas deberían ser muy similares, en este caso se dieron los siguientes resultados:

Para las cápsulas II, la variación se encuentra en más o menos un margen de diferencia del 65 por ciento, siendo estos valores muy representativos. Para las cápsulas III, la variación fue mínima y estuvo alrededor de un 7 por ciento, esta diferencia es aceptable y no es significativa.

Tabla XLIV. **Comparación del desgaste C.5 y C.C. (caliza)**

IDENTIFICACIÓN		% DESGASTE	PESO RETENIDO	DESGASTE REFERIDO A GRADUACIÓN
C.5	II	2,23	80,99	1,81
	III	3,47	4,07	0,14
C.C.	II	1,45	80,99	1,17
	III	3,23	4,07	0,13

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

#### 2.5.2.7.2. Análisis cualitativo

El sulfato hasta C.5 no ha desgastado totalmente el material ya que se aprecian partículas que no han sido afectadas por la solución, siendo estas en promedio 47 por ciento. Los deterioros significativos fueron: el desmoramiento de partículas con un promedio de 22 por ciento y la rotura con 25 por ciento. El agrietamiento fue de 7 por ciento, el deterioro lógico se establece en C.4

Tabla XLV. **Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula II (caliza)**

IDENTIFICACIÓN		TIPO DE DETERIORO	PESOS INDIVIDUALES (gr)	%
C.1	II	AGRIETAMIENTO	83,1	8%
C.2	II	AGRIETAMIENTO	91,5	9%
C.3	II	AGRIETAMIENTO	56,6	6%
C.4	II	AGRIETAMIENTO	63,9	6%
C.5	II	AGRIETAMIENTO	48,2	5%
C.C	II	AGRIETAMIENTO	68,3	7%



Continuación de la tabla XLV.

<b>C.1</b>	II	DESMORAMIENTO	321,5	32%
<b>C.2</b>	II	DESMORAMIENTO	197,4	20%
<b>C.3</b>	II	DESMORAMIENTO	158,9	16%
<b>C.4</b>	II	DESMORAMIENTO	207,4	21%
<b>C.5</b>	II	DESMORAMIENTO	136,9	14%
<b>C.C</b>	II	DESMORAMIENTO	256,2	26%

<b>C.1</b>	II	ROTURA	230,3	23%
<b>C.2</b>	II	ROTURA	277,6	28%
<b>C.3</b>	II	ROTURA	170,4	17%
<b>C.4</b>	II	ROTURA	242,9	25%
<b>C.5</b>	II	ROTURA	246,1	25%
<b>C.C</b>	II	ROTURA	296,3	30%

<b>C.1</b>	II	SIN DETERIORO	365,4	37%
<b>C.2</b>	II	SIN DETERIORO	433,2	43%
<b>C.3</b>	II	SIN DETERIORO	610,9	61%
<b>C.4</b>	II	SIN DETERIORO	473,9	48%
<b>C.5</b>	II	SIN DETERIORO	546,5	56%
<b>C.C</b>	II	SIN DETERIORO	364,3	37%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

El sulfato hasta C.5 no ha desgastado totalmente el material, ya que se aprecian partículas que no han sido afectadas por la solución siendo estas en promedio 46 por ciento. Los deterioros significativos fueron: el desmoramiento de partículas con un promedio de 27 por ciento y la rotura con 19 por ciento. El agrietamiento fue de 8 por ciento.

Siguiendo lo establecido anteriormente se ve que el deterioro se encuentra en C.4

Tabla XLVI. **Resumen del tipo de deterioro por ciclo cápsula III (caliza)**

IDENTIFICACIÓN		TIPO DE DETERIORO	PESOS INDIVIDUALES (gr)	%
C.1	III	AGRIETAMIENTO	9,6	3%
C.2	III	AGRIETAMIENTO	41,8	14%
C.3	III	AGRIETAMIENTO	26	9%
C.4	III	AGRIETAMIENTO	27,5	9%
C.5	III	AGRIETAMIENTO	17,7	6%
C.C	III	AGRIETAMIENTO	10,3	4%
C.1	III	DESMORAMIENTO	73,1	24%
C.2	III	DESMORAMIENTO	99,3	33%
C.3	III	DESMORAMIENTO	65,6	22%
C.4	III	DESMORAMIENTO	93,5	32%
C.5	III	DESMORAMIENTO	80,4	28%
C.C	III	DESMORAMIENTO	71,2	25%
C.1	III	ROTURA	70,8	24%
C.2	III	ROTURA	95,2	32%
C.3	III	ROTURA	58,6	20%
C.4	III	ROTURA	45,4	15%
C.5	III	ROTURA	38,1	13%
C.C	III	ROTURA	37,2	13%
C.1	III	SIN DETERIORO	146,3	49%
C.2	III	SIN DETERIORO	61,9	21%
C.3	III	SIN DETERIORO	146,2	49%
C.4	III	SIN DETERIORO	129,4	44%
C.5	III	SIN DETERIORO	152,7	53%
C.C	III	SIN DETERIORO	171,9	59%

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

En este caso puede observarse que se trata de un material con peso específico promedio, el peso unitario se encuentra arriba del mínimo y un porcentaje de absorción bajo, lo que indica que el material es bastante denso y poco poroso, por lo que posee una buena resistencia a la disgregación mecánica.

Encontrándose los valores de desgaste dentro de los límites de la Norma ASTM C-88, que establece un máximo del 12 por ciento, definiendo entonces un agregado de buena calidad al estar sometido a la acción de los agentes atmosféricos.

En general, los resultados de las propiedades y características obtenidos de los ensayos del agregado grueso para ambos materiales, se encuentran dentro de las especificaciones de la norma, y se consideran satisfactorios, por lo que se concluye que el agregado grueso en cuestión es adecuado y aceptable para su uso en la elaboración de mezclas de concreto.



## CONCLUSIONES

1. En la práctica se realizan 5 ciclos de ensayos, porque es en este ciclo donde se presenta el desgaste máximo, y sobre todo dentro del límite máximo establecido en la Norma ASTM C-88, mientras el resto de los ciclos han tenido un comportamiento inestable y variado, debido a la manipulación y fatiga del agregado al estar sumergido en la solución de sulfato de sodio. Siendo los valores de desgaste máximos para el basalto 1,93 y 2,43 y para la caliza 2.23 y 3.47, en ambos casos para las cápsulas II y III.

2. El tipo de disgregación principal que ocasiona la concentración de la solución de sulfato de sodio establecida en la norma para el agregado grueso, es el desmoramiento y sus valores máximos fueron: para el basalto 21,40 y 23,67 por ciento, para la caliza 21,47 y 27,29 por ciento.

Este análisis depende de los criterios de clasificación del laboratorista, ya que la valuación del agregado consiste en observar y decidir qué tipo de disgregación tuvo el agregado.

3. La cápsula C.C., presenta valores más bajos de desgaste que la cápsula C.5, la diferencia entre ambos a pesar de llevar el mismo tiempo de ensayo se debe a que los agregados de las cápsulas C.5 han sido manipulados con más frecuencia y la solución de sulfato de sodio se utiliza en 4 cápsulas más.

4. De acuerdo a la concentración de sulfato en los suelos, así serán afectadas las estructuras de concreto, pues serán severamente afectadas provocando disgregación y pérdida de adherencia entre las partículas de agregados que la componen.
  
5. Según los resultados de los ensayos se puede establecer que el agregado de origen calizo es más poroso que el agregado de origen basáltico, por lo que este material presenta más disgregación.

## RECOMENDACIONES

1. Las empresas constructoras, ingenieros y personas particulares que estén interesadas en la construcción de cualquier elemento estructural de concreto, deben realizar el ensayo de la determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio, para conocer el porcentaje de disgregación del agregado.
2. El propietario o las empresas constructoras deben realizar el estudio de suelos para determinar el porcentaje de sulfato de sodio existente en la localidad. Para obtener un parámetro de comparación, y se pueda establecer en caso de ser necesario el método adecuado para el tratamiento de los suelos.
3. Los laboratorios que realicen este tipo de ensayo, así como las empresas constructoras, deberán crear un historial donde se guarden los datos de futuros ensayos para tener parámetros de consulta y comparación, y con esto tomar la decisión del número de ciclos a realizar en el agregado.





## BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials, ASTM C-117. *Determinación del material más fino que pasa el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado con agua.* Estados Unidos: ASTM, 2008. 6 p.
2. Comisión Guatemalteca de Normas. NTG 41007 (ASTM C-33). *Agregados para concreto. Especificaciones.* Guatemala: COGUANOR, 2010. 24 p.
3. \_\_\_\_\_ NTG 41010 h2 (ASTM C-29). *Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.* Guatemala: COGUANOR, 2010. 12 p.
4. \_\_\_\_\_ NTG 41010 h6 (ASTM C-88). *Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio.* Guatemala: COGUANOR, 2011. 15 p.
5. \_\_\_\_\_ NTG 41010 h8 (ASTM C-127). *Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado grueso.* Guatemala: COGUANOR, 2011. 17 p.
6. HUANG Walter T. *Petrología.* México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1968. 546 p.
7. KOSMATKA, Steven H; et al. *Diseño y control de mezclas de concreto.* Estados Unidos: Portland Cement Association, 2004. 459 p.

8. SIMMONS Charles S.; et al. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Educación Pública José Pineda Ibarra, 1958. 987 p.

## ANEXOS

A continuación se presentan fotografías de la disgregación en el agregado grueso para los diferentes ciclos practicados después de aplicar las condiciones establecidas en la Norma ASTM C-88. Se presenta agregado de origen basáltico y calizo respectivamente.

Figura 31. **Disgregación de C.1, 18 horas de inmersión en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 32. **Disgregación de C.2, 36 horas de inmersión en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 33. **Disgregación de C.2, 36 horas de inmersión en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 34. **Disgregación de C.4, 72 horas de inmersión en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 35. **Disgregación de C.5, 90 horas de inmersión en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.

Figura 36. **Disgregación de C.C, 90 horas de inmersión en sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. CII/USAC.



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

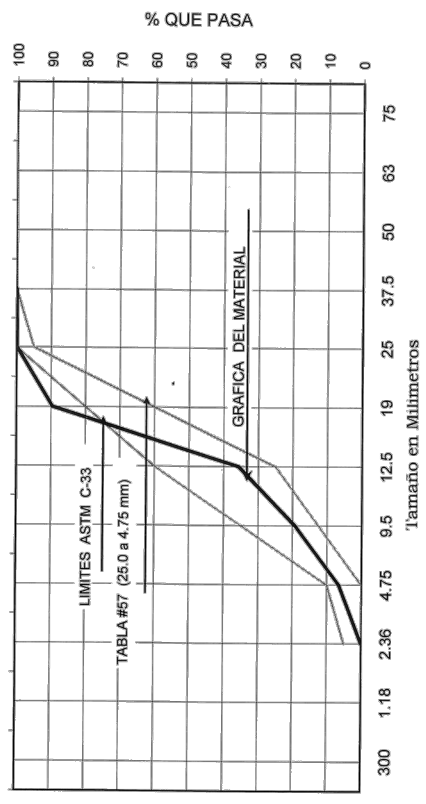
**AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO**

<b>INFORME No.</b>	<b>PROYECTO:</b>
S.C. - 414	Trabajo de graduación: "determinación de la Estabilidad a la Disgregación de los Agregados según la Norma ASTM C-88, en cada ciclo de proceso"
<b>MUESTRA:</b>	<b>O.T. No.</b>
Agregado Grueso	31324
<b>FECHA:</b>	<b>LABORATORIO:</b>
06/06/2013	Agregados, Concretos y Morteros

**INTERESADO:**  
Julio Rolando García, Carné No. 2000-11648

**CARACTERISTICAS FISICAS:**

Peso Especifico	2,71
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1475,67
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1402,57
Porcentaje de Vacios	45,55
Porcentaje de Absorción	1,21
% tamiz 200	1,60
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
% Desgaste por Abrasión	-----
% Partículas Planas y alargadas	-----



**OBSERVACIONES:**  
a) Muestra proporcionada por el Interesado  
b) Procedencia del agregado: San Miguel Petapa.

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	100,00	99,85	89,55	35,63	19,32	6,53	0,00

Vo.Bo.  
Inga. Teima Manicela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilia Yanez Mejicanos  
 Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros  
 CII/USAC



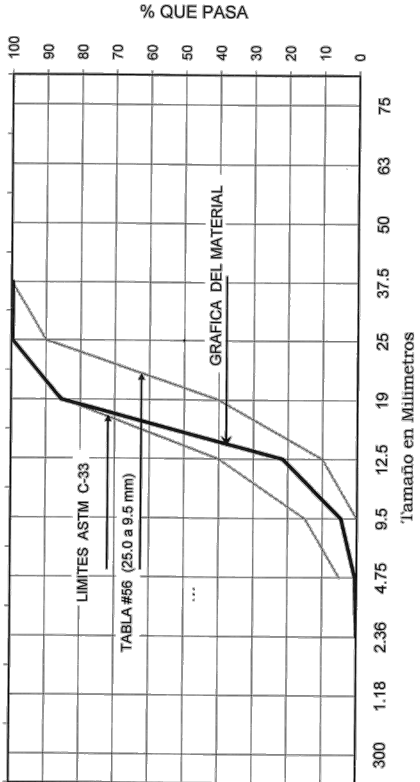
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA**

**AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO**

<b>INTERESADO:</b> Julio Rolando García, Camé No. 2000-11648	<b>INFORME No.</b> S.C. - 413	<b>PROYECTO:</b> Trabajo de graduación: "determinación de la Estabilidad a la Disgregación de los Agregados según la Norma ASTM C - 88, en cada ciclo de proceso"
<b>Muestra:</b> Agregado Grueso	<b>Fecha:</b> 06/06/2013	<b>O.T. No.</b> 31324
<b>Lab.</b> Agregados, Concretos y Morteros		

**CARACTERISTICAS FISICAS:**

Peso Especifico	2,68
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1548,14
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1484,57
Porcentaje de Vacios	42,22
Porcentaje de Absorcion	0,95
% Tamiz 200	1,00
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
% Desgaste por Abrasion	-----
% Particulas Planas y alargadas	-----
% Particulas Livianas	-----



Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	99,63	99,63	85,57	21,49	4,58	0,51	0,00

**OBSERVACIONES:**  
a) Muestra proporcionada por el interesado.  
b) Procedencia: Zona 6.



Vo.Bo.

Inga. Telma Maripela Cado, Morales  
Directora CI/USAC

*[Signature]*  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

E.R.





**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

HOJA No. 1/3

INFORME No. SC - 379

O.T. No. 31325



**INTERESADO:** Julio Rolando García, Carné No. 2000-11648  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Determinación de la Estabilidad a la Disgregación de los Agregados según la Norma ASTM C-88, en cada ciclo de Proceso"  
**DIRECCIÓN:** Manzana 4 Lote 25 Villas del Quetzal, Ciudad Quetzal  
**FECHA:** 27 de mayo de 2013

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	0.37	-----	-----	-----	0.00
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	1.45	0.20
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.10	985.60	1.45	1.17
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.00	290.30	3.23	0.13
	Fondo	0.51	-----	-----	-----	-----
TOTALES		100.00	1300.10	1275.90	-----	1.51

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Muestra: **Agregado Grueso**
- c) Banco de procedencia: **zona 6**

ATENTAMENTE,

  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Directora a.i. CII/USAC  


EMG



**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

HOJA No. 2/3

INFORME No. SC - 379

O.T. No. 31325

**INTERESADO:** Julio Rolando García, Carné No. 2000-11648  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Determinación de la Estabilidad a la Disgregación de los Agregados según la Norma ASTM C-88, en cada ciclo de Proceso"  
**DIRECCIÓN:** Manzana 4 Lote 25 Villas del Quetzal, Ciudad Quetzal  
**FECHA:** 27 de mayo de 2013

**CICLO A 1 DIA**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	0.10	0.01
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.10	999.10	0.10	0.08
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.10	299.50	0.20	0.01
TOTALES		99.13	1300.20	1298.60	-----	0.10

**CICLO A 2 DÍAS**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	0.21	0.03
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.30	998.20	0.21	0.17
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.10	298.30	0.60	0.02
TOTALES		99.13	1300.40	1296.50	-----	0.22

**CICLO A 3 DÍAS**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	0.28	0.04
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.10	997.30	0.28	0.23
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.10	296.20	1.30	0.05
TOTALES		99.13	1300.20	1293.50	-----	0.32



**CICLO A 4 DÍAS**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	1.29	0.18
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.00	987.10	1.29	1.04
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.10	294.20	1.97	0.08
TOTALES		99.13	1300.10	1281.30	-----	1.31

**CICLO A 5 DÍAS**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	2.23	0.31
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.10	977.80	2.23	1.81
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.10	289.70	3.47	0.14
TOTALES		99.13	1300.20	1267.50	-----	2.26

**CICLO A 6 DÍAS**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	5.60	0.79
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.60	944.60	5.60	4.53
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.00	273.90	8.70	0.35
TOTALES		99.13	1300.60	1218.50	-----	5.67


**CICLO A 7 DÍAS**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	14.06	0.00	0.00	6.54	0.92
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	81.00	1000.80	935.30	6.54	5.30
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	4.07	300.00	278.00	7.33	0.30
TOTALES		99.13	1300.80	1213.30	-----	6.52

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra: **Agregado Grueso**
- b) Banco de procedencia: **zona 5**

ATENTAMENTE,

  
Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Directora a.i. CII/USAC

EMG



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



**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

HOJA No. 1/3

INFORME No. S.C. - 452

O.T. No. 31327


**INTERESADO:** Julio Rolando García, Carné No.2000-11648  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Determinación de la Estabilidad a la Disgregación de los Agregados según la norma ASTM C-88, en cada ciclo de proceso".  
**DIRECCION:** Manzana 4 Lote 25 villas del Quetzal, Ciudad Quetzal.  
**FECHA:** 18 de junio del 2013.

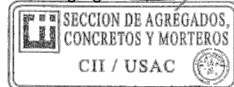
PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	-----	-----	2.04	0.22
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.00	979.60	2.04	1.49
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.20	294.80	1.80	0.16
	Fondo	6.81	-----	-----	1.80	0.12
TOTALES		100.00	-----	-----	-----	2.00

**OBSERVACIONES:**

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Solución utilizada: Sulfato de Sodio.
- Muestra de material de San Miguel Petapa.

ATENTAMENTE,

  
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de agregados, concretos y morteros



Vo.Bo.

  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC

C.V.



**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA DE AGREGADOS  
POR ATAQUE DE SULFATO DE SODIO  
NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

HOJA No. 2/3  
INFORME No. S.C - 452

O.T. No. 31327

**INTERESADO:** Julio Rolando García, Carné No. 2000-11648  
**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Determinación de la Estabilidad a la Disgregación de los Agregados según la Norma ASTM C-88, en cada ciclo de Proceso"  
**DIRECCIÓN:** Manzana 4 Lote 25 Villas del Quetzal, Ciudad Quetzal  
**FECHA:** 27 de mayo de 2013

**CICLO A 1 DÍA**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	0.40	0.04
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.60	996.60	0.40	0.29
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.30	298.80	0.50	0.05
TOTALES		93.19	1300.90	1295.40	-----	0.38

**CICLO A 2 DÍAS**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	0.72	0.08
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.50	993.30	0.72	0.53
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.00	297.90	0.70	0.06
TOTALES		93.19	1300.50	1291.20	-----	0.67

**CICLO A 3 DÍAS**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	1.01	0.11
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.10	990.00	1.01	0.74
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.00	295.20	1.60	0.14
TOTALES		93.19	1300.10	1285.20	-----	0.99



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



HOJA No. 3/3

**CICLO A 4 DÍAS**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	1.45	0.16
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.40	985.90	1.45	1.06
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.10	295.10	1.67	0.15
TOTALES		93.19	1300.50	1281.00	-----	1.37

**CICLO A 5 DÍAS**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	1.93	0.21
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.50	981.20	1.93	1.41
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.20	292.90	2.43	0.22
TOTALES		93.19	1300.70	1274.10	-----	1.84

**CICLO A 6 DÍAS**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	1.56	0.17
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.20	984.60	1.56	1.14
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.20	294.40	1.93	0.17
TOTALES		93.19	1300.40	1279.00	-----	1.49

**CICLO A 7 DÍAS**

PASA	TAMANOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	10.90	0.00	0.00	1.52	0.17
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	73.27	1000.90	985.70	1.52	1.11
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	9.02	300.00	291.60	2.80	0.25
TOTALES		93.19	1300.90	1277.30	-----	1.53

**OBSERVACIONES**

- a) Muestra: **Agregado Grueso.**
- b) Muestra de material de San Miguel Petapa.

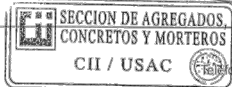
ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de agregados, concretos y morteros

Vo.Bo.

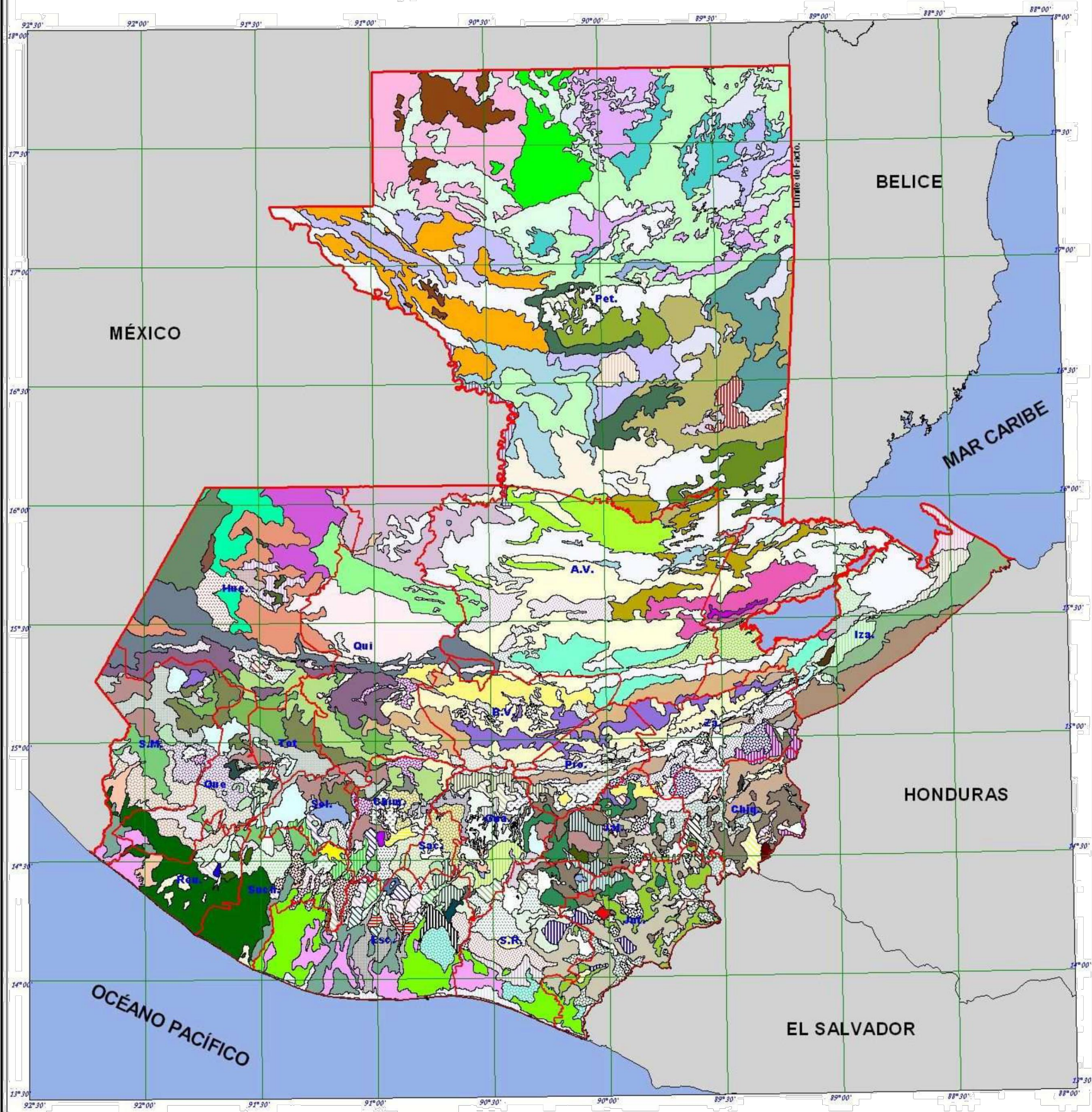
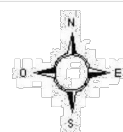
  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC

C.V.



No.8

# Mapa de Clasificación de Reconocimiento de los Suelos República de Guatemala



Ab - Altombrán	Cc - Comapa	Cha - Chacalté	Ga - Gacho	LV - Lava Volcánica	Pe - Petexbatún	SA - Suelos Aluviales	Sui - Suchitán	Ua - Uaxactún
Ac - Acaaguastlán	Ce - Cunén	Chc - Chacón	Gc - Guacalate	Ma - Macanché	Pi - Pinula	Sae - Sacapulas	SV - Suelos de los Valles	Us - Usumacinta
Ae - Alzatate	Cg - Cuyotenango	Chg - Chol	Gi - Guapinol	Mc - Machicalá	Pn - Panán	Fase Erosionada	Sx - Suchitepéquez	Xa - Xayá
AF - Areas Fragosas	Ci - Cijijá	Chh - Chachaclún	Gn - Guatalón	Mg - Mongoy	Po - Poaquil	Sb - Sebol	Sz - Sotz	Ya - Yaloch
Ah - Achiguate	Cj - Colojate	Chi - Chipó	Gp - Guapaca	Mi - Mita	Pp - Papaturro	Sc - Sacul	Ta - Tahuainí	Ye - Yepocapa
Al - Alotenango	Ck - Camatul	Chj - Chical	Gt - Guatemala	Mj - Marajuma	Pt - Patzicá	Se - Secala	Tc - Tecpán	Yx - Yaxá
Am - Amayo	Cm - Camanchá	Chl - Chapayal	Gtp - Guatemala	Mn - Manabique	Pu - Poptun	Sh - Sebach	Te - Telemán	Za - Zacapa
AM - Arena	Cmē - Camanchá	Chm - Champerico	Gtq - Guatemala	Mo - Moca	Px - Paxinamá	Si - Sinanché	Ti - Tiquisate Franco	Zc - Zacapala
Playa de Mar	Fase Erosionada	Chn - Chiantulá	Fase Pendiente	Mp - Mopán	Qa - Patzité	Sl - Salamá	Tj - Ticojate	Zr - Zarzal
An - Acatán	Co - Coatán	Cho - Chocla	Fase Quebrada	Mq - Mataquescuintla	Qe - Quetzaltenango	Siq - Salamá	Tl - Toltecalte	
As - Ansay	Cp - Capucal	Chp - Champana	Gú - Gúija	Mt - Morán	Qg - Quetzaltenango	Sm - Samayac	Tm - Tamahú	
At - Atitlán	Cq - Cauqué	Chq - Chocop	lb - Ixbobó	My - Moyuta	Qq - Quetzaltenango	So - Sotoma	Tn - Tolimán	
AU - Atulapa	Cr - Carchá	Chr - Chuarrancho	lc - Ixcanac	Mz - Mazatenango	Qr - Quirigua	Sr - Sarstún	Tp - Totonicapán	
Ay - Ayarza	Cs - Copalchí	Chú - Chuctal	In - Inca	Ne - Nentón	Qs - Quiché	Ss - Sansare	Tq - Toquía	
Ba - Balanjuyú	Ct - Cristina	Chv - Chuvá	It - Ixtán Franco Limoso	Og - Oquén	Ql - Quiché	Sr - Sarstún	Tr - Torolita	
Bb - Barberena	Cu - Cullapa	Chx - Chixocól	Ix - Ixtán Arcilla	Os - Ostuncalcó	Qm - Quiché	St - Setal	Ts - Tiquisate Franco	
Bol - Bolón	Cul - Culma	Chy - Chixoy	Ja - Jacaltenango	Pa - Pacaya	Qn - Quiché	Su - Semuc	Tx - Taxisco	
Bu - Bucul	Cv - Cimas Volcánicas	Ex - Eckxil	Jg - Jigua	Pc - Polochic	Qo - Quiché	Sub - Subinal	Tz - Tzejá	
Ca - Calanté	Cx - Cuxú	Es - Escuintla	Jl - Jilotepeque		Qp - Quiché	Suc - Suchachín		
Cb - Cobán	Cy - Coyolate	Fr - Fraijanes	Jl - Jalapa		Qq - Quiché			
	Cz - Cutzán		Jo - Joljá		Qr - Quirigua			
			Ju - Jubuco		Qt - Quixán			

Escala: 1 : 2,000,000  
0 50 100 Kilómetros

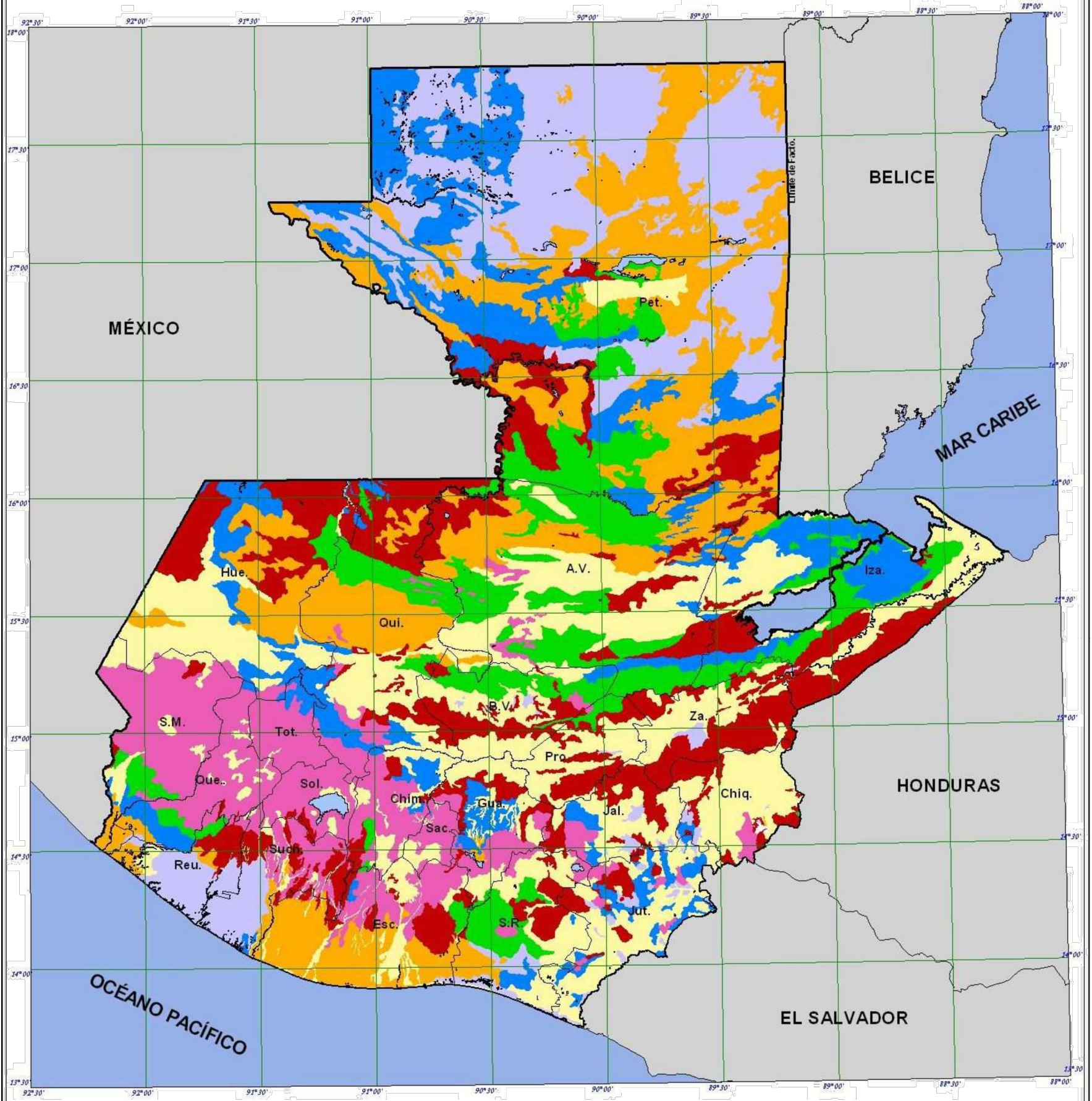
Proyección del mapa digital: UTM, zona 15, DATUM NAD 27  
Proyección del mapa impreso: Coordenadas Geográficas, Esferoide de Clarke 1866.

Fuente: Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información CATIE, con base en el mapa de Simmons, Tarano y Pirto, 1959. Corregido Cartográficamente mediante consultorías por la Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE), MAGA y el Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFO), Proyecto PAFO-GCP/IDU.006/NET y el Instituto Nacional de Bosques (INAB). El presente mapa ha sido realizado sobre la base cartográfica a escala 1:250,000, propiedad del Instituto Geográfico Nacional.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).  
Programa de Emergencia por Desastres Naturales (PEDN).  
Laboratorio de Información Geográfica.  
Guatemala, Octubre de 2,002.



# Mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos Primera Aproximación República de Guatemala



**Legenda:**

**Ordenes taxonómicos**

Alfisoles	Mollisoles
Andisoles	Ultisoles
Entisoles	Vertisoles
Inceptisoles	

Limite Departamental  
 Cuerpos de Agua

Orden	Area (km <sup>2</sup> )	Area (%)
Alfisoles	12,920.29	11.87
Andisoles	10,939.36	10.05
Entisoles	21,790.40	20.01
Inceptisoles	16,343.63	15.01
Mollisoles	19,848.84	18.23
Ultisoles	10,608.60	9.74
Vertisoles	16,113.66	14.80
Agua	324.23	0.30
<b>Total</b>	<b>108,889.00</b>	<b>100.00</b>

Escala 1:2,000,000  
 50 0 50 100 Kilómetros

Proyección del mapa digital: UTM, zona 15, DATUM NAD 27.  
 Proyección del mapa impreso: Coordenadas Geográficas, Esferoide de Clarke 1866.

Fuente: Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información CATIE, con base en el mapa de Simmons, C. y otros, 1959. Elaborado mediante consultoría por la Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE), MAGA y el Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG), Proyecto FAO-GP/GUA/005/NET y el Instituto Nacional de Bosques (INAB). El presente mapa ha sido realizado sobre la base cartográfica a escala 1:250,000, propiedad del Instituto Geográfico Nacional.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).  
 Programa de Emergencia por Desastres Naturales (PEDN).  
 Laboratorio de Información Geográfica.  
 Guatemala, Octubre de 2,002.

