



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

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO
CON ROCAS ÍGNEAS DE TEXTURA VÍTREA COMO AGREGADOS**

Pablo César Hernández Lemus

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO
CON ROCAS ÍGNEAS DE TEXTURA VÍTREA COMO AGREGADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PABLO CÉSAR HERNÁNDEZ LEMUS

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO CON ROCAS ÍGNEAS DE TEXTURA VÍTREA COMO AGREGADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería civil, con fecha 17 de septiembre de 2012.

Pablo César Hernández Lemus

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Gracias por darme vida y bendecirme en cada momento para alcanzar esta importante meta.
Mi padre	Porfirio Hernández Chiroy (q.e.p.d.)
Mi madre	Telma Yolanda Lemus, porque tu amor y ejemplo, han sido mi mayor motivación.
Mis abuelos	Rosalino Hernández (q.e.p.d.), María Chiroy (q.e.p.d.), Leonarda Hernández (q.e.p.d.) y Alejandro Lemus.
Mis hermanos	Lucía, Claudia y José Alfredo Hernández Lemus, por darme apoyo, confianza y comprensión.
Mis tíos	Por todo su ejemplo, han formado parte importante en mi vida.
Mis sobrinos	Por alegrar mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Guatemala	Por permitirme nacer en tan hermoso país.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme formar parte de tan importante casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante fuente de conocimiento e inspiración.
Mi asesora y amiga	Inga. Dilma Mejicanos, por apoyarme y siempre creer en mí, para la realización de este trabajo.
Centro de Investigación de Ingeniería (CII)	En especial a las personas que brindaron su ayuda para realizar este trabajo.
Los ingenieros de la facultad	Por compartir todo su conocimiento para hacer buenos profesionales en Guatemala.
Amigos de la facultad	Por todas la experiencias dejadas en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Materiales pétreos naturales utilizados para la construcción.....	1
1.1.1. Clasificación de las rocas en Guatemala.....	4
1.1.2. Características físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de las rocas (obsidiana y piritita).....	10
1.2. Tipos de agregados en Guatemala	11
1.2.1. Agregados volcánicos (ígneos).....	14
1.2.2. Agregados metamórficos	15
1.2.3. Agregados sedimentarios	17
1.3. Agregados para concreto	21
1.3.1. Clasificación según su origen	22
1.3.2. Clasificación según su naturaleza	23
1.3.3. Clasificación según su granulometría	24
1.3.4. Propiedades de los agregados para concreto	27
1.4. Zonificación de posibles bancos de material en la ciudad	29
2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS VÍTREOS PARA ELABORACIÓN DE CONCRETO	33

2.1.	Obsidiana como agregado grueso	36
2.1.1.	Propiedades mecánicas	36
2.1.2.	Características químicas	37
2.1.3.	Características físicas	37
2.1.4.	Características petrográficas.....	38
2.2.	Pirita como agregado fino	40
2.2.1.	Propiedades mecánicas	41
2.2.2.	Características químicas	41
2.2.3.	Características físicas	42
2.2.4.	Características petrográficas.....	43
3.	CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, MECÁNICA Y PETROGRÁFICA DE LOS AGREGADOS.....	45
3.1.	Análisis completo de la obsidiana	46
3.1.1.	Granulometría	46
3.1.2.	Peso unitario	48
3.1.3.	Prueba de desgaste y abrasión.....	48
3.1.4.	Peso específico y absorción.....	50
3.1.5.	Determinación de impurezas.....	51
3.1.6.	Porcentaje que pasa por el tamiz número 200	52
3.1.7.	Determinación de reactividad potencial.....	53
3.1.8.	Determinación petrográfica	53
3.1.9.	Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio	55
3.2.	Análisis completo de la pirita	55
3.2.1.	Granulometría	56
3.2.2.	Peso unitario	57
3.2.3.	Prueba de desgaste y abrasión.....	58
3.2.4.	Peso específico y absorción.....	58

3.2.5.	Determinación de impurezas	60
3.2.6.	Porcentaje que pasa por el tamiz número 200	60
3.2.7.	Determinación de reactividad potencial	61
3.2.8.	Determinación petrográfica.....	62
3.2.9.	Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio	63
3.3.	Análisis completo de agregado grueso de origen pétreo.....	64
3.3.1.	Granulometría.....	65
3.3.2.	Peso unitario.....	66
3.3.3.	Prueba de desgaste y abrasión	67
3.3.4.	Peso específico y absorción	68
3.3.5.	Determinación de impurezas	69
3.3.6.	Porcentaje que pasa por el tamiz número 200	69
3.3.7.	Determinación de reactividad potencial	70
3.3.8.	Determinación petrográfica.....	71
3.3.9.	Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio	72
3.4.	Análisis completo de la arena caliza.....	73
3.4.1.	Granulometría.....	73
3.4.2.	Peso unitario.....	74
3.4.3.	Prueba de desgaste y abrasión	75
3.4.4.	Peso específico y absorción	75
3.4.5.	Determinación de impurezas	76
3.4.6.	Porcentaje que pasa por el tamiz número 200	77
3.4.7.	Determinación de reactividad potencial	78
3.4.8.	Determinación petrográfica.....	79
3.4.9.	Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio	79

3.5.	Análisis comparativo de las características de los agregados.	80
4.	DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	83
4.1.	Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con obsidiana + piritita	85
4.2.	Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con obsidiana + arena.....	88
4.3.	Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con caliza + piritita	90
4.4.	Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con caliza + arena.....	92
5.	DISEÑO PRÁCTICO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	97
5.1.	Diseño de mezcla de concreto obsidiana + piritita	97
5.1.1.	Ensayo de cilindros a compresión.....	104
5.1.2.	Ensayo de vigas a flexión.....	105
5.1.3.	Ensayo de velocidad de fraguado	107
5.2.	Diseño de mezcla de concreto obsidiana + arena caliza	109
5.2.1.	Ensayo de cilindros a compresión.....	112
5.2.2.	Ensayo de vigas a flexión.....	114
5.2.3.	Ensayo de velocidad de fraguado	114
5.3.	Diseño de mezcla de concreto caliza + arena piritita.....	116
5.3.1.	Ensayo de cilindros a compresión.....	119
5.3.2.	Ensayo de vigas a flexión.....	121
5.3.3.	Ensayo de velocidad de fraguado	121
5.4.	Diseño de mezcla de concreto caliza + arena caliza.....	122
5.4.1.	Ensayo de cilindros a compresión.....	125
5.4.2.	Ensayo de vigas a flexión.....	126

5.4.3.	Ensayo de velocidad de fraguado.....	127
6.	DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL.....	131
6.1.	Reactividad alcalisílice (RAS).....	132
6.2.	Reactividad álcalicarbonato (RAC).....	139
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEZCLAS	145
7.1.	Características físicas.....	145
7.2.	Propiedades mecánicas	147
7.3.	Características químicas	149
7.4.	Características petrográficas	151
7.5.	Resistencia a compresión de obsidiana + pirita	152
7.6.	Resistencia a compresión de obsidiana + arena	153
7.7.	Resistencia a compresión de agregado caliza + pirita.....	154
7.8.	Resistencia a compresión de agregado caliza + arena	155
7.9.	Ventajas y desventajas.....	156
	CONCLUSIONES	159
	RECOMENDACIONES.....	161
	BIBLIOGRAFÍA.....	163
	ANEXOS.....	169

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de zonas fisiográficas de Guatemala	7
2.	Columna cronoestratigráfica de Guatemala	9
3.	Principales fuentes de obsidiana en Guatemala	30
4.	Focos eruptivos cuaternarios, departamento de Guatemala.....	30
5.	Bancos de material en CA-09 Norte, Ruta al Atlántico.....	31
6.	Roca Obsidiana.....	38
7.	Carta de composición petrográfica de las rocas	39
8.	Roca pirita	40
9.	Curva granulométrica de la obsidiana	47
10.	Curva granulométrica de la pirita	57
11.	Curva granulométrica de la roca caliza	66
12.	Curva granulométrica de la arena caliza	74
13.	Temperatura de mezcla de concreto obsidiana + pirita.....	99
14.	Asentamiento de mezcla obsidiana + pirita	100
15.	Masa unitaria en mezcla de concreto obsidiana + pirita.....	101
16.	Determinación de contenido de aire en mezcla (O+AO)	102
17.	Ensayo de cilindros de mezcla obsidiana + pirita.....	105
18.	Puntos de carga ensayo a flexión en vigas de concreto	106
19.	Ensayo a flexión en viga de concreto (O+AO)	106
20.	Aparato para ensayo de velocidad de fraguado	107
21.	Temperatura del mortero obsidiana + pirita	108
22.	Gráfica velocidad de fraguado mezcla obsidiana + pirita	109
23.	Temperatura de mezcla práctica obsidiana + arena caliza	110
24.	Masa unitaria mezcla de concreto obsidiana + arena caliza	111

25.	Ensayo de contenido de aire de obsidiana + arena caliza	112
26.	Ensayo de cilindros de mezcla obsidiana + arena caliza	113
27.	Ensayo de flexión en viga de concreto (O+AC)	114
28.	Gráfica velocidad de fraguado de mezcla obsidiana + a caliza	115
29.	Temperatura de mezcla práctica caliza + arena pirita	117
30.	Asentamiento de mezcla caliza +pirita.....	117
31.	Ensayo de contenido de aire en mezcla caliza + pirita	118
32.	Especímenes para pruebas de compresión.....	119
33.	Ensayo de cilindros de mezcla caliza + arena pirita	120
34.	Ensayo a flexión en viga de concreto caliza + pirita	121
35.	Gráfica velocidad de fraguado de mezcla caliza + pirita	122
36.	Temperatura de mezcla práctica caliza + arena caliza	123
37.	Asentamiento de mezcla caliza + arena caliza	124
38.	Ensayo de cilindros de mezcla caliza + arena caliza	126
39.	Ensayo de flexión en viga caliza + arena caliza.....	127
40.	Gráfica velocidad de fraguado de caliza + arena caliza.....	128
41.	Probeta ensayada del mortero caliza + arena caliza	129
42.	Curva de calibración ensayo de reactividad alcalisílice	137
43.	Gráfica de reactividad álcalicarbonato (UNE 146507-2 EX)	142

TABLAS

I.	Elementos más abundantes en la naturaleza	13
II.	Combinaciones geoquímicas más importantes en la composición de los minerales.....	13
III.	Límites de granulometría para agregado fino	26
IV.	Composición química de la obsidiana.....	37
V.	Composición mineral de la obsidiana	38

VI.	Granulometría de la obsidiana	47
VII.	Resumen de peso unitario de obsidiana	48
VIII.	Resultado de ensayo de abrasión de obsidiana.....	49
IX.	Peso específico de la obsidiana	51
X.	Reactividad potencial de obsidiana grueso	53
XI.	Clasificación ensayo petrográfico de obsidiana	54
XII.	Resultados de resistencia a sulfato de sodio de obsidiana	55
XIII.	Granulometría de la arena piritita.....	56
XIV.	Peso unitario de la arena piritita.....	58
XV.	Peso específico de la arena piritita	59
XVI.	Reactividad potencial de arena piritita	61
XVII.	Determinación de carbonatos en arena piritita.....	62
XVIII.	Clasificación de ensayo petrográfico de piritita	63
XIX.	Ensayo de resistencia a sulfato de sodio de agregado piritita	64
XX.	Granulometría de la roca caliza	65
XXI.	Peso unitario de caliza	66
XXII.	Resultado de ensayo de abrasión de caliza.....	67
XXIII.	Peso específico de la caliza	68
XXIV.	Reactividad potencial a caliza grueso	70
XXV.	Determinación de carbonatos en caliza	71
XXVI.	Ensayo de resistencia a sulfato de sodio de caliza	72
XXVII.	Granulometría de la arena caliza	73
XXVIII.	Resumen de peso unitario de arena caliza	75
XXIX.	Peso específico de la arena caliza	76
XXX.	Reactividad potencial a arena caliza	78
XXXI.	Determinación de carbonatos en arena caliza	78
XXXII.	Ensayo de resistencia a sulfato de sodio de arena caliza	79
XXXIII.	Resumen de ensayos realizados	80
XXXIV.	Asentamientos recomendados en mezclas de concreto	83

XXXV.	Cantidad de agua a utilizar según el asentamiento	84
XXXVI.	Relación agua / cemento según resistencia de diseño	84
XXXVII.	Porcentaje de arena según tamaño de agregado	84
XXXVIII.	Granulometría de obsidiana.....	86
XXXIX.	Granulometría de caliza.....	90
XL.	Resumen de proporciones en volumen	95
XLI.	Resumen de proporciones en peso	95
XLII.	Materiales para fabricar 1 m ³ de obsidiana + pirita.....	97
XLIII.	Ensayo a compresión de cilindros diseño obsidiana + pirita.....	104
XLIV.	Resultado de ensayo a flexión en viga (O+AO)	106
XLV.	Ensayo de velocidad de fraguado de obsidiana + pirita.....	108
XLVI.	Materiales para fabricar 1 m ³ de obsidiana + arena caliza	109
XLVII.	Ensayo de cilindros a compresión obsidiana + arena caliza.....	113
XLVIII.	Resultado de ensayo de flexión en viga (O+AC)	114
XLIX.	Ensayo velocidad de fraguado de obsidiana + arena caliza	115
L.	Materiales para fabricar 1 m ³ de mezcla caliza + pirita.....	116
LI.	Ensayo a compresión en cilindros de caliza + pirita	120
LII.	Resultado de ensayo a flexión en viga caliza + pirita	121
LIII.	Ensayo velocidad de fraguado de caliza + arena pirita.....	122
LIV.	Materiales para fabricar 1 m ³ de mezcla caliza + arena caliza	123
LV.	Ensayo a compresión de cilindros diseño caliza + arena caliza	125
LVI.	Resultado ensayo a flexión en viga caliza + arena caliza	127
LVII.	Ensayo velocidad de fraguado de caliza + arena caliza	128
LVIII.	Resumen de ensayos del concreto fresco	129
LIX.	Resumen de ensayos a especímenes de concreto	130
LX.	Resultado de reactividad alcalisílice, Norma ASTM C-289.....	134
LXI.	Resumen de composición petrográfica de arena pirita	135
LXII.	Determinación de carbonatos en muestras por fotometría	136
LXIII.	Resumen características físicas y propiedades mecánicas.....	148

LXIV.	Resumen de características químicas.....	150
LXV.	Resumen de características petrográficas	152
LXVI.	Resumen de resistencia a compresión para los 4 diseños	156
LXVII.	Ventajas y desventajas de obsidiana (agregado grueso).....	156
LXVIII.	Ventajas y desventajas de la arena pirita (agregado fino).....	157

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Abs	Absorción
AF	Agregado fino
AG	Agregado grueso
c	Cemento
cm³	Centímetro cúbico
(F)	Factor de desviación de resistencia
°C	Grados Celsius
g/cm³	Gramos por centímetro cúbico
kg	Kilogramo
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
lts	Litros
m	Metro
M_f	Masa final
MgO	Oxído de magnesio
mm	Milímetro
mmol/L	Mili moles por litro
M_n	Masa con superficie seca normal
M_o	Masa inicial
MPa	Mega pascal
M_{ss}	Masa con superficie seca saturada
#	Número
O+AC	Obsidiana junto a arena caliza
O+AO	Obsidiana junto a arena obsidiana (pirita)

CaO	Óxido de calcio
P_i	Peso inicial
P_f	Peso final
Pe	Peso específico
PU	Peso unitario
%	Porcentaje
PP	Proporción en peso
PV	Proporción en volumen
PSI	Libras por pulgada cuadrada
RD	Resistencia de diseño
RR	Resistencia requerida
TMN	Tamaño máximo nominal
Al₂O₃	Trióxido de aluminio

GLOSARIO

Aglomerante	Material adhesivo para unir los materiales pétreos utilizados en la construcción.
Agregados	Materiales pétreos inertes producto de la desintegración natural y artificial de las rocas, utilizados en la fabricación de concreto.
Adherencia	Capacidad de asegurarse a una superficie a través de una unión de soldadura plástica.
Agregado fino	Agregado que logra pasar el tamiz núm. 4 (4,75 mm), para llenar los espacios pequeños dentro de una mezcla de concreto.
Agregado grueso	Partícula de agregado que pasa el tamiz núm. 1/4 plg (6,35 mm) y es retenido en el tamiz núm. 4 (4,75 mm), sirve para resistir los esfuerzos de compresión.
Amorfa	Reacción en la estructura física de un agregado para cambiar su composición química.
Álcalis	Elementos químicos de óxido de sodio y potasio en la composición interna del cemento.

Arcilla	Material orgánico con tamaño muy fino, producto de la desintegración natural de las rocas que es perjudicial para el concreto.
Asentamiento	Medida de la fluidez de una mezcla de concreto para ingresar en espacios reducidos.
ASTM	Sociedad Americana para los Ensayos y los Materiales (American Society for Testing and Materials).
Basalto	Roca volcánica de grano fino, muy utilizada en la fabricación de concreto por su alta resistencia a compresión.
Caliza	Roca compuesta de carbonato de calcio de origen químico, orgánico y metamórfico.
Carbonato	Compuesto mineral producto de la solidificación natural de los sedimentos de esqueletos marinos.
Compresión	Esfuerzo de tracción negativa que ofrecen los materiales a ser aplastados.
Conglomerado	Roca dura adherida por un cemento para la reunión de diferentes tipos de agregados de forma natural a través de una adhesión.

Desgaste	Resistencia que los agregados oponen a sufrir fractura o desintegración de sus partículas.
Dureza	Propiedad de un agregado para no ser dañado.
Esfuerzo	Resistencia que presentan los materiales para no cambiar su forma física.
Erosión	Desintegración en las rocas, causada por efectos naturales como el agua y el viento.
Expansión	Hinchazón, cambio en el tamaño físico de un agregado causando su agrietamiento.
Fraguado	Velocidad que tiene el concreto para cambiar de forma plástica a sólida.
Flexión	Esfuerzo de elasticidad que tiene un material a cambiar de forma sin sufrir daño, cuando se aplican cargas horizontales.
Feldespatos	Compuesto mineral que presentan la mayoría de agregados de origen volcánico.
Granito	Roca volcánica de grano grueso, con textura holocristalina y alto contenido de ortoclasa.
Granulometría	Distribución de los distintos tamaños de partículas de agregado por medio de mallas.

Módulo de finura	Índice del tamaño de partículas del agregado fino y grueso, sirve de parámetro en la absorción de agua.
Monomineral	Roca compuesta químicamente por un solo elemento.
Obsidiana	Roca ácida de grano fino de origen volcánico con textura vítrea y color oscuro.
Ortoclasa	Mineral de color rosa, silicato muy común en la formación de rocas extrusivas.
Peso específico	Relación entre el peso de un agregado y el volumen de agua desplazado por el mismo cuando está saturado y superficialmente seco.
Peso unitario	Relación entre el peso de un agregado y el volumen ocupado por el mismo, sus poros y espacios intergranulares.
Pirita	Roca abrasiva, ligera y porosa de color claro, compuesta por sulfuros metálicos.
Plagioclasas	Elemento químico constituyente de las rocas volcánicas.
Polimineral	Roca compuesta químicamente por más de un elemento.

Reactividad alcalina	Reacción química entre los constituyentes de los agregados con los álcalis del cemento.
Riolita	Roca extrusiva de grano fino, color claro, y características similares al granito
Rocas extrusivas	Volcánicas producidas por un enfriamiento rápido de la lava en la superficie de la corteza.
Rocas ígneas	De origen volcánico, muy abundantes en la corteza terrestre, con alta concentración de silicatos.
Rocas intrusivas	Rocas volcánicas producidas por una consolidación lenta del magma en zonas profundas de la corteza.
Roca metamórfica	La que ha sufrido transformaciones en su estado sólido debido a efectos de presión y temperatura.
Roca sedimentaria	Formada por la acumulación de materiales que han sufrido transporte y erosión.
Sílice	Combinación geoquímica más abundante en la composición mineral de las rocas.
Textura	Aspecto de rugosidad o irregularidades en la superficie de las partículas de agregado.
Vítreo	Tipo de vidrio que presenta una estructura interna desordenada de cristales que forman la roca.

RESUMEN

El aumento del uso de concreto en la construcción, obliga a buscar nuevos materiales para la fabricación de concreto resistente, de buena calidad, y que cumplan especificaciones, así se pueden ejecutar proyectos de gran magnitud con mayor eficiencia, generando estructuras más seguras y a bajo costo.

El presente trabajo de graduación pretende utilizar de mejor forma los recursos disponibles en muchos lugares del país, incorporando los agregados volcánicos con textura vítrea como la obsidiana en la fabricación de concreto, para conocer la capacidad de resistencia a compresión de la roca.

Para determinar la resistencia a compresión del concreto fabricado con rocas volcánicas, se realizaron cuatro diferentes diseños de mezcla, incluyendo la roca caliza como agregado de comparación, por presentar buenos resultados en la fabricación de concreto, identificando las propiedades y características que ofrece cada agregado para cumplir las especificaciones técnicas.

Se realizaron ensayos individuales a los agregados y luego en conjunto dentro de los diseños de mezcla, para determinar ventajas y desventajas de su utilización dentro del concreto, además una comparación de las cualidades.

El resultado de utilizar agregados volcánicos con textura vítrea, ha evidenciado que es un material con buenas características, que cumple muchas especificaciones, pero que necesita un control y análisis más profundo, para alcanzar los límites de aceptación dentro de la industria de la construcción.

OBJETIVOS

General

Determinar las características físicas y propiedades mecánicas del concreto fabricado con agregados de origen volcánico y textura vítrea, utilizando la obsidiana como agregado grueso, que posee un elevado grado de dureza, para verificar si cumple los requisitos de calidad que solicita la norma.

Específicos

1. Establecer y definir las propiedades y características de los agregados de origen volcánico y textura vítrea (obsidiana y pirita).
2. Determinar si los agregados de origen volcánico con textura vítrea como la obsidiana y la pirita, cumplen con las características físicas y propiedades mecánicas, para uso en fabricación de concreto.
3. Establecer las ventajas y desventajas de usar agregados volcánicos con textura vítrea en la fabricación de concreto, por tener superficies lisas.
4. Realizar una comparación de resistencias entre concretos fabricados con agregados de origen sedimentario y concreto fabricados con agregados de origen volcánico.
5. Evaluar los resultados obtenidos y establecer sus posibles usos en la construcción.

INTRODUCCIÓN

Después del agua, el concreto es el segundo material más utilizado en la construcción; tanto de edificaciones como de elementos estructurales, por lo cual diariamente se busca implementar el uso de nuevos materiales con tecnologías que cumplan con las especificaciones, reúnan características y propiedades necesarias para resistir los esfuerzos compresivos y durabilidad de las estructuras, aumentando los beneficios y reduciendo el costo de fabricación.

Actualmente el concreto se fabrica con una mezcla homogénea de diferentes materiales, como lo es el cemento, agregados pétreos de origen sedimentario, la cantidad correcta de agua limpia, y algunas veces el uso de aditivos que modifican los procesos del mismo, debido a la creciente demanda del concreto en la construcción, implementar nuevos materiales, además de darle uso a las rocas ígneas con textura vítrea de origen volcánico como la obsidiana, se utiliza como agregado grueso para su fabricación.

La obsidiana es una roca volcánica (ígneas), con textura vítrea de color oscuro, producida durante algunas erupciones volcánicas en la que la roca fundida es expulsada hacia la atmósfera donde se enfría rápidamente, es importante conocer que las rocas ígneas componen aproximadamente el 95 % de la parte superior de la corteza terrestre, pero quedan ocultas por una capa fina de rocas sedimentarias y metamórficas. Lo cual indica que existe gran cantidad para su implementación dentro de la fabricación de concreto.

Existen comunidades del municipio de Palencia, que durante varios años han utilizado este material en forma empírica como agregados en la fabricación de concreto, pero desconocen sus propiedades y las resistencias que son

capaces de alcanzar con una buena dosificación, este material presenta diferentes características, por las cuales es factible para su estudio, y para la elaboración de mezclas de concreto, a través del diseño de mezclas del Centro de Investigaciones de Ingeniería, que es un método muy utilizado en Guatemala y proporciona información confiable.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Materiales pétreos naturales utilizados para la construcción

En Guatemala se utilizan diversos tipos de materiales pétreos en la construcción, los cuales ayudan principalmente a resistir los esfuerzos que actúan sobre las estructuras, y reducir el costo en la fabricación de concreto, el cual se convirtió en el principal producto para la construcción a partir del terremoto de 1917, debido a que todas las construcciones realizadas con concreto soportaban de mejor forma este fenómeno.

El consumo creciente de concreto para fabricar estructuras, encuentra la necesidad de buscar materiales comunes y que posean características idóneas dentro del medio ambiente natural que satisfagan la demanda de los consumidores.

Entre los principales materiales pétreos para fabricar concreto se encuentran los agregados finos como son las arenas, las cuales son utilizadas para llenar los espacios vacíos que deja el agregado más grueso, en donde principalmente se utiliza roca, ambos agregados deben poseer buenas propiedades mecánicas y características físicas, y químicas para homogenizarse con el cemento y fabricar el concreto, estos dos tipos de agregados representan más del 70 % del volumen del concreto, por lo cual es de suma importancia su selección, en Guatemala se referencia bajo las especificaciones de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), en especial la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).

Son características importantes en la selección de los agregados:

- Limpieza: que se encuentren exentos de arcilla, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos.
- Sano físicamente: forma estable ante cambios de temperatura y humedad, además resistir la acción de intemperie sin descomponerse.
- Resistencia: se considera adecuado si tiene la capacidad de desarrollar toda la resistencia propia del aglomerante. Para condiciones de desgaste externo, es requerido un agregado duro y tenaz.
- Forma de las partículas: la docilidad del concreto se ve afectada con la presencia de partículas alargadas y planas, siendo necesario el aumento de arena, cemento y agua.

Se han desarrollado diversos métodos para mejorar la calidad del agregado cuando no se cumple con las especificaciones deseadas. Algunos métodos son: lavado, cribado, clasificador hidráulico, entre otros.

Los agregados también son llamados áridos y se definen como fragmentos rocosos que proceden de la desintegración de piedras naturales y suelen clasificarse de la siguiente manera:

- De acuerdo al tamaño del grano: agregados gruesos como las gravas, si el tamaño del grano es superior a 4,75 mm; y agregados finos como las arenas, si el tamaño del grano es inferior a 4,75 mm.
- De acuerdo con la procedencia: arenas de río, con granos redondeados; arenas de mina, con granos ásperos, angulosos; arenas de mar, con granos pequeños llenos de sales, que requieren lavado para su uso.
- De acuerdo a su naturaleza: según sea la piedra natural de procedencia, ofreciendo características exclusivas en cada caso. Por ejemplo, las que

proceden de granitos y basaltos, se consideran excelentes; las obtenidas de calizas son de calidad muy variable y resistencia al desgaste baja; las de tipo silíceo, ofrecen gran durabilidad en medios agresivos.

- De acuerdo al sistema de obtención: canto rodado o piedra triturada.

Los agregados finos conocidos como arenas, se definen como las partículas de agregado menores de 4,75 mm, pero mayores de 75 micras, o también como la porción de material que pasa la malla del tamiz número 4 y es retenido en la malla del tamiz número 200.

Entre las arenas, la más común a utilizarse es la arena de río, por su fácil extracción de las cuencas de los mismos, pero muchas veces se encuentra muy contaminada, por lo cual se le deben hacer análisis para determinar la calidad y otras propiedades necesarias para fabricar concreto, entre los principales análisis que se le deben realizar a las arenas son:

- Análisis de contenido de materia orgánica
- Determinación de granulometría
- Determinación del módulo de finura
- Determinación del porcentaje de absorción
- Determinación de desgaste y abrasión
- Peso específico

El agregado grueso es conocido como grava, y su tamaño máximo tiene su fundamento en la economía; por lo general se requiere más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. El agregado grueso se define como las partículas mayores de 4,75 mm, es decir el retenido en la malla número 4.

Entre los agregados gruesos utilizados para fabricar concreto existen dos tipos, los triturados y de canto rodado, ambos son de mucha importancia, ya que representan un gran volumen del mismo, y junto con el diseño de la mezcla depende la vida útil del concreto, deben cumplir características y propiedades especiales para la selección como material pétreo entre las cuales están:

- Resistencia a la tenacidad
- Forma de la partícula
- Peso específico
- Porcentaje de absorción
- Desgaste y abrasión
- Granulometría
- Reacciones químicas

El basalto, granito y la caliza son rocas, las cuales pasan por un proceso donde se deben triturar, son en la actualidad el material pétreo más utilizado como agregado grueso para la fabricación de concreto, ya que cumplen con especificaciones de la Norma Coguanor NTG 41007 (ASTM C-33).

1.1.1. Clasificación de las rocas en Guatemala

Las rocas son agregados de origen natural, pueden estar formadas por granos de un solo mineral esencial o mayoritario llamadas monominerálicas, la mayoría de las rocas, sin embargo, están compuestas por varios minerales esenciales y se conocen como poliminerálicas. Son muy diversas y se pueden clasificar atendiendo múltiples criterios.

Según su permeabilidad, se pueden clasificar en impermeables, como las arcillas y pizarras, o permeables, como las areniscas.

Según su composición química: se distingue entre rocas silicatadas (compuestas principalmente por silicatos, como el granito y las arcillas) y carbonatadas (formadas por carbonatos, como el mármol y las calizas). Las primeras son, con mucha diferencia, las más abundantes.

En Guatemala el criterio más usado es geológico, que clasifica las rocas teniendo en cuenta el proceso de su formación. Así como su origen, se distinguen tres grandes grupos: magmáticas, metamórficas y sedimentarias.

- Rocas magmáticas (ígneas)

Representan un 95 % del volumen de los 16 kilómetros exteriores del planeta, son producto del enfriamiento del magma volcánico que se genera en zonas profundas de la corteza terrestre, y que contiene minerales en estado líquido, sólido y gaseoso, dependiendo de cómo se produzca el enfriamiento del magma, se originaran dos tipos de rocas ígneas:

- Volcánicas o extrusivas, rocas producidas por un enfriamiento brusco como consecuencia de un ascenso muy rápido a la superficie por medio de una erupción volcánica. Ejemplos de estas son basalto, obsidiana, riolita, perlita, entre otras.
- Plutónicas o intrusivas, producidas por un enfriamiento muy lento del magma en zona profundas de la tierra, aunque estas rocas pueden llegar a aflorar a la superficie por medio de la erosión. En este tipo de rocas los minerales empiezan a formarse a medida que el magma se va enfriando, y se pueden observar minerales bien cristalizados o cristales de gran tamaño. Ejemplos de rocas plutónicas son: granito, gabro, diorita y sienita.

- Rocas sedimentarias

Se forman en la superficie terrestre, producidas por la fragmentación y erosión de otras rocas, a causa de los efectos geológicos externos (ríos, glaciales, viento, mar), los sedimentos así generados son transportados y depositados, este proceso se llama sedimentación, durante la misma suceden dos procesos diferentes que dan origen a este tipo de rocas: la compactación de los sedimentos producida por el aumento de los materiales que se van depositando, y la cementación por la unión de los sedimentos mediante cementos naturales como el carbonato de calcio. Ejemplos de estas rocas son: los conglomerados, arcillas, areniscas, calizas, entre otros.

- Rocas metamórficas

Formadas a partir de otras rocas pre existentes que han sufrido un cambio (de forma, composición química, o estructura cristalina) debido a un aumento de presión, temperatura o de ambas. Las rocas metamórficas no se originan en superficie, como los otros tipos de rocas. Tienen lugar a presiones y temperaturas a las que no se ha fundido la roca pre existente. Así, el metamorfismo tiene lugar siempre en estado sólido, mientras que las rocas ígneas se producen a partir de otras rocas fundidas. Ejemplos de rocas metamórficas son: las pizarras, que se producen a partir del metamorfismo de las arcillas; y los mármoles, producidos a partir del metamorfismo de calizas.

- Geomorfología en Guatemala

El Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), informa que en el territorio nacional predominan dos orientaciones estructurales, la Sierra del Norte de América Central y la Provincia Volcánica, hacia el norte

se encuentra la cuenca sedimentaria de El Petén, que muestra alineamientos similares a la Cordillera Centroamericana, tiene mayor afinidad con la Costa del Golfo de México, orientaciones que se definen a continuación:

- Un arco este-oeste, convexo hacia el sur, formado de rocas cristalinas y sedimentarias, de las eras paleozoicas y mesozoicas, que se extiende desde Chiapas hasta el mar Caribe.
- Un alineamiento noroeste-sureste a través de América Central, representado por rocas volcánicas terciarias recientes, acentuado por una hilera de conos cuaternarios.

Asimismo, en el territorio nacional destacan cuatro provincias fisiográficas (figura 1), que son de sur a norte y las cuales se describen a continuación:

Figura 1. **Mapa de zonas fisiográficas de Guatemala**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (Cesem).

- La planicie costera del pacífico: a lo largo de todo el litoral pacífico, producto de erosión de tierras altas volcánicas, crean una planicie de rocas sedimentarias con un ancho de 50 a 80 kilómetros.
- La región volcánica o cinturón volcánico: cubre la parte occidental, sur y oriental de Guatemala, se extiende hacia otras repúblicas centroamericanas. Se caracteriza por sus altas montañas, por su cadena de altos conos y domos, varios de ellos todavía activos, como por ejemplo los volcanes Santiaguito, Fuego y Pacaya, que se encuentran alineados entre el plano costero del pacífico y al otro lado un cinturón de rocas volcánicas terciarias, aquí en esta franja se encuentran también las enormes cuencas que contienen los lagos de Atitlán, Amatitlán y Ayarza, grandes valles anchos y profundos, rellenos con depósitos de pómez cuaternarios, como en Chimaltenango, El Quiché, Guatemala y Quetzaltenango.
- Cordillera central de Guatemala: franja de rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias plegadas, que se extiende a través de todo el centro del país, se le ha llamado la Cordillera Central de Guatemala; esta forma parte del sistema cordillerano que se desarrolla desde Chiapas hasta las islas de la bahía de Honduras.
- Tierras bajas de El Petén: representan un área de bosque tropical húmedo con elevaciones promedio de 100 metros, formado por sedimentos mesozoicos y terciarios levemente plegados, sobre calizas y dolomías cretácicas, donde se desarrolló un relieve Karst extenso, dando lugar a terrenos muy accidentados. Debido al drenaje subterráneo, hay extensas regiones sin suministro de agua durante la estación seca. En ciertas partes del bosque

tropical cede el terreno a amplias sabanas con pinos esparcidos y cerritos calcáreos de tipo Karst, que sobresalen de 30 a 100 metros sobre la planicie de la sabana.

- Marco geológico regional

Guatemala está incluida por su geografía física, dentro de una plataforma continental, extendida desde el istmo de Tehuantepec, en México, hasta tierras bajas de Otrato en Colombia. Pertenece junto a El Salvador, Honduras y parte de Nicaragua, a la América Central Septentrional, siendo la estructura e historia geológica de la zona, parte del continente Norteamericano. La figura 2 muestra la estratigrafía y edad media de creación de las rocas en el territorio nacional.

Figura 2. **Columna cronoestratigráfica de Guatemala**

COLUMNA CRONOESTRATIGRÁFICA DE GUATEMALA						
COLUMNA*	TIPO DE ROCA	ERA	PERÍODO	EDAD SERIE	EDAD ABSOLUTA MILLONES-AÑOS	
Qa	Aluviones	CENOZOICO	Cuaternario		3,5	
Qp	Cenizas volcánicas					3,5
	Rocas volcánicas		Terciario		Plioceno	3,5
	Rocas volcánicas sin dividir				Oligoceno	64
	Depósitos continentales				Oligoceno	3,5 a 37
	Calizas, areniscas y conglomerados				Mioceno	7 a 37
	Rocas plutónicas				Eoceno	64
	Yeso y Marga					53
	Sedimentos Marinos				Eoceno	37 a 64
	Areniscas Subinal				Paleoceno	64
Kte	Sedimentos clásicos marinos	MESOZOICO	Cretácico		136	
I	Rocas plutónicas		Cretácico		136	
Kad	Carbonatos del cretácico		Cretácico	Campaniano	500	
	Rocas ultra básicas		Cretácico	Pre-Maestrichtiano	64 a 136	
JKts	Formación Todos Santos		Cretácico		64 a 136	
Pc	Carbonatos del Pérmico	PALEOZOICO	Pérmico		280	
CPsr	Rocas Sedimentarias del Carbonífero y Pérmico		Pérmico			
			Carbonífero			
			Pre-Pérmico			
I	Rocas plutónicas					
Pzm	Rocas Metamórficas					

* Simbología utilizada en el mapa geológico de la república de Guatemala, 1970.

Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (Cesem).

1.1.2. Características físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de las rocas (obsidiana y pirita)

La obsidiana es una roca volcánica de grano fino, su superficie es relativamente lisa con bordes agudos y presenta ciertas irregularidades, tiene colores variados dependiendo de los elementos mayoritarios en su composición, pero por lo general es más conocida en color negro brillante.

Pertenece a las rocas ácidas, debido a que contiene gran cantidad de sílice, los elementos mayoritarios son cuarzo, ortoclasa, feldespatos, y ferromagnesianos, su estructura vítrea, la clasifica como frágil, sin embargo posee características de dureza similares a las del granito.

Es considerada una roca de gran dureza en la escala de Mohs, y alto peso específico lo que la clasifica como de buena calidad para fabricar mezclas de concreto, sin embargo para aceptarla, debe cumplir los requisitos de las especificaciones para agregados de concreto.

La obsidiana en su composición petrográfica muestra una estructura desordenada de los cristales que la forman, debido a que no se considera como una roca sino como mineraloide. Proviene de la familia de las riolitas.

La pirita es una arena mineral con partículas muy finas, muchas menores a 75 micras de diámetro, es parte del conglomerado de la obsidiana, y por lo general es de colores claros, amarillo latón o gris, pero eso depende de los minerales presentes en su composición.

Su composición química tiene abundantemente sulfuro de hierro, motivo por el cual es muy utilizada en laboratorios para realizar reacciones químicas.

Tiene una alta dureza, por lo que es muy utilizado como material abrasivo, y en algunos casos como puzolana en aplicaciones industriales, en la construcción se emplea como material aislante térmico y acústico de las viviendas, es una roca pesada, posee buena resistencia al fuego, es muy absorbente.

La pirita es un mineral fosilizante, compuesto por ferro magnesiano, feldespato potásico, cuarzo, y plagioclasas. Además posee una gran cantidad de partículas muy pequeñas, que lo hace tener carácter dañino para la fabricación de mezclas de concreto.

Todas las características principales de la obsidiana y la pirita, se detallan de mejor forma en el capítulo 2, junto a una breve descripción de las mismas.

1.2. Tipos de agregados en Guatemala

Guatemala es una región muy rica en minerales, gracias a ello se encuentra gran diversidad de materiales rocosos con diferentes características, en especial agregados pétreos, que son empleados en diferentes procesos de la construcción, para fabricar otros materiales y para construir edificaciones.

El agregado extraído directamente de la naturaleza, es el material más antiguo utilizado por el hombre en la construcción, conservándose en muy buen estado salvo excepciones, gracias a sus magníficas características para empleo en obra, que definen su carácter pétreo, siendo estos agregados, materiales que destacan por su gran resistencia mecánica a compresión y resistencia a agentes atmosféricos. La roca como agregado, tiene un gran valor como elemento decorativo y es la materia prima de casi todo material de construcción.

A todo agregado natural debe exigírsele:

- Composición homogénea
- Que carezca de grietas, coqueras o cavidades
- Que sea sano, es decir, que no esté alterado
- Que no sufra alteraciones con los agentes atmosféricos
- Que no sea heladizo, es decir; que no lo afecten las heladas

La litosfera es la capa más superficial del planeta, de ella se obtienen más fácilmente los agregados destinados a la construcción, formados básicamente por silicatos de aluminio, aunque existe otra serie de compuestos que dan lugar a una gran variedad de agregados, en cuanto a composición y características, para diferentes aplicaciones en la vida diaria.

Además debido a las ventajas que las rocas ofrecen en la construcción se pueden utilizar como:

- Elemento resistente (agregado).
- Elemento decorativo.
- Materia prima para fabricación de otros materiales (concretos, cerámicos, cementos, yesos, vidrio, entre otros).

De 103 elementos químicos conocidos en la naturaleza, solamente 20 son los más significativos y de estos exclusivamente 8, son los más abundantes en el planeta, los cuales se encuentran presentes en la composición de la mayoría de las rocas como agregados, la tabla I, muestra los principales elementos más abundantes en la naturaleza, algunos de los cuales se extraen de forma mucho más fácil que otros para diferentes actividades.

Tabla I. **Elementos más abundantes en la naturaleza**

ELEMENTO	PORCENTAJE EN PESO EN LA CORTEZA TERRESTRE
1.- OXIGENO	46,46
2.- SILICIO	27,61 74,07
3.- ALUMINIO	8,07
4.- HIERRO	5,06
5.- CALCIO	3,64
6.- SODIO	2,83
7.- POTASIO	2,58
8.- MAGNESIO	2,07 98,32
9.- TITANIO	0,62
10.- HIDROGENO	0,14
11.- LOS RESTANTES ELEMENTOS	0,92

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema3.MaterialesCONSTRUCCION.PETREOSNATURALES.pdf>. Consulta: febrero 2014.

Estos elementos forman las combinaciones geoquímicas más importantes en la composición de los minerales, siendo todos ellos óxidos, y a partir de las concentraciones de los minerales se obtienen las diferentes características de los agregados, como se observa en la tabla II.

Tabla II. **Combinaciones geoquímicas más importantes en la composición de los minerales**

COMPUESTO	CONCENTRACIÓN	TIPO DE ROCA
- Óxido de sílice (SiO ₂)	60%	(Carácter ácido)
- Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	15%	(Carácter ácido)
- Óxido de hierro	6%	(Carácter ácido)
- Óxido de cal (CaO)	5%	(Carácter básico)
- Óxido de magnesio (MgO)	3,8%	(Carácter básico)
- Óxido de sodio (Na ₂ O)	3,2%	
- Óxido de potasio (K ₂ O)	3%	
- Agua (H ₂ O)	2%	
- Otros	3%	

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema3.MaterialesCONSTRUCCION.PETREOSNATURALES.pdf>. Consulta: febrero 2014.

Los silicatos son los componentes más importantes de las rocas y, por consiguiente de los agregados en la corteza terrestre, integrando el 95 % de esta. Es además, el grupo de minerales más rico en especies. Son materiales compuestos principalmente por silicio y oxígeno, los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre. Por consiguiente, la mayor parte de suelos, rocas, arcillas y arenas son clasificados como silicatos.

1.2.1. Agregados volcánicos (ígneos)

Son los agregados más utilizados en la construcción, por sus diferentes características, en mayoría muy buenos para cumplir exigencias de normas, se encuentran en la provincia volcánica que cubre la parte occidental, sur y oriental del país, extendiéndose hacia otros países centroamericanos. Esta zona se caracteriza por altas montañas, altos conos y domos, varios todavía activos.

Los agregados de origen volcánico más importantes son:

El granito: constituido por un 20 % a 40 % de cuarzo, 15 % a 55 % de feldespato y 14 % a 56 % de mica. Según predomine uno de estos elementos se denominan cuarzosos, feldespáticos o micáceos. Contienen también apatito, turmalinas y granates. Es una roca muy antigua que aparece en grandes masas (batolitos) que se quiebran en bloques con grietas llamadas diaclasas. Presentan a veces manchas oscuras llamadas gabarros.

Los granitos micáceos se alteran con la humedad y el anhídrido carbónico que atacan al feldespato y a la mica. Se evita con el pulimento, haciéndose muy duraderas. Su densidad aparente es de 2,60 a 3,00; su densidad real de 2,60 a 3,20. La absorción de agua es del 0,10 % al 0,70 % de su peso. Su resistencia a compresión de 80 hasta 270 megapascales, su resistencia a tracción es

3,00 megapascales y la resistencia a cortadura 8,00 megapascales. El desgaste por frotamiento es de 4,00 a 7,00 centímetros cúbicos, se emplea mucho para fabricar concreto, por su gran resistencia y duradero pulimento, pero no admite labras complicadas. No es refractario, pero resiste altas temperaturas.

Basalto: formado de plagioclasa, olivino, magnetita en fenocristales y augita, es duro, compacto, oscuro, tiene gran resistencia. Se agrupa en prismas que se extraen fácilmente para adoquines y balastro. Algunas se disgregan por agentes atmosféricos. Su densidad aparente es 2,60 a 3,06. La densidad real es de 2,90 a 3,20. Absorbe agua en un 0,10 % a un 0,70 % en peso. Resiste a compresión de 100 a 580 megapascales, su desgaste es de 5 a 10 cm³.

Riolita o líparita: de composición granítica y estructura fluida. En vez de ortosa contiene anidino. Forma vidrios volcánicos como la obsidiana y la pumita o piedra pómez (esponjosa de estructura en agujas y fibras, muy ligera). Se usa para fabricar ladrillos aislantes y también como utensilio para pulir.

Traquita: semejante a la sienita pero sin cuarzo. La constituyen la plagioclasa, sanidino, piroxeno, hornblenda y biotita. Es áspera y se adhiere a los morteros, pero es poco resistente.

1.2.2. Agregados metamórficos

Son agregados poco utilizados en la construcción, ya que por sus características pueden sufrir alteraciones bajo presiones de trabajo, ocasionando daños a estructuras, son en mayoría usados como ornamentación y para fabricar otros materiales, estos se encuentran en una franja que forma el sistema de cordilleras central de Guatemala. Esta zona se caracteriza por las altas montañas. Entre las rocas metamórficas más importante se encuentran:

Gneis: de composición granítica, estructura hojosa y pizarrosa. Su densidad y dureza es análoga al granito. La resistencia a compresión es de 150 a 230 megapascales, se usa en pavimentos por ser áspera y dividirse en lajas.

Pizarras: resultan de metamorfosis de arcillas. Las arcillas pizarrosas son rocas sedimentarias, con leve metamorfosis, tienen arcilla, cuarzo, mica, calcita, feldespato. Su estructura laminar es compacta, no es dura y se puede clavar, densidad aparente de 2,0 a 3,5. Resistencia a flexión de 300 a 400 kg/cm² y a compresión de 600 a 900 kg/cm². Se usan para techar, siendo homogéneas, sin grietas, sin contener piritas, ni carbonato cálcico que las hace alterables.

La pizarra cristalina se diferencia del gneis por no tener feldespato. Entre estas, está la micacita, formada de cuarzo y mica, usada para pavimentos y techos, y la talcocita, compuesta de talco y cuarzo, es refractaria y se usa en hornos y estufas. La filita (pizarra satinada) es de cuarzo, mica, clorita y hierro, fácilmente se divide en placas, se usa en techos.

Cuarcita: procede de la arenisca. Compuesta de turmalina, granates, cuarzo con mica de color claro, compacta y dura. Se usa en grava y balastro.

Mármoles: son rocas metamórficas de caliza cristalizada y minerales como mica, serpentina, grafito en los oscuros y óxido de hierro en los de color rojo. Según su estructura se pueden clasificar en:

- Sencillos (color uniforme)
- Policromos (varios colores)
- Veteados, brechas (fragmentos)
- Arborescentes (vegetales)
- Lumaquelas (con conchas)

Se caracterizan por su color, brillo, y resistencia a los agentes atmosféricos. No se deben arrancar con explosivos porque se agrietan. Entre las propiedades que destacan de los mármoles están:

- Dureza 3 en escala de Mohs
- Densidad aparente de 2,00 a 2,80
- Densidad real de 2,60 a 2,80
- Absorción de agua de 0.10 a 0.50 por ciento en peso
- Resistencia a compresión de 40 a 280 mega Páscales
- Desgaste a rozamiento de 20 a 40 centímetros cúbicos

Según el uso, los mármoles se clasifican en:

- Estatuario (color uniforme, compacto y de fácil labra)
- Arquitectónico (resistente, bello color, uso en chapa y pavimento)

En cuanto a comportamiento químico, el mármol es débil a la acción de los ácidos, incluso al cítrico, dependiendo de su contenido en carbonatos. Es necesario destacar, los mármoles proceden del metamorfismo de calizas y dolomías, en cuyo proceso aumenta su grano, pierde estratificación y elimina impurezas que se convierten en otros minerales, generalmente silicatos. Este fenómeno puede no completarse, por lo que muchos mármoles comerciales, no son sino calizas susceptibles de brillo y pulido.

1.2.3. Agregados sedimentarios

Son muy utilizados en la construcción, debido a los diferentes procesos meteorización, erosión, y transporte, ocasionados por fenómenos terrestres, el viento y agua, son considerados de buena calidad, para cumplir las exigencias

en la construcción, las rocas que afloran superficialmente sufren fuerzas atmosféricas como temperatura, viento, flujo de agua y oxidación. La destrucción de una roca sólida, el transporte y la deposición de estas partículas forman sedimentos, que son el producto de la meteorización-erosión y transporte de rocas blandas como arena y grava.

Estos agregados se encuentran en la planicie costera del pacífico, de aproximadamente 50 kilómetros de ancho, son producto de la erosión de tierras altas, otra parte se localiza en las tierras bajas de Él Peten, donde existen capas de poca profundidad. Esta zona se caracteriza por las grandes planicies. Las rocas sedimentarias de origen mecánico pueden ser:

Rocas incoherentes o disgregadas. Su origen es de fragmentos de rocas en bloques que luego se transforman en cantos rodados, gravas y arenas. Por ejemplo: grava (100-30 mm), gravilla (30-15 mm), arena (5-0,2 mm). A su conjunto se le denomina zahorra, estando disgregadas y compactándose por compresión o por un aglomerante. Se encuentran en aluviones o depósitos.

Rocas sedimentarias compactas formadas por compresión o aglomeración de un cemento. Entre ellas pueden citarse:

- Conglomerado: roca dura adherida por un cemento llamándose brechas si son de aristas vivas y cementadas en el lugar de fragmentación, y pudingas si son redondeadas por un acarreo previo. Algunas brechas calizas se usan en ornamentación por su pulimento.
- Areniscas: son cuarzosas de ángulos vivos con cementos de diversa naturaleza. Las silíceas o cuarzosas son grises o blancas, duras y resistentes a agentes atmosféricos. Se emplean en muchas obras. De estas la piedra molar es tenaz y resistente, usándose en molinos.

Las calizas, son atacadas por agentes atmosféricos. Se calcinan al fuego y son poco resistentes. Las arcillosas son blandas, y no resisten la acción del tiempo. Las margosas son claras y poco resistentes. El cemento es arcilloso calcáreo. La pizarrosa es análoga de estructura laminar, buena resistencia. Se usa para techar, todas ellas poseen las siguientes propiedades:

- Densidad aparente 1,90 a 2,65 g/cm³
- Densidad real 2,60 a 2,70 g/cm³
- Absorción de agua de 0,50 a 10 por ciento en peso
- Resistencia a compresión de 15 a 320 megapascales
- Desgaste de 30 a 100 centímetros cúbicos

Entre las rocas sedimentarias de origen químico están las siguientes:

- Yeso: sulfato cálcico cristalizado con agua. Depositado por desecación de lagos. Forma estratos lenticulares con cloruro sódico. Su estructura puede ser compacta, granuda, laminar, fibrosa e incolora si es pura. El hierro y las arcillas lo tiñen. Su densidad es de 2,60. Es blanco y se raya con la uña. Puede ser soluble al agua y se usa en interiores. Resiste a compresión 6,00 megapascales.
- Calizas: roca a base de carbonato cálcico de origen químico, orgánico y metamórfico. Las de origen químico son precipitación de disoluciones bicarbonatadas como la pisolita, tobas calizas, estalactitas, entre otras o descomposición de carbonatos amónicos y sulfato cálcico (colitas, calizas espumosas y fibrosas).

Las orgánicas, son esqueletos y caparazones de animales (coralina, numulítica, creta, marga), siendo metamórficas la dolomía y el mármol.

La pisolita tiene aspecto granular formado por granos de arena cubiertos por capas concéntricas, cementadas con aragonito. Las tobas calizas (travertinos) son precipitaciones de aguas calizas sobre plantas (algas). La caliza litográfica es de grano uniforme fino. Contiene fósiles marinos. Se usa en ornamentación. Las estalactitas son aguas de techos en las cuevas que contienen bicarbonato cálcico que al caer forman conos. Las estalagmitas se forman en el suelo. La oolita está formada por pequeños granos de núcleo de arena o concha. Se usa en sillería y cal. La caliza fibrosa se compone de barros coloidales calizos.

Todas son buen material para la construcción. Se usan en mampostería y decoración. También para fabricar cales, cemento, vidrio y hierro. Entre sus características están: densidad aparente 1,87 a 2,82 gramos por centímetro cúbico, densidad real de 2,62 a 2,87 gramos por centímetro cúbico, su absorción en agua es de 2 % al 8 % del peso, su resistencia a compresión de 25 a 200 megapascales, su desgaste de rozamiento de 30 a 40 centímetros cúbicos.

- Dolomita: roca de carbonato cálcico y magnésico, color gris-blanco o amarillento, estructura granular, se usa en construcción y escultura, dando buenos mármoles. La ataca la humedad y atmósferas ácidas. Entre sus propiedades destacan la densidad aparente de 2,10 a 2,95 gramos por centímetro cúbico, la densidad real de 2,90 gramos por centímetro cúbico, la absorción de agua es de 0,30 % al 0,80 % en peso, la resistencia a compresión de 50 a 120 megapascales.

Rocas silíceas sedimentarias: constituidas por cuarzo, calcedonia y ópalo. Formadas por acumulación de caparazones o plantas (diatomeas). Sus esqueletos están formados por un gel silíceo.

El kieselgur: tierra de infusorios, terrosa, tiene muchos poros, sólo el 20 % del volumen de la roca es sílice, su densidad aparente es de $0,10 \text{ g/cm}^3$, se usa en fabricación de dinamita con la nitroglicerina. Es aislante de calor y sonido.

1.3. Agregados para concreto

La importancia del uso, tipo y calidad correcta de los agregados, no se puede subestimar, estos ocupan entre el 60 % y 75 % de volumen del concreto, y su principal función es resistir los esfuerzos de compresión que actúan sobre las estructuras, además son más económicos que el cemento, deben ser incorporados en la mezcla del concreto en la proporción adecuada. Pero la economía no es la única razón para emplearlos, sus características tienen gran influencia en las propiedades y costo del concreto, por lo que usarlos tiene ventajas técnicas, mayor estabilidad de volumen y durabilidad del concreto.

Los agregados deberán cumplir con las especificaciones de la Norma Coguanor NTG 41007 (ASTM C-33), donde se clasifican de acuerdo a varios parámetros de calidad, para fabricar concreto durable y resistente. El agregado debe estar constituido por partículas limpias, resistentes y durables, que desarrollen buena adherencia con la pasta de cemento, libres de recubrimientos de arcilla y otras impurezas que afectan el desarrollo de resistencia del cemento, las partículas de agregados friables (disgregables) o capaces de rajarse son indeseables.

Además de la clase, tipo y familia a la que pertenecen, es importante conocer también las propiedades mecánicas y características físicas, químicas y petrográficas, que son utilizadas para aceptar agregados, para fabricar concreto resistente, durable y económico, Las propiedades y características que normalmente interesa conocer, se enlistan a continuación:

- Granulometría
- Peso unitario
- Módulo de finura
- Resistencia al desgaste y abrasión
- Peso específico y absorción
- Contenido de materia orgánica
- Reactividad potencial álcaliagregado
- Angularidad y cantidad de partículas planas

1.3.1. Clasificación según su origen

La clasificación generalmente adoptada en el estudio de las rocas como materiales de construcción es la del origen geológico o de su formación, que los clasifica en: agregados volcánicos, sedimentarios, y metamórficos.

Agregados volcánicos (ígneos): compuestos por silicatos de potasio, sodio, hierro, calcio y magnesio. Formados por enfriamiento, asentamiento, cristalización o solidificación del magma fundido. En algunos casos ocurre a gran profundidad, en la cual se les llama rocas ígneas plutónicas, cuando ocurre a mediana profundidad se les llama rocas ígneas filonéicas.

Las rocas ígneas se denominan ácidas cuando contienen de 50 % a 80 % de anhídrido silicio, tienen cuarzo libre, abunda el calcio, aluminio, sodio y potasio, escaseando el magnesio y hierro, son de color claro debido a silicatos aluminicos y su densidad varía de 2,30 a 2,70 gr/cm³.

Las rocas ígneas se llaman básicas cuando poseen de 40 % a 50 % de sílice, careciendo de cuarzo libre, contienen magnesio, hierro, escaseando o faltando el calcio, aluminio, sodio y potasio, son de color oscuro, negruzco y

más densas de 2,7 a 3,2 gr/cm³, se cree que forman la mayor parte de la corteza terrestre, llamándolas silicatos de magnesio (SIMA).

Agregados sedimentarios: se forman al depositarse fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, debido al transporte y asiento de restos orgánicos, proceso de agentes geológicos (agua y viento), se encuentran en capas superpuestas paralelas y cada capa tiene su propio período de sedimentación.

Agregados metamórficos: resultan de la combinación de rocas ígneas y sedimentarias, debido al cambio de estas rocas en su composición mineral y estructura, esto ocurre a grandes presiones, temperaturas y por emanaciones gaseosas producidas por magma fundido, debajo de la corteza terrestre.

1.3.2. Clasificación según su naturaleza

Esta clasificación obedece el práctico criterio ingenieril, de cuál es la mejor forma de utilizar el agregado para fabricar concreto en la construcción, y según el lugar de procedencia los agregados se pueden clasificar en:

- Naturales: usados tal como proceden de la naturaleza, sin experimentar cambios en su composición química y constitución física, aunque se haya alterado su forma física natural, proceden de la división de las rocas.
- Artificiales: aquellos que han sufrido un proceso de transformación antes de utilizarse en construcción, experimentando cambios físicos y químicos, se obtienen por procedimientos mecánicos o sea trituración.
- Reciclados: son aquellos que resultan del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Según su peso unitario suelto, los agregados se dividen en:

- Agregado pesado, peso unitario mayor a $3\,400\text{ kg/m}^3$
- Agregado normal, peso unitario entre $1\,200 - 1\,750\text{ kg/m}^3$
- Agregado ligero, peso unitario menor de $1\,100\text{ kg/m}^3$

Según la forma de la partícula se clasifican en:

- Bien redondeado: sin superficie original
- Redondeada: han desaparecido todas sus caras
- Sub redondeadas: desgaste considerable, caras de arena reducida
- Sub angular: existe cierto desgaste, pero las caras están intactas
- Angular: poca evidencia de desgaste

En el concreto, una forma angulosa y textura áspera de las partículas aportan a una alta resistencia a la flexión. Por otra parte, una alta proporción de partículas planas reduce la resistencia a la compresión. Debido a que producen mala trabajabilidad, se orientan horizontalmente durante la colocación, que está acompañado de la acumulación de agua en la superficie inferior de la partícula.

1.3.3. Clasificación según su granulometría

Es la distribución del tamaño de partículas del agregado, determinado por medio del análisis de tamices (cedazos, cribas) de malla de alambre con aberturas cuadradas, y se expresa en porcentaje de material que pasa por cada tamiz, según la Norma Coguanor NTG 41007 (ASTM C-33).

La distribución granulométrica de un agregado, tiene amplia influencia en la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto, la graduación es aquella

que por experiencia o por pruebas ha demostrado, para una condición dada produce concretos de óptima calidad.

Hasta la fecha no se ha llegado a obtener una graduación ideal, debido a los diferentes agregados existentes, sus formas y texturas, los distintos tipos y calidades de cemento y otros factores que influyen en el problema. En la actualidad, se dispone únicamente de rangos o límites de graduación entre los que se obtienen concretos de propiedades satisfactorias. Dichos límites deben de ser usados con cautela y teniendo en cuenta las condiciones y necesidades.

Los tamaños máximos retenidos, los tamices comúnmente utilizados, y el procedimiento de ensayo se describe en la Norma coguanor NTG 41010 h1 (ASTM C-136), siendo los tamices siguientes: 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200. Según el tamaño de partículas los agregados se clasifican en:

- Agregados finos (arenas)
- Agregados gruesos (gravas)

Las arenas para construcción deben estar dentro de los límites de tamices descritos en la norma (núm. 4 hasta núm. 200), aunque muchas veces posee tamaños menores que se llaman limos y arcillas, estos deben ser controlados.

Las funciones principales de las arenas dentro de las mezclas de concreto son:

- Facilitar su trabajabilidad
- Proporcionar elasticidad a la mezcla, evitando grietas en el fraguado
- Ocupar espacios entre la grava, reduciendo su porcentaje de vacíos

Entre los diferentes tipos de arenas se pueden mencionar:

- Arenas de ríos: son de muy buena calidad y provienen de la disgregación de la roca granítica o del granito.
- Arenas de mar: para ser usada en la construcción tiene que ser lavada, debido a que tienen sal mineral que produce la corrosión.
- Arenas de mina: si una arena de mina contiene más de 1 % de arcilla, tiene que lavarse antes de usarla, son ricas en cuarzo.
- Arenas artificiales: se tienen que fabricar en el lugar para obtener esta arena, hay que triturarla, pasarlo por un proceso de molienda.

El agregado fino (arenas), debe estar graduado dentro de los límites descritos en la norma, para reducir vacíos en la fabricación de concreto. Los siete tamices normalizados para agregado fino poseen aberturas que varían desde 150 μm hasta 9,50 mm (tamiz núm.100 a 3/8 plg.) ver tabla III, Norma Coguanor NTG 41007 (ASTM C-33). Las tolerancias para aberturas de las mallas en tamices se encuentran en la Norma americana (ASTM E-11).

Tabla III. **Límites de granulometría para agregado fino**

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9,5mm)	100
Núm. 4 (4,75 mm)	95 a 100
Núm. 8 (2,36 mm)	80 a 100
Núm. 16 (1,18 mm)	50 a 85
Núm. 30 (600 μm)	25 a 60
Núm. 50 (300 μm)	10 a 30
Núm. 100 (150 μm)	2 a 10

Fuente: Portland Cement Association (PCA), p. 108.

Mientras que el agregado grueso se ensaya en 13 tamices estándar, con aberturas que varían de 1,18 hasta 100 milímetros (0,046 pulgadas a 4,00 pulgadas) ver anexo A-01, Tamices para agregado grueso.

Los agregados gruesos para concreto, son los que su tamaño varía de 4,75 milímetros de diámetro, y generalmente llegan hasta 37,5 milímetros. Son extraídos de la cantera y de lo que resulta de la roca, existen molinos que al triturar seleccionan el tamaño, garantizando la granulometría, se encargan de formar la estructura de una obra, para cumplir ciertas funciones, tiene que reunir ciertos requisitos:

- Buena resistencia a la compresión
- Buena resistencia a la abrasión
- Forma adecuada de partículas
- No debe de contener material fino no orgánico

1.3.4. Propiedades de los agregados para concreto

Para que toda estructura cumpla su función y ningún elemento estructural falle, las propiedades de los agregados como materiales de construcción juegan un papel importante, las principales propiedades que deben cumplir son:

- Granulometría: debe cumplir los tamaños máximos permitidos por las especificaciones de la norma, influye directamente en la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto, se deben evitar vacíos y deficiencias de tamaños.
- Forma y redondez de la partícula: depende del tipo de roca y sus características, así como condiciones de sedimentación y transporte que experimento durante la transformación.

- Propiedades superficiales: se necesitan superficies con textura áspera, rugosidad e irregularidad en las partículas de agregado, para obtener una buena adherencia con la pasta de cemento.
- Carecer de impurezas: no deben presentar materias orgánicas, sales solubles, arcillas, limos, carbón, humo y partículas suaves, la capa externa puede estar formada por químicos nocivos al concreto, aunque la roca sea de buena calidad, las impurezas retrasan el fraguado y reducen la resistencia del concreto, y causan deterioro, los limos y arcillas provocan incrementos en el agua requerida.
- Propiedades físicas y mecánicas: influyen en la resistencia del concreto, en el endurecimiento, así como también en la durabilidad y el intemperismo. Estas propiedades son:
 - Peso volumétrico: utilizado para estimar cantidades de materiales y cálculos en proporcionamiento de mezclas. La cantidad de vacíos entre partículas afecta la demanda de cemento en el diseño de mezcla, por factores como mala graduación, textura superficial, forma, y angularidad.
 - La durabilidad: es la capacidad de resistir las acciones debidas al intemperismo, los agregados sufren deterioros en su tamaño, porosidad, permeabilidad y resistencia.
 - Resistencia a la abrasión se refiere a la capacidad de resistir impactos y fricción, esta depende en gran medida del tipo de roca y el grado de cementación y consolidación.
 - Propiedades térmicas: los efectos térmicos en los agregados causan dilatación y fisuración en el concreto, el calor intenso causa deterioro físico y químico en el concreto y descompone la mineralogía del agregado.

- Propiedades químicas y petrográficas: los agregados con ciertos compuestos químicos o mineralógicos, reaccionan con los álcalis del cemento, provocando expansiones y fallas en el concreto, existen tres medidas correctivas para agregados potencialmente reactivos.
 - Desechar el agregado.
 - Usar un cemento con bajo contenido de álcalis.
 - Agregar una cantidad suficiente de puzolana en la mezcla puede eliminar la expansión de algunas reacciones álcaliagregado.

Las propiedades químicas y petrográficas dependen de tres procesos geológicos principales, que son:

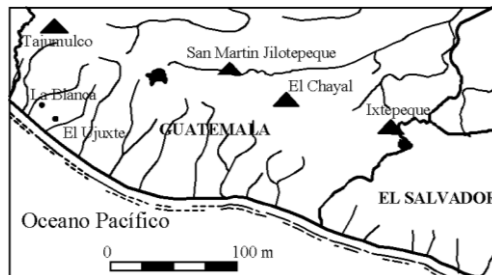
- Tipo de roca
- Condiciones de sedimentación y transporte
- Procesos y modificadores recientes

1.4. Zonificación de posibles bancos de material en la ciudad

Para el estudio de la obsidiana y pirita como agregados, se debe conocer donde se encuentran, y las características que ofrecen según el lugar de cristalización, por ser rocas volcánicas, es necesario indicar las posibles fuentes de abastecimiento de material, para ello se realiza una cuantificación de los volcanes dentro del territorio nacional y los conos volcánicos formados a partir de magma fundido como se muestra en el anexo A-02.

En Guatemala existen cuatro fuentes principales de obsidiana, que los antiguos pobladores utilizaban para intercambio de mercancías, estas son: El Chayal, San Martín Jilotepeque (río Pixcaya), Ixtepeque, y Tajumulco.

Figura 3. Principales fuentes de obsidiana en Guatemala



Fuente: Museo Nacional de Arqueología y Etnología de Guatemala, *Variación y distribución de las fuentes de navajas prismáticas de obsidiana en el Ujuxte, Guatemala, año 2004*. p. 958.

Realizar la segunda clasificación dentro del departamento de Guatemala, indicando fuentes cercanas, son 12 focos volcánicos, formados por diferentes tipos de rocas, donde se muestran las principales características (figura 4.)

Figura 4. Focos eruptivos cuaternarios, departamento de Guatemala

Nombre	Tipo de volcán	Petrografía dominante	Latitud N	Longitud W	Altura msnm	Otros:
Cerrito la Vega	Cono de escorias	Basalto	14° 21' 15"	90° 28' 40"	1 180	Cono pequeño posible basalto olivínico
Cerrito Planta Térmica	Domo	Riodacita	14° 27' 40"	90° 34' 45"	1 250	Domo de lava pequeño posible riodacita vítrea biotítica
Cerro Alto	Cono de escorias	Basalto	14° 21' 35"	90° 28' 45"	1 368	Cono de escorias y lava posible basalto olivínico
Cerro Brasil	Cono de escorias	Basalto	14° 21' 15"	90° 28' 50"	1 180	Pequeño cono de escorias y lavas
Cerro El Durazno	Domo	Riodacita	14° 26' 15"	90° 35' 10"	1 534	Domo de lava pequeño posible riodacita vítrea biotítica
Cerro El Jocotillo	Cono de escorias	Basalto	14° 22' 25"	90° 29' 45"	1 240	Cono pequeño posible basalto olivínico
Cerro Gordo	Cono de escorias	Basalto	14° 23' 00"	90° 30' 50"	1 300	Posible basalto olivínico parte del complejo volcánico del Pacaya
Cerro Grande	Domo	Andesita	14° 23' 23"	90° 35' 10"	2 560	Domo de lava con agujas Andesita piroxénica porfirítica
Cerro La Mariposa	Domo	Riodacita	14° 27' 40"	90° 36' 35"	1 630	Domo de lava pequeño posible riodacita vítrea biotítica
Cerro Limón	Domo	Riodacita	14° 27' 10"	90° 36' 20"	1 680	Domo de lava pequeño posible riodacita vítrea biotítica
Cerro Mal Paso	Domo	Riodacita	14° 27' 10"	90° 35' 20"	1 540	Domo de lava pequeño posible riodacita vítrea biotítica
Sitio Arqueológico Amatitlán	Domo	Riodacita	14° 28' 50"	90° 36' 40"	1 220	Domo de lava pequeño posible riodacita vítrea biotítica

Fuente: ICAITI. *Focos eruptivos cuaternarios de Guatemala*. P. 7.

Como se puede observar la petrografía dominante en el departamento de Guatemala es basalto y riolacita vítrea, aunque existen muestras que en el nororiente del departamento afloran a la superficie depósitos de obsidiana, la que generalmente se encuentra unida a la líparita (pirita), como es el caso de la ruta al Atlántico CA-09 norte, cerca del municipio de Palencia (ver figura 5), la historia indica que es una ruta muy rica en depósitos obsidiana, ya que era considerada una ruta comercial utilizada por los pueblos mayas en la época prehispánica, como en las cercanías no existe ningún foco volcánico la obsidiana que se encuentra en el lugar es producto de las grandes erupciones volcánicas de la era cuaternaria, lanzada por volcanes que se encuentran en los alrededores, entre los cuales se pueden mencionar los que están en los departamentos vecinos como El Progreso, Jalapa, Santa Rosa y Escuintla.

Figura 5. **Bancos de material en CA-09 Norte, Ruta al Atlántico**



Fuente: Imagen de Google Earth indicando posibles bancos de material, febrero 2014.

Los bancos de material obsidiana y arena piritica que afloran sobre la carretera al Atlántico, aproximadamente cerca del kilómetro 25,0 del municipio de Palencia, tienen las siguientes coordenadas: latitud $14^{\circ} 43' 38''$ N, y longitud $90^{\circ} 21' 32''$ O, además la muestra para realizar los ensayos se obtuvo del banco de material número 4, con un área promedio de 200 metros cuadrados.

2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS VÍTREOS PARA ELABORACIÓN DE CONCRETO

Dentro de los agregados vítreos se puede encontrar la obsidiana, roca volcánica de grano fino, con partículas que varían desde 1,00 mm hasta partículas grandes de 150 mm, dependiendo de la calidad y características del banco de extracción de material, predominando las partículas pequeñas inferiores a 50 mm, además también se puede mencionar como agregado fino la piritita, la cual es un mineral compuesto, que comúnmente se encuentra unida a la obsidiana, ambas rocas son producto del enfriamiento rápido de lava.

El tamaño del grano de las rocas ígneas condiciona su resistencia y en general se puede decir que las rocas ígneas de grano fino, presentan valores de resistencia a compresión y desgaste mejores que las ígneas de grano grueso. Actualmente no existe información exacta de concreto fabricado con agregados de textura vítrea. Su utilización dentro de la construcción es principalmente como rocas ornamentales, pero poseen características similares al granito, agregado que ofrece buena calidad para elaboración de concreto.

Es muy importante conocer las características de los agregados, debido a que estos ocupan una gran parte del volumen del concreto, y proporcionan mejores resistencias, sus características físicas influyen en las propiedades mecánicas y costo del concreto, por lo que usarlos tiene ventajas técnicas, mayor estabilidad de volumen y durabilidad.

Los agregados deben cumplir especificaciones de la Norma Coguanor NTG 41007 (ASTM C-33), utilizada como referencia, donde se clasifican de

acuerdo a varios parámetros y criterios, para fabricar concreto resistente y durable, sin embargo existen ciertos casos, donde algunos materiales pétreos que no cumplen con la norma, tienen historia de comportamiento satisfactorio, y pueden aceptarse mediante aprobación especial cuando se presente evidencia suficiente de comportamiento favorable.

El agregado debe estar constituido por partículas limpias, resistentes, y durables, que desarrollen buena adherencia con la pasta de cemento, libres de recubrimientos de arcilla e impurezas que interfieran el desarrollo de resistencia del concreto. Los agregados friables son capaces de rajarse, son indeseables.

Además de la clase, tipo y familia a la que pertenece el agregado, también es importante conocer las propiedades mecánicas, características físicas, químicas, y petrográficas, para establecer si son aceptables como agregados. Las propiedades que normalmente interesa conocer se detallan a continuación:

Peso específico es la relación entre el peso seco de una muestra de agregado y el volumen de agua desplazada por esta, cuando se encuentra saturada y superficialmente seca, norma coguanor NTG 41010 h8 y NTG 41010 h9 (ASTM C-127 y ASTM C-128), para agregado grueso y fino respectivamente.

Peso unitario es la relación entre el peso de una determinada cantidad de este material y el volumen ocupado por el mismo, considerando como volumen al que ocupan las partículas de agregado, sus correspondientes poros y espacios intergranulares, Norma Coguanor NTG 41010 h2 (ASTM C-29).

Granulometría es la distribución de las distintas fracciones de las partículas de un agregado, cuando se tamizan a través de una serie de mallas normalizadas según la Norma Coguanor NTG 41010 h1 (ASTM C-136).

El módulo de finura es un índice del tamaño dentro de las partículas que componen una muestra de agregado fino. Este parámetro indica el porcentaje de absorción de agua del material, Norma coguanor NTG 41006 (ASTM C-125).

Resistencia al desgaste y abrasión, que los agregados oponen a sufrir rotura o desintegración de partículas, característica que se considera índice de calidad, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio deteriorantes de carácter abrasivo. Además, se cree un buen indicio para soportar sin daño, acciones de fractura que a menudo recibe el agregado grueso, en el manejo previo a fabricar el concreto. Norma coguanor NTG 41010 h20 (ASTM C-131).

Contenido de materia orgánica, debido a que afectan el proceso de fraguado del cemento, interfiriendo con el desarrollo normal de la resistencia y endurecimiento del concreto, es muy importante determinar el grado de concentración en que se encuentra presente en los agregados. Norma Coguanor NTG 41010 h4 (ASTM C-40).

Reactividad álcali-agregado es la reacción química entre constituyentes de sílice del agregado con el álcali en el cemento, ocurre mayormente en lugares húmedos y cálidos, resulta en una excesiva expansión, agrietamiento y ruptura del concreto endurecido. Norma Coguanor NTG 41010 h13 (ASTM C-289).

Angularidad y partículas planas, es una propiedad importante que se debe conocer del agregado debido a que según el tipo de angularidad este demandara mayor cantidad de agua y cemento para cubrir su superficie, y la cantidad excesiva de partículas planas provoca segregación en el concreto. Norma Coguanor NTG 41010 h12 (ASTM D-4791).

2.1. Obsidiana como agregado grueso

Es una roca ígnea (extrusiva), relativamente muy joven, principalmente de la era terciaria y cuaternaria, formada por el producto de lava fundida enfriada con tanta rapidez que no tuvo tiempo de cristalizar, y aunque lo parezca no es un mineral, porque no es cristalina. Este tipo de roca es denominada de grano fino porque se encuentra en partículas pequeñas.

Actualmente la obsidiana es reconocida como el único material capaz de tener filo perfecto, es decir, es posible afilarlo hasta que en su borde haya un solo átomo, lo que la convierte en un material usado en cirugías de alto riesgo, posee características muy similares al granito.

Estas rocas proceden principalmente de yacimientos en Estados Unidos, España, Hungría, Islandia, Tenerife, Islas Eólicas, México, Perú, Italia, y Escocia. En la actualidad se usa poco como gema; utilizándose principalmente como piedra ornamental y para la elaboración de objetos decorativos.

2.1.1. Propiedades mecánicas

Es una roca volcánica de alta dureza, 5,00 a 5,50 en la escala de Mohs, tiene propiedades muy similares a las del granito, su peso específico es de 2,60 kg/m³, la superficie de rotura es concoide, es decir curva, por ser una roca ígnea de grano fino presenta buena resistencia a compresión y desgaste.

La obsidiana presenta aristas agudas y predominan las partículas semi redondas, debido a la superficie lisa que presenta, ofrece un bajo valor de adherencia y absorción de agua, tiene buena resistencia al fuego y también a bajas temperaturas.

2.1.2. Características químicas

La obsidiana tiene una composición de silicatos aluminicos y un gran porcentaje (70 % o más) de óxidos sílicos (SiO_2), lo que significa que pertenece a las rocas de carácter ácido, las cuales representan un 60 % de las combinaciones más importantes de minerales sobre la corteza terrestre, su composición es muy parecida a la del granito y la riolita (ver tabla IV).

Tabla IV. Composición química de la obsidiana

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA OBSIDIANA										
Oxidos	SiO_2	Na_2O	PPI	Al_2O_3	K_2O	P_2O_5	Fe_2O_3	MgO	CaO	MnO_2
Contenido (%)	61,27	3,58	10,32	13,20	1,75	0,09	3,73	2,29	3,15	0,05

Fuente: www.ecured.cu/index.php/Obsidiana. Consulta: 3 de enero de 2014.

Pertenece al grupo de los silicatos, se clasifica como vidrio debido a su estructura atómica desordenada y químicamente inestable, razón por la que su superficie tiene una cubierta opaca llamada córtex.

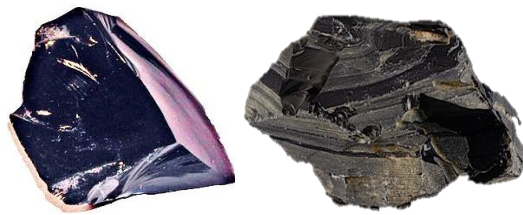
La obsidiana es llamada vidrio volcánico, ya que posee una textura vítrea o holohialina, donde los cristales se presentan de forma desordenada y más que una roca es considerada un mineraloide. Comparte características químicas con el cuarzo, pero su ausencia de estructura cristalina hace que carezca de sus propiedades ópticas y piezoeléctricas.

2.1.3. Características físicas

Generalmente es una roca de color negro brillante, aunque puede variar según la composición de las impurezas que la forman, de verde muy oscuro, al

rojizo y estar veteadas en blanco, además posee una transparencia traslúcida, tiene la cualidad de cambiar su color según la manera de cortarse. Posee bordes agudos y textura vítrea, es una roca de gran dureza y peso específico, además su superficie es lisa, poco adherente y con poca absorción.

Figura 6. **Roca Obsidiana**



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Obsidiana>. Consulta: 18 de noviembre de 2012.

2.1.4. **Características petrográficas**

El estudio detallado al microscopio ha mostrado la presencia de burbujas gaseosas (vacuolas), típicas de fusiones vítreas, así como de numerosos cristales formados por feldespatos, anfíboles aciculares, pajitas de mica y granos de cuarzo, ver tabla V.

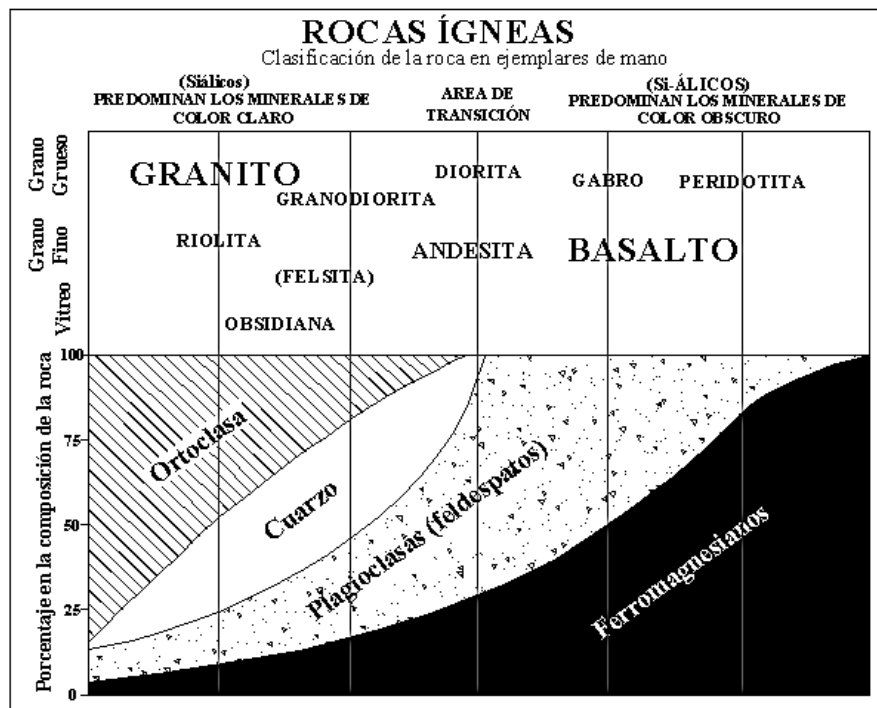
Tabla V. **Composición mineral de la obsidiana**

COMPOSICIÓN MINERAL	
Mineral / Fase	Contenido (%)
Fase Vítreas	70-80
Montmorillonita	10-15
Feldespato	3-5
Cuarzo	1-2

Fuente: www.ecured.cu/index.php/Obsidiana. Consulta: 3 de enero de 2014.

Entre las características petrográficas, la obsidiana es un vidrio volcánico que pertenece a las riolitas, es muy pobre en el contenido de agua, solamente (0,25 % al 2,30 %). Con el microscopio no suele verse en ella ningún elemento cristalizado. Posee una textura microsferulítica y fractura concoide, posee los mismos elementos que la traquita y pasa insensiblemente a esta roca o a petrosilex, o por el contrario toma estructura fibrocelular, a piedra pómez.

Figura 7. Carta de composición petrográfica de las rocas



FUENTE: WILEY & SONS, John, *Rocks and Rock Minerals*, p. 144.

La composición petrográfica general está indicada por la línea que baja desde el nombre de la roca a la carta de composición: el granito y la riolita están formados de aproximadamente 50 % de ortoclasa, 25 % de cuarzo y 25 % dividido entre feldespatos plagioclasas y minerales ferromagnesianos.

La importancia esta remarcada por el tamaño de la letra utilizada en el nombre de la roca: el granito es la roca de grano grueso más importante; el basalto es la más importante de las rocas de grano fino.

2.2. Pirita como agregado fino

El nombre pirita se deriva de la raíz griega *pyrós*, que significa fuego por su capacidad para producir chispas al ser golpeada fuertemente, por lo que fue utilizada para hacer fuego por los primeros homínidos,

Nombre aplicado a varios sulfuros metálicos (la pirita S_2Fe). Su verdadero nombre es Liparita, el cual proviene de la localidad de Lípari en Italia, donde se encuentra en abundante cantidad, es una roca efusiva joven, de la era terciaria al presente, generalmente se encuentra unida a la obsidiana y le sirve como conglomerado (ver figura 8). Es un mineral presente en las rocas de todo tipo, plutónicas, volcánicas, sedimentarias, metamórficas.

Figura 8. Roca pirita



FUENTE: <https://elprofedenaturales.wordpress.com/tag/rocas/>. Consulta: noviembre 2012.

Se origina al enfriarse con rapidez las corrientes de lava volcánica. Es un mineral compuesto de color gris claro y brillo nacarado, parte crisocola, parte fluorita y parte talco. Es una roca extremadamente ligera y porosa.

La pirita, es uno de los minerales más comunes, puede formarse en cualquier ambiente geológico y formar yacimientos de tamaño considerable. A menudo contiene trazas de níquel, cobalto, zinc, plata, telurio, arsénico y oro, pudiendo ser fuente de este elemento si el contenido es suficientemente alto.

Los fenicios extraían pirita del río Tinto, en la provincia de Huelva, para obtener oro y cobre. En la actualidad, la zona del sur de Portugal y las provincias de Huelva y Sevilla contienen algunos de los yacimientos de pirita más grandes del mundo. En estos yacimientos la pirita forma estratos de decenas de metros, continuos por centenares de metros.

Al aire libre la pirita se meteoriza fácilmente y se convierte en limonita. Además de para extraer oro, la pirita se usa en gran cantidad para fabricar ácido sulfúrico, como abrasivo, y para fabricar los colores rojo y marrón. Los cristales más grandes pulimentados, pueden usarse como piedra ornamental.

2.2.1. Propiedades mecánicas

Es una roca pesada, frágil y no exfoliable, debido al peso específico de los minerales que la componen, presenta buena resistencia mecánica y en algunos casos sirve como abrasivo. Es una roca muy resistente al frío y al fuego. Es el sulfuro más duro conocido, se distingue por su gran dureza que varía entre 6,00 y 6,50 en la escala de Mohs. Su densidad relativa se sitúa entre 4,95 y 5,10 g/cm³, la raya y el polvo son de color negro verdoso.

2.2.2. Características químicas

La líparita es un mineral compuesto por sulfuro de hierro, FeS₂, es el mineral sulfuroso más común. Su composición es 46,55 % de hierro y 53,45 %

de azufre, se disuelve fácilmente en ácido nítrico. Cristaliza en el sistema cúbico y se encuentra con frecuencia, en forma de grandes cristales bien definidos tanto como en formaciones masivas.

Se conocen en la pirita unas 50 formas diferentes de cristales, pero son más comunes el cubo y el pentadodecaedro, el mineral es amarillo latón, opaco y tiene un brillo metálico intenso.

En su formación, la lava proyectada al aire sufre una gran descompresión. Consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico que contiene feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas; pasta de grano fino a vítreo en las que los cristales de biotita forman fenocristales.

Al tener aproximadamente partes iguales de azufre y hierro se utiliza sobre todo como materia prima para el azufre, menos abundante que el hierro en la corteza terrestre, y en la fabricación de ácido sulfúrico, también como material secundario para la extracción de hierro, y en la obtención de otros metales nobles que le suelen acompañar (oro, cobre, cobalto, níquel).

2.2.3. Características físicas

Es una roca llena de agujeros, con baja densidad (flota en el agua) y muy porosa, por ser una lava desgasificada, ligera, esponjosa y áspera. De colores variados: negro, gris claro, blanco nacarado, verde o marrón.

Presenta granos finos y gran porcentaje de material menor al tamiz núm. 200. El parecido de la pirita con el oro hizo que muchos buscadores lo confundieran con este metal.

2.2.4. Características petrográficas

Es un mineral fosilizante, contiene ferro magnesiano, feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas; es una pasta de grano fino a vítreo en la que cristales de biotita forman fenocristales. Pertenece a los granitos apliticos, equivalente de estos últimos: 42,0 % de sanidino $Or_{67}Ab_{33}$, 33,0 % de cuarzo, 23,0 % de plagioclasas $Ab_{85}An_{15}$. Parte de todos estos en la pasta al estado de vidrio; 2,0 % de diópsido (parte de fenocristales) biotita, apatito, y mena. Número cromático 02, quimismo aplitigranítico: I."4.1".3. Carácter pacífico sin riolita.

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, MECÁNICA Y PETROGRÁFICA DE LOS AGREGADOS

Para conocer las propiedades físicas, químicas, mecánicas y petrográficas de los agregados se realizan los ensayos descritos en las normas Coguanor (NTG 41007 (ASTM C-33), NTG 41010-h1 (ASTM C-136), NTG 41010-h2 (ASTM C-29), NTG 41010-h3 (ASTM C-117), NTG 41010-h4 (ASTM C-40), NTG 41010-h6 (ASTM C-88), NTG 41010-h8 (ASTM C-127), NTG 41010-h9 (ASTM C-128), NTG 41010-h20 (ASTM C-131), en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería (CII).

El ensayo petrográfico ASTM C-295, fue realizado en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), de la Universidad de San Carlos de Guatemala. También se realizó un análisis químico de óxidos para determinar la reactividad potencial, Norma NTG 41010-h13 (ASTM C-289), en el Laboratorio de Análisis Físico Químico del CII.

Para realizar los ensayos se recolectaron 300 libras de material obsidiana junto a su conglomerado líparita (pirita), del banco de material 4 (figura 5), ubicado en kilómetro 24,0 carretera al Atlántico, colonia San Mauricio, Palencia, coordenadas (latitud 14° 43' 38" N, longitud 90° 21' 32" O), la muestra se obtuvo de material suelto producto de excavaciones que personas del lugar realizan.

El material de comparación es agregado triturado de $\frac{3}{4}$ " (19,05 mm) de roca y arena caliza de (4,75 mm), procesado de la cantera de materiales Agreca planta zona 6, coordenadas (latitud 14° 40' 33" N, longitud 90° 29' 29" O), donde donaron 200 libras de cada agregado para realizar los ensayos.

Los ensayos que comprenden la determinación de las propiedades físicas que se realizaron para cada agregado grueso fueron: peso específico, peso unitario, porcentaje de vacíos, porcentaje de absorción y granulometría, y para cada agregado fino se realizaron además de los anteriores, los ensayos de contenido de materia orgánica y porcentaje de finos. Para las propiedades mecánicas se utilizó el ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles. Además, se realizó el ensayo de reactividad potencial de reducción por alcalinidad y sílice disuelta en el Área de Química Industrial del CII.

Para el examen petrográfico se utilizó un microscopio estereoscópico de cuatro tamaños de lentes, con el cual se clasificaron las partículas, minerales y componentes de la muestra de obsidiana y arena piritita según el tamiz.

3.1. Análisis completo de la obsidiana

Para aceptar el agregado grueso de obsidiana dentro de las mezclas de concreto es necesario realizar un análisis sobre las propiedades mecánicas y características físicas, químicas y petrográficas, propias de la roca, estas pueden ofrecer ventajas y desventajas técnicas para su utilización, esto se realiza mediante los siguientes ensayos normalizados.

3.1.1. Granulometría

Los agregados dentro de la mezcla de concreto, ayudan principalmente a resistir los esfuerzos de compresión que actúan sobre las estructuras, y reducir costos de fabricación, siempre que se encuentren bien distribuidos, para ello es importante conocer los límites permitidos dentro de la Norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136), para una buena granulometría y calidad de los mismos.

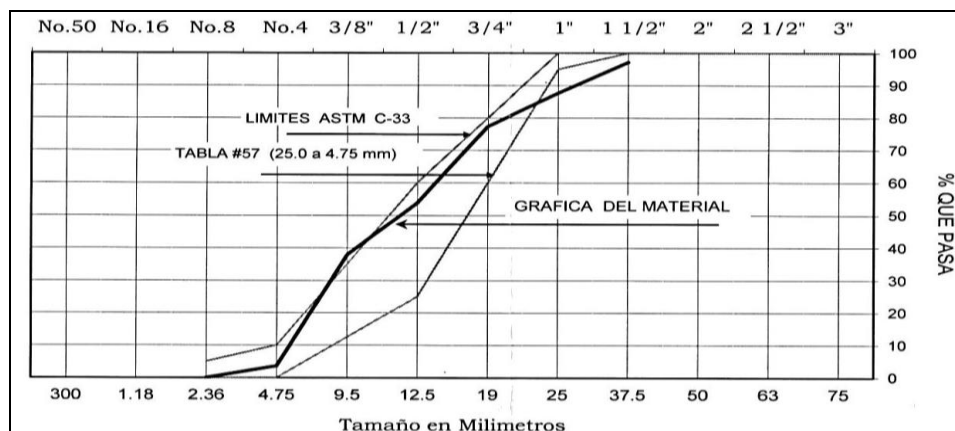
Los agregados para concreto, deben cumplir los requisitos especificados en la norma para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar, en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto, para el ensayo de granulometría se tomó una muestra representativa de material ya separado de su conglomerado.

Tabla VI. **Granulometría de la obsidiana**

GRANULOMETRÍA DE OBSIDIANA				
TAMAÑO DE TAMICES	PESO DE MATERIAL RETENIDO (grs.)	% RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA DE ACUMULADO
1 1/2"	402,0	2,87	2,87	97,13
1"	1 331,0	9,49	12,35	87,65
3/4"	1 448,0	10,32	22,67	77,33
1/2"	3 302,0	23,54	46,21	53,79
3/8"	2 236,0	15,94	62,15	37,85
# 4	4 807,0	34,26	96,41	3,59
FONDO	503,5	3,59	100,00	0,00
TOTAL	14 029,5	100,00		

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Curva granulométrica de la obsidiana**



Fuente: informe del CII para agregado grueso obsidiana, apéndice 1.

Como se puede observar en la gráfica de la granulometría de la obsidiana como agregado grueso, es un material que en estado natural presenta mucha partícula de tamaño 3/8" (9,50 mm), lo cual representa un incremento en el consumo de agua y cemento debido a que se sale de los límites permitidos, de igual forma posee pocas partículas de tamaño 1 1/2", por lo que se considera su tamaño nominal de 2" (54 mm).

3.1.2. Peso unitario

Los resultados del ensayo realizado con las especificaciones de la norma Coganor NTG 41010 h2 (ASTM C-29), expresan que la muestra del agregado grueso de obsidiana tiene un peso unitario suelto de 1 390 kg/m³, y un peso unitario compactado de 1 470 kg/m³, los cuales son de utilidad para realizar el diseño de la mezcla de concreto. Los datos obtenidos durante el ensayo para la obsidiana como agregado grueso se resumen en la siguiente tabla.

Tabla VII. Resumen de peso unitario de obsidiana

PESO UNITARIO	SUELTO 1	SUELTO 2	SUELTO 3	COMPACTADO 1	COMPACTADO 2	COMPACTADO 3
Peso de recipiente (kgs)	3,618	3,618	3,618	3,618	3,618	3,618
peso rec + material (kgs)	13,373	13,445	13,277	13,942	13,902	13,922
Peso del material (kgs)	9,755	9,827	9,659	10,324	10,284	10,304
Volumen recipiente (Its)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Peso unitario (kg/m ³)	1 394	1 404	1 380	1 475	1 469	1 472
PROMEDIO	1 390			1 470		

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Prueba de desgaste y abrasión

Este tipo de prueba fue difícil clasificarla para la obsidiana por ser un material con textura vítrea, el procedimiento no era el indicado debido a que no

existen especificaciones para este tipo de material, se procedió a realizar la prueba de desgaste y abrasión en la máquina de los Ángeles de la misma forma que para cualquier otro material pétreo, siguiendo el procedimiento descrito por la norma NTG 41010 h20 (ASTM C-131).

Los resultados de granulometría clasifican la abrasión como tipo A, donde la muestra del material debe ser lavada y secada, tomando 1 250 +/- 10 gramos retenidos en cada uno de los tamices (1", ¾", ½" y ⅜"), obteniendo un peso total de la muestra inicial de 5 000 gramos, y luego de realizado el ensayo el peso final de la muestra es 2 783 gramos, a este se debe restar el peso del recipiente que lo contiene 230 gramos, para un peso final del material de 2 553 gramos, equivalente al 51 % del peso inicial, indicando una pérdida del material de 49 %, que lo califica como poco resistente al mezclado, de forma manual (con palas), o algún tipo de maquina mezcladora (concretera o camión mezclador).

$$\% \text{ desgaste} = (P_i - P_f) / P_i * 100 = (5\ 000 - 2\ 553)/5000 * 100 = 48,94 \%$$

Tabla VIII. **Resultado de ensayo de abrasión de obsidiana**

ENSAYO DE ABRASIÓN OBSIDIANA	
Norma	ASTM C-131
Muestra	OBSIDIANA
Tipo	A
Peso final muestra	2 583 gramos
Desgaste porcentual	48,94

Fuente: elaboración propia.

Según la Norma NTG 41010 h20 (ASTM C-131), la pérdida de material por desgaste y abrasión en la máquina de los Ángeles, debe ser menor a 45 % del peso inicial, para agregados que en su mayoría tiene de tamaño ¾" (19 mm).

3.1.4. Peso específico y absorción

El peso específico y la absorción de la obsidiana, se determinan mediante los procedimientos descritos en la Norma NTG 41010 h8 (ASTM C-127), la cual utiliza el método de gravimétrico de desplazamiento del agua, para obtener el peso específico (densidad relativa) y absorción del agregado.

$$P_e = B / (A + B - C) \quad \% \text{ Abs} = ((M_{ss} - M_n) / M_n) * 100$$

Donde:

Pe = peso específico

A = peso de probeta + agua (marca de 500 ml)

B = peso del material

C = peso de probeta + material + agua (marca de 500 ml)

M_n = masa natural al aire en gramos

M_{ss} = masa superficie seca saturada al aire en gramos

% Abs= porcentaje de absorción

El peso específico de la obsidiana se realizó por el método gravimétrico, utilizado para agregados finos, pero que también se puede aplicar a los agregados gruesos, demuestra un resultado de 2,37 adimensional, que puede ser multiplicado por la densidad del agua, para obtener el peso específico del agregado en kg/m³, siendo este de 2 370 kg/m³, este valor es influenciado por la naturaleza del material y representa una medida indirecta de su calidad.

Por lo general valores altos indican buena calidad, rango de (2 400 a 2 900), mientras que los valores bajos son materiales porosos poco confiables, sirve para calcular el volumen que ocupa el agregado dentro de las mezclas.

Al momento de realizar el ensayo de absorción se determinó que es un agregado poco absorbente, posee únicamente el 1,10 % de absorción de agua, lo cual trae ventajas en el uso de cantidades pequeñas de agua, y la desventaja principal que puede tener poca trabajabilidad el concreto.

Tabla IX. **Peso específico de la obsidiana**

PESO ESPECIFICO	1	2	3
Peso probeta	386,70	388,36	388,90
Peso probeta + material	586,75	588,40	588,91
Peso probeta + mat + H ₂ O	999,40	999,85	999,10
Peso probeta + H ₂ O	883,70	884,10	883,60
Temperatura	19 °C	19 °C	19 °C
Peso del material	200,05	200,04	200,01
Peso específico	2,372	2,373	2,367
PROMEDIO	2,37		

Fuente: elaboración propia, formato CII.

3.1.5. **Determinación de impurezas**

Al agregado grueso de obsidiana no se le realizó ningún tipo de ensayo, únicamente una inspección visual de las partículas y la presencia o ausencia de otro tipo de material, ya sea otro agregado o partículas de materia orgánica.

Como la muestra obtenida de obsidiana fue recogida de un banco de material expuesto al aire libre sin ninguna protección, presentaba cierta cantidad de pequeñas partículas de materia orgánica, equivalentes al 0,01 % del volumen total de la muestra, además presentaba partículas de otro agregado, en este caso una riolita de color beige y rosado de poca densidad equivalente al 1,00 %, que pueden afectar de alguna forma la resistencia final de las mezclas de concreto.

El anexo 3, muestra los límites máximos permisibles para sustancias perjudiciales y requisitos de propiedades físicas del agregado grueso para concreto, dependiendo del lugar de aplicación, del elemento a construir o diseñar. En Guatemala principalmente se utilizan límites de sustancias perjudiciales únicamente para agregados finos.

3.1.6. Porcentaje que pasa por el tamiz número 200

La norma NTG 41010 h3 (ASTM C-117), describe el procedimiento para este ensayo, utilizando el método A de la misma, esta prueba sirve para conocer si la muestra de obsidiana grueso, posee partículas finas adheridas a su superficie, o partículas que se pueden degradar durante el lavado a tamaños más pequeños capaces de pasar por el tamiz número 200 (75 μm), afectando la resistencia y la adherencia de la pasta de cemento al agregado, la fórmula para determinar este porcentaje es la siguiente.

$$\% \text{ Pasa tamiz 200} = (M_o - M_f) / M_o * 100 = (500,1 - 499,5) / 500,1 * 100 = 0,1199$$

Donde:

M_o = masa inicial = 500,1 gramos

M_f = masa final = 499,5 gramos

% pasa tamiz número 200 = 0,1 %

Se hace una comparación entre los pesos de las muestras y el faltante, es lo que pasa por el tamiz número 200. Para la muestra de obsidiana el valor obtenido después de realizado el ensayo es de 0,1 % por el método A. Esto indica que es un material con poca cantidad de partículas que logran pasar el tamiz número 200.

3.1.7. Determinación de reactividad potencial

Este ensayo se realizó bajo las especificaciones de la Norma Coguanor NTG 41010 h13 (ASTM C-289), por el método químico, sirve para conocer si los agregados presentan algún tipo de reactividad a los componentes del cemento a largo o corto plazo. Se proporcionó una muestra de obsidiana de 500 gramos para la realización del ensayo generando los siguientes resultados. Identificaron la muestra como RG-332-012-13G (obsidiana grueso).

Tabla X. **Reactividad potencial de obsidiana grueso**

Identificación de muestra	RESULTADOS		
	Reducción alcalina (mmol/L)	Sílice disuelta (mmol/L)	Clasificación según norma
RG-332-012-13-G (Obsidiana/Grueso)	76,0 ± 15,7	34,7 ± 5,8	INOCUO

Fuente: informe 31237 del Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 7.

3.1.8. Determinación petrográfica

Este ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM C-295, utilizando un microscopio óptico de hasta 100X, equipo propiedad del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), se procedió a clasificar las características relevantes de cada uno de los tamaños retenidos en cada tamiz (del 1 ½ hasta el 3/8”) para agregado grueso.

El recuento de partículas se debe registrar en tablas, que pueden colocarse en el informe. Cuando el examen se ha completado, las notas deben contener información para la preparación de cuadros y descripciones. En las tablas se debe indicar la composición y condición de las muestras de las

fracciones de tamiz, y el promedio ponderado, basado en la clasificación de la muestra recibida y la distribución de los componentes por fracciones de tamiz.

Las características que se tomaron en cuenta para clasificar la obsidiana como agregado grueso, se describen en la tabla XI de acuerdo al tipo de roca con mayor número de partículas, y fueron las siguientes particularidades:

- Textura de la superficie de la partícula
- Tamaño de grano y color, forma de la partícula
- Estructura interna, incluyendo poros, embalaje, cementación de granos
- Composición mineral
- Heterogeneidades significativas
- Condición física general del tipo de roca en el de la muestra
- Recubrimientos o incrustaciones, y
- Elementos nocivos para provocar una reacción química en el concreto

Tabla XI. **Clasificación ensayo petrográfico de obsidiana**

ROCA	1 1/2"		1"		3/4"		5/8"		1/2"		3/8"	
	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%
Obsidiana típica	4	80,0	19	100,0	31	77,5	59	77,6	148	85,1	346	86,9
Retinita	1	20,0	0	0,0	7	17,5	10	13,2	13	7,5	24	6,0
Riolita vitrea	0	0,0	0	0,0	2	5,0	6	7,9	10	5,7	17	4,3
Toba	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	1,3	2	1,1	9	2,3
Pomez	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,6	2	0,5
Brecha obsidiana	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Riolita	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Vidrio vesicular	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Materia orgánica	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
TOTALES	5	100,0	19	100,0	40	100,0	76	100,0	174	100,0	398	100,0

Fuente: elaboración propia.

3.1.9. Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio

Este ensayo se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88), en donde se muestra el procedimiento a efectuar, en el caso de la muestra de agregado grueso de obsidiana, al igual que un agregado pétreo, se utilizó sulfato de sodio. Y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XII. Resultados de resistencia a sulfato de sodio de obsidiana

OBSIDIANA						
TAMAÑOS DE TAMIZ		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	Porcentaje desgaste	Desgaste ref. a graduación
PASA	RETENIDO					
2 1/2" (63,5 mm)	1 1/2" (38,10 mm)	2,87	----	-----	----	----
1 1/2" (38,10 mm)	3/4" (19,05 mm)	19,81	1505,80	1504,50	0,09	0,02
3/4" (19,05 mm)	3/8" (9,52 mm)	39,48	1001,90	988,10	1,38	0,54
3/8" (9,52 mm)	núm. 4 (4,76 mm)	34,26	300,60	295,60	1,66	0,57
	Fondo	3,59	----	-----	----	----
TOTALES		100,00	2808,30	2788,20	-----	1,13

Fuente: Informe 31233 de Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 10.

Las especificaciones en la Norma NTG 41007, tabla 3, el agregado grueso sujeto a cinco ciclos del ensayo de resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio menor del 12 % cuando se utiliza sulfato de sodio, y menor de 18 % cuando se utiliza sulfato de magnesio, en este caso la pérdida es 1 %, lo que indica que la obsidiana cumple con la norma.

3.2. Análisis completo de la pirita

La pirita (arena de obsidiana), como agregado fino dentro de las mezclas de concreto, no es muy utilizada por lo que se necesita conocer las ventajas y desventajas que ofrecen sus propiedades y características para la fabricación

de concreto, esto se realiza mediante los ensayos especificados en la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), que se utilizan como parámetros de aceptación.

3.2.1. Granulometría

Una buena granulometría de arena pirita, debe ayudar a facilitar un mejor acabado, trabajabilidad y fluidez, de la mezcla de concreto, también reducir vacíos entre los agregados gruesos, evitando fricción por movimientos, y reducir costos de fabricación, debido al aumento de cemento para llenar dichos vacíos, motivos importantes para conocer los límites permitidos dentro de la Norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136), para la distribución de los distintos tamaños y calidad de los agregados finos, para el ensayo se tomó una muestra de material aislado del conglomerado, a través de pasar por el tamiz número 4 (4,75 mm).

Tabla XIII. **Granulometría de la arena pirita**

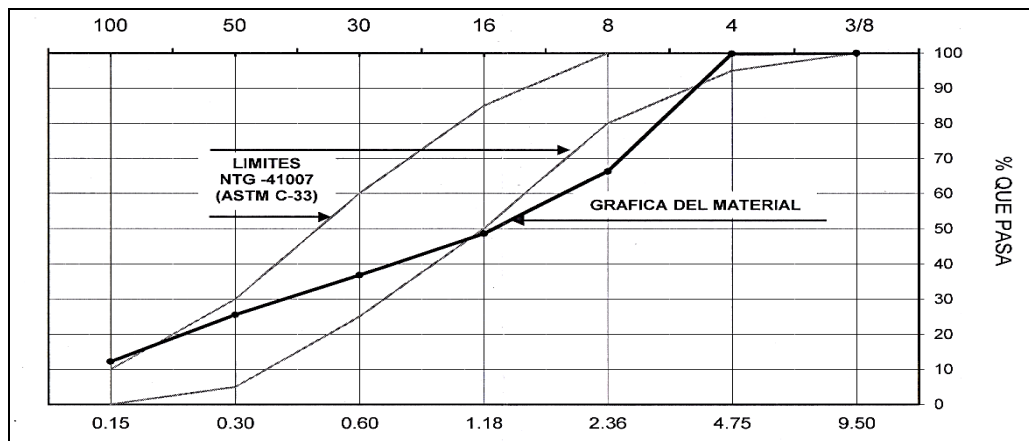
GRANULOMETRÍA DE PIRITA				
TAMAÑO DE TAMICES	PESO DE MATERIAL RETENIDO (grs.)	% RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA DE ACUMULADO
3/8"	0,0	0,00	0,00	100,00
# 4	1,0	0,20	0,20	99,80
# 8	167,5	33,50	33,70	66,30
# 16	88,6	17,72	51,42	48,58
# 30	59,0	11,79	63,21	36,79
# 50	56,3	11,25	74,46	25,54
# 100	66,7	13,33	87,79	12,21
FONDO	61,1	12,21	100,00	0,00
	500,0	100,0		
MODULO DE FINURA				3,11

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar en la tabla granulométrica de la pirita, es un material que tiene mucha partícula de tamaño número 4 clasificándola como una arena

gruesa, por tener un módulo de finura superior a 2,9 dentro del rango de las arenas, también se observa que existe bajo porcentaje de partículas retenidas en el tamiz número 8 y número 16, debido que la gráfica se sale de los límites.

Figura 10. **Curva granulométrica de la pirita**



Fuente: Informe entregado por CII para agregado fino pirita, apéndice 2.

3.2.2. **Peso unitario**

El ensayo de peso unitario se realiza con los procedimientos descritos en la Norma Coguanor NTG 41010 h2 (ASTM C-29), los resultados demuestran que el agregado fino de arena pirita tiene un peso unitario suelto de 1 360 kg/m³, y un peso unitario compactado de 1 530 kg/m³, valores útiles para realizar el diseño de la mezcla de concreto.

La diferencia entre peso unitario suelto y peso unitario compactado, indica que los vacíos dejados por partículas en el peso unitario suelto son suficientes, para hacer una diferencia de volumen en la compra de material, los resultados obtenidos del ensayo para peso unitario de pirita se muestran a continuación.

Tabla XIV. **Peso unitario de la arena pirita**

PESO UNITARIO DE PIRITA						
PESO UNITARIO	SUELTO 1	SUELTO 2	SUELTO 3	COMPACTADO 1	COMPACTADO 2	COMPACTADO 3
Peso de recipiente (kgs)	1,701	1,701	1,701	1,701	1,701	1,701
peso rec + material (kgs)	5,635	5,574	5,504	5,949	6,054	6,170
Peso del material (kgs)	3,934	3,873	3,803	4,248	4,353	4,469
Volumen recipiente (lts)	2,843	2,843	2,843	2,843	2,843	2,843
Peso unitario (kg/m³)	1 384	1 362	1 338	1 494	1 531	1 572
PROMEDIO	1 360			1 530		

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Prueba de desgaste y abrasión

Esta prueba se omitió para la arena pirita, por ser difícil de clasificarla, al ser conglomerado de la obsidiana vítrea, no existe norma para este material.

3.2.4. Peso específico y absorción

La Norma NTG 41010 h9 (ASTM C-128), describe el procedimiento para determinar el peso específico (densidad relativa) y la absorción de la arena pirita, utilizando el método gravimétrico de desplazamiento del agua, mediante el uso de las siguientes fórmulas.

$$P_e = B / (A + B - C) \quad \% \text{ Abs} = ((M_{ss} - M_n) / M_n) * 100$$

Donde:

Pe = peso específico

A = peso de probeta + agua (marca de 500 ml)

B = peso del material en gramos

C = peso de probeta + material + agua (marca de 500 ml)

M_n = masa natural al aire en gramos

M_{ss} = masa superficie seca saturada al aire en gramos

% Abs= porcentaje de absorción

El ensayo de peso específico de la arena pirita, muestra un resultado de 2,35 adimensional, que se multiplica por la densidad del agua, para obtener el peso específico del agregado en kg/m³, siendo este de 2 350 kg/m³, este valor está asociado a la naturaleza del material y representa una medida indirecta de su calidad, por lo general valores mayores de 2 400 indican buena calidad, mientras que los valores inferiores son materiales porosos y poco confiables, sirve para calcular el volumen que ocupa el agregado dentro de las mezclas.

Tabla XV. **Peso específico de la arena pirita**

AGREGADO FINO ARENA PIRITA			
PESO ESPECIFICO	1	2	3
Peso probeta	161,60	160,80	161,20
Peso probeta + material	661,60	660,80	661,20
Peso probeta + mat + H ₂ O	944,10	947,40	946,80
Peso probeta + H ₂ O	657,90	658,20	660,50
Temperatura	21 °C	21 °C	21 °C
Peso del material	500,00	500,00	500,00
Peso específico	2,339	2,372	2,340
PROMEDIO	2,350		

Fuente: elaboración propia, formato CII.

El ensayo de absorción de la pirita determinó que es un agregado poco absorbente, sólo el 0,34 % de absorción de agua, lo cual trae ventajas en el uso de pequeñas cantidades de agua, y la desventaja es que puede tener poca trabajabilidad la mezcla de concreto.

3.2.5. Determinación de impurezas

Este ensayo se realiza bajo especificaciones de la norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40), donde se detalla el procedimiento a efectuar, insumos, equipo utilizado, y análisis de resultados, para la arena pirita se realizó la prueba de colorimetría, dejando reposar el material en la solución de hidróxido de sodio, en la probeta grande tipo balón durante 24 horas, dando el siguiente resultado.

- El color obtenido en la probeta grande (200 ml) fue # 4
- El color obtenido en la probeta pequeña (75 ml) fue # 3
- El color en la probeta pequeña con la muestra lavada fue # 2

La norma indica que la comparación se debe efectuar en la probeta pequeña (75 ml) y con el material en estado natural, por lo que el valor obtenido de la muestra fue # 3, clasificando el contenido de impurezas orgánicas dentro de la muestra como un estándar, lo cual no representa un daño en su uso dentro de morteros y concretos. En Guatemala, principalmente se utilizan límites máximos permitidos de sustancias perjudiciales para agregados finos.

3.2.6. Porcentaje que pasa por el tamiz número 200

La Norma Coguanor NTG 41010 h3 (ASTM C-117), describe el procedimiento de ensayo, esta prueba es importante debido a que puede existir una gran diferencia en el peso específico del material, si este posee demasiadas partículas que pasan por el tamiz número 200 (75 μ m), también un mayor consumo de la cantidad de agua necesaria para obtener mayor fluidez en las fabricación de mezclas de concreto, afectando la resistencia final.

$$\% \text{ Pasa tamiz 200} = (M_o - M_f) / M_o * 100 = (500,8 - 449,9) / 500,8 * 100 = 10,16$$

Donde:

M_o = masa inicial = 500,8 gramos

M_f = masa final = 449,9 gramos

% pasa tamiz núm. 200 = 10,16 %

Para la muestra de arena piritita, el valor obtenido después de realizado el ensayo es 10 %, esto indica que es un material con gran cantidad de partículas que traspasan el tamiz núm. 200. Afectando el peso específico del mismo por sobrepasar el 8 % indicado en la norma, y aumentando el consumo de agua.

3.2.7. Determinación de reactividad potencial

Este ensayo sirve para conocer si los agregados de arena piritita presentan alguna reactividad álcali-sílice a los componentes del cemento, por el método químico, se proporcionó una muestra de piritita de 500 gramos para realizar el ensayo bajo especificaciones de la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289).

Tabla XVI. **Reactividad potencial de arena piritita**

Identificación de muestra	RESULTADOS		
	Reducción alcalina (mmol/L)	Sílice disuelta (mmol/L)	Clasificación según norma
RG-332-011-13-F (Obsidiana/Fino)	132,0 ± 13,6	173,0 ± 6,7	DELETÉREO

Fuente: informe 31237 de CII, para agregado fino piritita, apéndice 7.

Según estos resultados, es necesario realizar el análisis basándose en las especificaciones de la Norma NTG 41003 h7 (ASTM C-227), y conocer los carbonatos presentes en la muestra de piritita dando los siguientes resultados:

Tabla XVII. **Determinación de carbonatos en arena pirita**

Identificación LAFIQ	Identificación interesado	Análisis	Porcentaje en masa (%)
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-017-13	Obsidiana Agregado Fino	% CaO	< 0,35
		% MgO	< 0,25
		% Fe ₂ O ₃	6,77 ± 1,19
		% Al ₂ O ₃	2,32 ± 0,59

Fuente: informe 31243 de CII, para agregado fino pirita, apéndice 9.

3.2.8. **Determinación petrográfica**

La Norma ASTM C-295 describe el ensayo, sirve para conocer la estructura interna y composición de los agregados, para este ensayo se utilizó un microscopio con aumento de hasta 100X, equipo del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), se clasificaron las características relevantes de los tamaños retenidos en cada tamiz (número. 4 al número 100), separando el tipo de roca presente en la muestra, generando la tabla XVIII.

Las características que se tomaron en cuenta para clasificar la pirita como agregado fino fueron las siguientes:

- Forma, tamaño y color del grano
- Textura de la superficie de la partícula
- Estructura interna, poros, embalaje, la cementación de los granos
- Composición mineral
- Heterogeneidades significativas
- Condición física general del tipo de roca en la muestra
- Recubrimientos o incrustaciones
- Elementos nocivos para provocar una reacción química en el concreto

Tabla XVIII. Clasificación de ensayo petrográfico de pirita

ROCA	1/4"		8		16		30		50		100	
Tipo característica	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%	# partículas	%
Obsidiana típica	1 324	83,6	137	68,2	172	56,6	121	24,3	24	8,4	18	3,5
Retinita	101	6,4	11	5,5	15	4,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Riolita vítrea	115	7,3	21	10,4	26	8,6	190	38,2	184	64,1	464	89,7
Toba	21	1,3	5	2,5	10	3,3	12	2,4	5	1,7	8	1,5
Pomez	6	0,4	7	3,5	12	3,9	0	0,0	18	6,3	21	4,1
Brecha obsidiana	4	0,3	10	5,0	36	11,8	47	9,5	56	19,5	6	1,2
Riolita	5	0,3	0	0,0	1	0,3	5	1,0	0	0,0	0	0,0
Vidrio vesicular	3	0,2	10	5,0	32	10,5	120	24,1	0	0,0	0	0,0
Materia orgánica	4	0,3	0	0,0	0	0,0	2	0,4	0	0,0	0	0,0
TOTALES	1 583	100,0	201	100,0	304	100,0	497	100,0	287	100,0	517	100,0

Fuente: elaboración propia.

El recuento de partículas se registra en tablas dentro del informe, los resultados deben contener suficiente información para realizar cuadros y descripciones, las tablas deben indicar la composición y condición de las muestras para cada tamaño de cada tamiz, y un promedio ponderado, basado en la clasificación.

3.2.9. Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio

La Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88) describe el procedimiento de ensayo, sirve para conocer la resistencia del agregado a cambios de temperatura y otras acciones, en el caso de la muestra de arena pirita, se utilizó sulfato de sodio. Y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XIX. **Ensayo de resistencia a sulfato de sodio de agregado pirita**

ARENA PIRITA						
TAMAÑOS DE TAMIZ		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	Porcentaje desgaste	Desgaste ref. a graduación
PASA	RETENIDO					
Núm. 100 (149 µm)						
Núm. 50 (297 µm)	Núm. 100 (149 µm)	25,54	----	----	----	----
Núm. 30 (595 µm)	Núm. 50 (297 µm)	11,25	100,20	55,80	44,31	4,99
Núm. 16 (1,19 mm)	Núm. 30 (595 µm)	11,79	100,00	46,50	53,50	6,31
Núm. 8 (2,38 mm)	Núm. 16 (1,19 mm)	17,72	100,00	74,20	25,80	4,57
Núm. 4 (4,76 mm)	Núm. 8 (2,38 mm)	33,50	100,00	87,10	12,90	4,32
3/8" (9,52 mm)	Núm. 4 (4,76 mm)	0,20	----	----	12,90	0,03
TOTALES		100,00	400,20	----	-----	20,21

Fuente: Informe 31232 del Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 11.

La norma indica que el agregado fino sujeto a cinco ciclos del ensayo de resistencia a disgregación a los sulfatos, no debe tener una pérdida promedio mayor de 10 % cuando se utiliza sulfato de sodio, o de 15 % cuando se utiliza sulfato de magnesio, en este caso la pérdida es mayor a 20 %, lo que indica que el material de arena de pirita no cumple la norma.

Se debe considerar que el agregado fino que no cumple con los requisitos, se puede utilizar siempre que se demuestre que un concreto de propiedades comparables, hecho con arena similar de la misma fuente, ha servido satisfactoriamente al ser expuesto a una intemperización similar.

3.3. Análisis completo de agregado grueso de origen pétreo

En Guatemala la caliza triturada es muy utilizada como agregado grueso para fabricar concreto, demuestra tener buenas propiedades y características, y con el objetivo de verificar las condiciones en que se encuentran, se realiza una

serie de ensayos descritos en la Norma Coguanor NTG 41007 (ASTM C-33), para su comparación respecto a las del agregado de roca obsidiana en estudio.

3.3.1. Granulometría

La función principal de los agregados gruesos de roca caliza, para fabricar mezclas de concreto, es resistir los esfuerzos de compresión que actúan sobre las estructuras, cuando se encuentran bien proporcionados dentro de la mezcla, para lo cual es importante conocer los límites permitidos, para cada número de tamiz, dentro de la Norma Coguanor NTG 41010 h1 (ASTM C-136), se utiliza el agregado triturado de roca caliza con tamaño $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

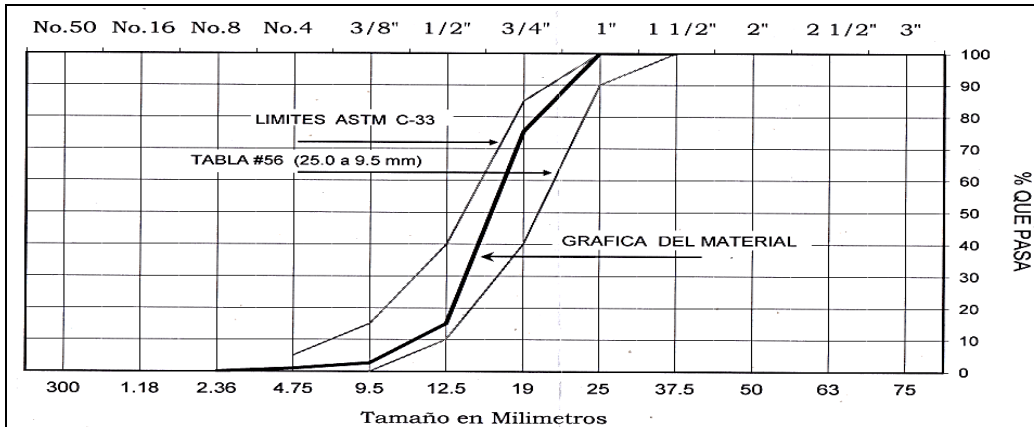
Tabla XX. **Granulometría de la roca caliza**

GRANULOMETRÍA DE CALIZA				
TAMAÑO DE TAMICES	PESO DE MATERIAL RETENIDO (grs)	% RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA DE ACUMULADO
1 1/2"	0,0	0,00	0,00	100,00
1"	0,0	0,00	0,00	100,00
3/4"	5 350,0	24,55	24,55	75,45
1/2"	13 175,0	60,45	85,00	15,00
3/8"	2 699,0	12,38	97,38	2,62
# 4	368,0	1,69	99,07	0,93
FONDO	203,0	0,93	100,00	0,00
	21 795,0	100,0		

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la curva granulométrica de la caliza, es un material bien distribuido lo que representa un mejor uso de agua y cemento dentro de la mezcla, debido a que se encuentra dentro de los límites permitidos.

Figura 11. **Curva granulométrica de la roca caliza**



Fuente: Informe 31230 entregado por CII para agregado grueso caliza, apéndice 3.

3.3.2. **Peso unitario**

Los resultados del ensayo, expresan que la muestra del agregado grueso de roca caliza tiene un peso unitario suelto de $1\ 380\text{ kg/m}^3$, y un peso unitario compactado de $1\ 520\text{ kg/m}^3$, los cuales son de mucha utilidad para realizar el diseño de la mezcla de concreto, datos obtenidos bajo la norma NTG 41010 h2.

Tabla XXI. **Peso unitario de caliza**

PESO UNITARIO DE CALIZA						
PESO UNITARIO	SUELTO 1	SUELTO 2	SUELTO 3	COMPACTADO 1	COMPACTADO 2	COMPACTADO 3
Peso de recipiente (kgs)	3,618	3,618	3,618	3,618	3,618	3,618
peso rec + material (kgs)	13,283	13,354	13,188	14,235	14,335	14,287
Peso del material (kgs)	9,665	9,736	9,570	10,617	10,717	10,669
Volumen recipiente (lts)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Peso unitario (kg/m³)	1 381	1 391	1 367	1 517	1 531	1 524
PROMEDIO	1 380			1 520		

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Prueba de desgaste y abrasión

Los resultados de granulometría clasifican la abrasión de la caliza como tipo B, según especificaciones de la Norma NTG 41010 h20, (ASTM C-131), donde la muestra del material debe ser lavada y secada hasta obtener una masa constante, tomando 2 500 +/- 10 gramos retenidos en cada uno de los tamices ($\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ "), obteniendo un peso total de la muestra inicial de 5 000 gramos, y luego de realizado el ensayo el material se vuelve a lavar por ser un valor de referencia, resultando el peso final de la muestra de 3 570 gramos, equivalente a 71 % del peso inicial, indicando una pérdida de material del 29 %, calificándolo como resistente al mezclado, de forma manual (con palas), o con alguna máquina mezcladora (concretera o camión mezclador).

$$\% \text{ desgaste} = (P_i - P_f) / P_i * 100 = (5\ 000 - 3\ 570) / 5\ 000 * 100 = 28,60 \%$$

Tabla XXII. Resultado de ensayo de abrasión de caliza

ENSAYO DE ABRASIÓN CALIZA	
Norma	ASTM C-131
Muestra	CALIZA
Tipo	B
Peso final muestra	3 570 gramos
Desgaste porcentual	28,60

Fuente: elaboración propia.

La norma indica que la pérdida de material en la prueba de desgaste por abrasión de la máquina de los Ángeles, debe ser menor de 45 % de la masa inicial, para un agregado que en su mayoría tiene partículas de tamaño $\frac{3}{4}$ " (19 milímetros). Por lo que el agregado de roca caliza si cumple con la norma.

3.3.4. Peso específico y absorción

Para determinar el peso específico (densidad relativa) y la absorción de la roca caliza, se realizó el procedimiento descrito por la Norma NTG 41010 h8 (ASTM C-127), utilizando el método gravimétrico de desplazamiento del agua, mediante el uso de las siguientes fórmulas.

$$P_e = B / (A + B - C) \quad \% \text{ Abs} = ((M_{ss} - M_n) / M_n) * 100$$

Donde:

Pe = peso específico

A = peso de probeta + agua (marca de 500 ml)

B = peso del material

C = peso de probeta + material + agua (marca de 500 ml)

M_n = masa natural al aire en gramos

M_{ss} = masa superficie seca saturada al aire en gramos

% Abs= porcentaje de absorción

Tabla XXIII. **Peso específico de la caliza**

AGREGADO GRUESO CALIZA			
PESO ESPECIFICO	1	2	3
Peso probeta	386,72	388,36	388,89
Peso probeta + material	586,99	588,92	589,06
Peso probeta + mat + H ₂ O	1 008,66	1 011,84	1 012,03
Peso probeta + H ₂ O	882,08	886,80	886,82
Temperatura	19 °C	19 °C	19 °C
Peso del material	200,27	200,56	200,17
Peso específico	2,718	2,656	2,670
PROMEDIO	2,681		

Fuente: elaboración propia, formato CII.

El método gravimétrico, es utilizado generalmente para los agregados finos, pero que también se puede aplicar a los agregados gruesos, demuestra un peso específico de 2,68 adimensional, que puede ser multiplicado por la densidad del agua, para obtener el peso específico del agregado en kg/m^3 , siendo este de $2\ 680\ \text{kg/m}^3$, sirve para calcular el volumen que ocupa el agregado dentro de las mezclas de concreto.

El ensayo de absorción determinó que es un agregado poco absorbente, posee únicamente el 0,70 % de absorción de agua, reduciendo el consumo de agua y aumentando la resistencia final del concreto.

3.3.5. Determinación de impurezas

Al agregado grueso de caliza no se le realizó ningún tipo de ensayo, sólo una inspección visual sobre limpieza de las partículas y la presencia o ausencia de otro tipo de material extraño, que puede afectar su desempeño. La muestra de caliza recogida de un banco de material triturado, de una planta localizada en la zona 6 de la ciudad capital, el cual se encontraba expuesto al aire libre sin protección, no presenta partículas de otro tipo en el volumen de la muestra.

3.3.6. Porcentaje que pasa por el tamiz número 200

El método de ensayo lo describe la Norma NTG 41010 h3 (ASTM C-117), se utiliza para conocer si el agregado posee demasiadas partículas capaces de pasar el tamiz número 200 ($75\ \mu\text{m}$), partículas de arcillas y sales solubles que se dispersan con el agua durante el ensayo, las cuales pueden afectar la adherencia de la pasta de cemento a la superficie del agregado, aumentar el consumo del agua necesaria dentro del diseño de mezcla o también afectar el

peso específico del agregado, variando la proporción del diseño de la mezcla de concreto, este valor se encuentra de acuerdo con la siguiente formula.

$$\% \text{ pasa tamiz 200} = (M_o - M_f) / M_o * 100 = (500,78 - 497,57) / 500,78 * 100$$

Donde:

M_o = masa inicial = 500,78 gramos

M_f = masa final = 497,57 gramos

% pasa tamiz número 200 = 0,64 %

Se hace una comparación entre los pesos de las muestras de caliza y el faltante, es lo que logra pasar por el tamiz número 200, el valor obtenido después de realizado el ensayo es de 0,6 % por el método A, mucho menor al 8 % máximo permitido, esto indica que el material si cumple la norma.

3.3.7. Determinación de reactividad potencial

La caliza es muy utilizada para fabricar mezclas de concreto, pero este ensayo realizado bajo especificaciones de la Norma NTG 41010 h13, con el método químico, manifiesta que la muestra presenta reactividad álcali-sílice a los componentes del cemento, que pueden generar expansiones nocivas.

Tabla XXIV. **Reactividad potencial a caliza grueso**

Identificación de muestra	RESULTADOS		
	Reducción alcalina (mmol/L)	Sílice disuelta (mmol/L)	Clasificación según norma
RG-332-013-13-G (Arena Caliza AGRECA / Grueso)	228,0 ± 28,0	275,0 ± 5,0	POTENCIALMENTE DELETÉREO

Fuente: informe 31237 entregado por CII para agregado grueso caliza, apéndice 7.

La caliza se considera potencialmente dañina, y es necesario realizar otro ensayo, descrito en la Norma NTG 41003 h7 (ASTM C-227), también conocer los carbonatos presentes en la muestra, generando los siguientes resultados.

Tabla XXV. **Determinación de carbonatos en caliza**

Identificación LAFIQ	Identificación interesado	Análisis	Porcentaje en masa (%)
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-035-13	Caliza agregado grueso	% CaO	49,03 ± 1,47
		% MgO	1,59 ± 0,7
		% Fe ₂ O ₃	9,87 ± 1,75
		% Al ₂ O ₃	< 0,01

Fuente: informe 31243 entregado por CII para agregado grueso caliza, apéndice 9.

3.3.8. **Determinación petrográfica**

Este ensayo se omitió para el agregado de roca caliza debido a que su estructura interna, la forma de sus componentes y cristales se encuentra bien distribuida dentro del elemento, lo cual brinda propiedades y características idóneas para su utilización en la fabricación de concreto. Es una roca sedimentaria, tipo carbonatada que se encuentra compuesta mineralógicamente de carbonato de calcio (CaCO₃), producto de acumulación de material orgánico, generalmente conchas y exoesqueletos

Entre las características del agregado de caliza, se puede mencionar la forma de las partículas por ser de origen triturado presenta bordes agudo, un color gris claro, una textura adherente en sus superficie, un peso específico que la considera como de buena calidad, el tamaño del grano es bastante uniforme, aspecto físico sano que no presenta incrustaciones de ningún tipo.

3.3.9. Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio

Este ensayo se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88), en donde se muestra el procedimiento a efectuar, en el caso de la muestra de agregado grueso de caliza se utilizó una solución de sulfato de sodio. Esta prueba sirve para conocer si las partículas de agregado mantienen su estabilidad y no se disgregan por efectos del intemperismo u otras acciones, simulados por los fuertes cambios de temperatura a que son sometidas durante los cinco ciclos del ensayo, los resultados obtenidos del ensayo deben ser menor del 12 % especificado en la tabla 3 de la norma NTG 41007, y se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XXVI. **Ensayo de resistencia a sulfato de sodio de caliza**

CALIZA						
TAMAÑOS DE TAMIZ		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	Porcentaje desgaste	Desgaste ref. a graduación
PASA	RETENIDO					
2 1/2" (63,5 mm)	1 1/2" (38,10 mm)	0,00	----	-----	----	----
1 1/2" (38,10 mm)	3/4" (19,05 mm)	24,55	----	-----	3,99	0,98
3/4" (19,05 mm)	3/8" (9,52 mm)	72,83	1000,20	960,30	3,99	2,91
3/8" (9,52 mm)	núm. 4 (4,76 mm)	1,69	300,20	293,10	2,37	0,04
	Fondo	0,93	----	-----	----	----
TOTALES		100,00	1300,40	1253,40	-----	3,92

Fuente: informe 31233 Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 10.

Según las especificaciones de la norma el agregado grueso sujeto a cinco ciclos del ensayo de resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio menor de 12 %, cuando se utiliza sulfato de sodio, o 18 % cuando se utiliza sulfato de magnesio, en nuestro caso la perdida es 3,9 %, lo que indica que el agregado grueso de caliza cumple la norma.

3.4. Análisis completo de la arena caliza

La arena caliza, por lo general es utilizada para fabricar concreto, y tiene mayor presencia en la fase de presentación de los acabados de estructuras, cumple muchos requisitos de la Norma NTG 41007, es producto de la trituración excesiva de la roca caliza, para su incorporación dentro de la construcción. A continuación se indican los ensayos realizados a la muestra de arena caliza.

3.4.1. Granulometría

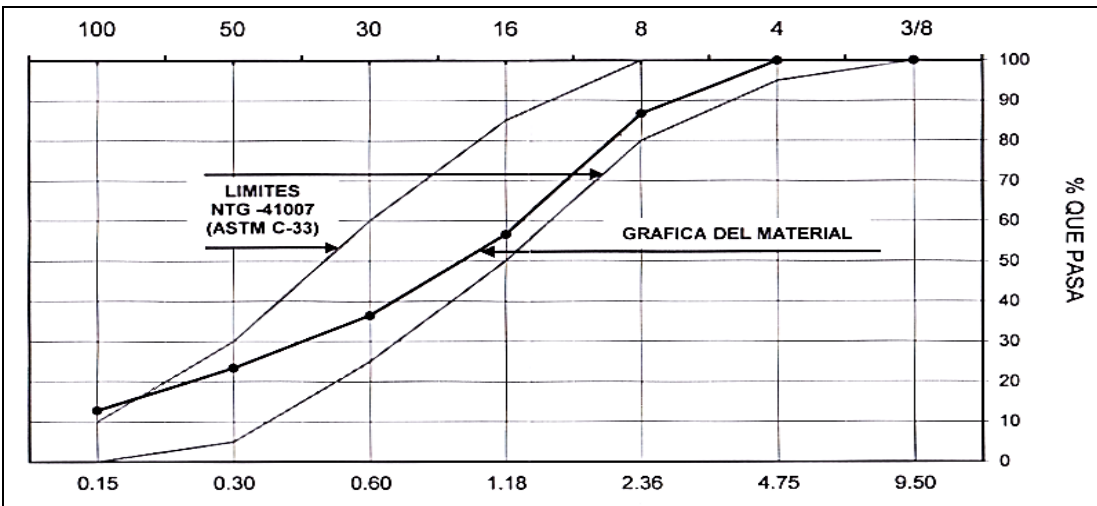
Los agregados finos en la construcción ofrecen una mejor trabajabilidad y reducen el costo de fabricación, colocado y acabado de concreto, solo si están bien distribuidos dentro de la mezcla, para ello es importante conocer los límites permitidos para cada tamiz dentro de la Norma NTG 41010 h1 (ASTM C-136), para la granulometría de la arena caliza, se generaron los siguientes resultados.

Tabla XXVII. Granulometría de la arena caliza

GRANULOMETRÍA DE ARENA CALIZA				
TAMAÑO DE TAMICES	PESO DE MATERIAL RETENIDO (grs)	% RETENIDO INDIVIDUAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA DE ACUMULADO
3/8"	0,0	0,00	0,00	100,00
# 4	0,4	0,08	0,08	99,92
# 8	66,2	13,24	13,32	86,68
# 16	150,7	30,12	43,44	56,56
# 30	100,6	20,12	63,56	36,44
# 50	65,3	13,05	76,60	23,40
# 100	52,9	10,58	87,18	12,82
FONDO	64,1	12,82	100,00	0,00
	500,1	100,0		
MÓDULO DE FINURA				2,84

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Curva granulométrica de la arena caliza**



Fuente: informe 31229 entregado por CII para agregado fino caliza, apéndice 4.

Se puede observar en la gráfica granulométrica de la arena caliza, que es un material que presenta mucha partícula de tamaño número 100 (150 μm) saliéndose de los límites, clasificándola como una arena mediana por tener un módulo de finura entre 2,2 a 2,9 dentro del rango de las arenas.

3.4.2. **Peso unitario**

La Norma NTG 41010 h2 (ASTM C-29), describe el procedimiento para realizar el ensayo de peso unitario, los resultados expresan que la muestra del agregado fino de arena caliza tiene un peso unitario suelto de 1 640 kg/m^3 , y un peso unitario compactado de 1 820 kg/m^3 , los cuales sirven para saber el volumen que ocupa y realizar el diseño de la mezcla de concreto. Los datos obtenidos durante el ensayo para la arena caliza como agregado fino se resumen en la siguiente tabla.

Tabla XXVIII. **Resumen de peso unitario de arena caliza**

PESO UNITARIO DE ARENA CALIZA						
PESO UNITARIO	SUELTO 1	SUELTO 2	SUELTO 3	COMPACTADO 1	COMPACTADO 2	COMPACTADO 3
Peso de recipiente (kgs)	1,702	1,702	1,702	1,702	1,702	1,702
peso rec + material (kgs)	6,341	6,360	6,351	6,880	6,886	6,899
Peso del material (kgs)	4,639	4,658	4,649	5,178	5,184	5,197
Volumen recipiente (lts)	2,843	2,843	2,843	2,843	2,843	2,843
Peso unitario (kg/m ³)	1 632	1 638	1 635	1 821	1 823	1 828
PROMEDIO	1 640			1 820		

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Prueba de desgaste y abrasión

Este tipo de prueba se omitió por ser difícil de clasificarla para la arena caliza por ser un material triturado de la roca caliza.

3.4.4. Peso específico y absorción

El ensayo se realiza con las especificaciones de la Norma NTG 41010 h9 (ASTM C-128), sirve para calcular el volumen que ocupa el agregado dentro de las mezclas de concreto, mediante el uso de las siguientes formulas.

$$P_e = B / (A + B - C) \quad \% \text{ Abs} = ((M_{ss} - M_n) / M_n) * 100$$

Donde:

- Pe = peso específico
- A = peso de probeta + agua (marca de 500 ml)
- B = peso del material
- C = peso de probeta + material + agua (marca de 500 ml)

M_n = masa natural al aire en gramos

M_{ss} = masa superficie seca saturada al aire en gramos

% Abs= porcentaje de absorción

El ensayo de peso específico de arena caliza, demuestra un resultado de 2,69 adimensional, y multiplicado por la densidad del agua, se obtiene el peso específico de 2 690 kg/m³, este valor representa una medida indirecta de su calidad, valores altos indican buena calidad, rango de (2 400 a 2 900).

Tabla XXIX. **Peso específico de la arena caliza**

AGREGADO FINO ARENA CALIZA			
PESO ESPECIFICO	1	2	3
Peso probeta	158,60	159,40	157,50
Peso probeta + material	658,60	659,40	657,50
Peso probeta + mat + H ₂ O	972,50	971,50	975,10
Peso probeta + H ₂ O	657,90	658,20	660,50
Temperatura	19 °C	19 °C	19 °C
Peso del material	500,00	500,00	500,00
Peso específico	2,697	2,678	2,697
PROMEDIO	2,691		

Fuente: elaboración propia, formato CII.

El resultado del ensayo de absorción, determinó que es un agregado poco absorbente, posee solo el 0,75 % de absorción, lo cual trae ventajas en el uso de cantidades pequeñas de agua, pero puede tener poca trabajabilidad.

3.4.5. **Determinación de impurezas**

Este ensayo sirve para conocer el grado de contaminación de los agregados finos a través de la prueba de colorimetría, dejando reposar el

material junto a la solución de hidróxido de sodio, en la probeta grande tipo balón durante 24 horas, se realiza con los procedimientos descritos en la Norma NTG 41010 h4 (ASTM C-40), esta indica los insumos y equipo a utilizar, y la interpretación de resultados, esta prueba genero el siguiente resultado.

- El color obtenido en la probeta pequeña (75 ml) fue # 1

Se clasifica el contenido de impurezas orgánicas dentro de la Norma como bueno, lo cual no representa ningún daño para su uso dentro de morteros y concretos. En Guatemala principalmente se utilizan límites máximos permitidos de sustancias perjudiciales para agregados finos.

3.4.6. Porcentaje que pasa por el tamiz número 200

Este ensayo se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41010 h3 (ASTM C-117), describe el procedimiento a efectuar, utilizando el método A, de prueba, sirve para conocer si la muestra de arena caliza, posee demasiadas partículas finas adheridas a su superficie, o partículas que se pueden degradar durante el lavado a tamaños más pequeños capaces de pasar por el tamiz número 200 (75 μm), dañando la resistencia y adherencia de la pasta de cemento al agregado, la fórmula que determina este porcentaje es la siguiente.

$$\% \text{ Pasa tamiz 200} = (M_o - M_f) / M_o * 100 = (500,3 - 465,5) / 500,3 * 100 = 0,07$$

Donde:

M_o = masa inicial = 500,3 gramos

M_f = masa final = 465,5 gramos

% pasa tamiz 200 = 7,0 %

Para la arena caliza, el valor obtenido después del ensayo es 7,0 % de pérdida de material. Esto indica que es un material que cumple los requisitos de la norma, al poseer menos del 10 % permitido.

3.4.7. Determinación de reactividad potencial

Este ensayo es descrito en la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), sirve para conocer si los agregados de arena caliza presentan reactividad a los álcali de los componentes del cemento. Se proporcionó una muestra de 500 gramos para la realización del ensayo, generando los siguientes resultados:

Tabla XXX. **Reactividad potencial a arena caliza**

Identificación de muestra	RESULTADOS		
	Reducción alcalina (mmol/L)	Sílice disuelta (mmol/L)	Clasificación según norma
RG-332-014-13-F (arena caliza AGRECA / fino)	171,0 ± 31,01	102,0 ± 14,4	INOCUO

Fuente: Informe 31237 entregado por CII para agregado fino arena caliza, apéndice 7.

La arena caliza no representa ningún daño para ser utilizada en mezclas de concreto, sin embargo se realizó otro ensayo, bajo las especificaciones de la Norma NTG 41013 h7 (ASTM C-227), para conocer los carbonatos de la arena.

Tabla XXXI. **Determinación de carbonatos en arena caliza**

Identificación LAFIQ	Identificación interesado	Análisis	Porcentaje en masa (%)
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-034-13	Caliza agregado fino	% CaO	44,32 ± 0,90
		% MgO	4,33 ± 0,54
		% Fe ₂ O ₃	8,19 ± 0,77
		% Al ₂ O ₃	1,50 ± 0,22

Fuente: informe 31243 entregado por CII para agregado fino arena caliza, apéndice 9.

3.4.8. Determinación petrográfica

Este ensayo se realiza bajo la Norma ASTM C-295, pero se omitió para la arena caliza, de igual forma que para el agregado grueso de caliza, no posee partículas de otro agregado, la única variación es el tamaño de las partículas, y la cantidad de carbonato de calcio presentes en la muestra.

3.4.9. Determinación de la resistencia a disgregación mediante el uso de sulfato de sodio

Este ensayo se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88), donde se muestra el procedimiento a efectuar, sirve para conocer la resistencia de los agregados a la disgregación cuando están sometidos a efectos del intemperismo u otras acciones, simuladas por la deshidratación de las sales en los poros permeables de las partículas de agregado sumergidas en las soluciones de sulfatos, en el caso de la muestra de arena caliza se utilizó sulfato de sodio. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla XXXII. **Ensayo de resistencia a sulfato de sodio de arena caliza**

ARENA CALIZA						
TAMAÑOS DE TAMIZ		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	Porcentaje desgaste	Desgaste ref. a graduación
PASA	RETENIDO					
Núm. 100 (149 µm)						
Núm. 50 (297 µm)	Núm. 100 (149 µm)	23,40	----	----	----	----
Núm. 30 (595 µm)	Núm. 50 (297 µm)	13,04	100,00	92,90	7,10	0,93
Núm. 16 (1,19 mm)	Núm. 30 (595 µm)	20,12	100,00	97,33	2,67	0,54
Núm. 8 (2,38 mm)	Núm. 16 (1,19 mm)	30,12	100,00	95,14	4,86	1,46
Núm. 4 (4,76 mm)	Núm. 8 (2,38 mm)	13,24	100,00	92,90	7,10	0,94
3/8" (9,52 mm)	Núm. 4 (4,76 mm)	0,08	----	----	7,10	0,01
TOTALES		100,00	400,00	----	-----	3,87

Fuente: informe 31232 de Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 11.

La arena caliza cumple con las especificaciones de la norma, debido a que únicamente tiene 3,9 % de pérdida por desgaste a sulfato de sodio, cuando la norma establece un máximo permitido de 10 % para su aceptación.

3.5. Análisis comparativo de las características de los agregados.

Las pruebas realizadas a los agregados ensayados, demuestran las propiedades y características únicas, para cada muestra, con diferencias evidentes, debido a la procedencia de los mismos.

A continuación se muestra la tabla XXXIII donde se esquematiza los principales ensayos realizados a las 4 muestras de agregados en estudio, las normas guatemaltecas utilizadas y los resultados obtenidos de los mismos.

Tabla XXXIII. Resumen de ensayos realizados

Ensayo	Norma	Obsidiana	Caliza grueso	Pirita	Arena caliza
Granulometría (núm. tamices)	NTG 41010 h1 (ASTM C-136)	1 1/2" a núm. 8	1" a núm. 8	núm.4 a núm.200	núm.4 a núm.100
Módulo de finura		-----	-----	3,11	2,84
Peso unitario suelto (kg/m ³)	NTG 41010 h2 (ASTM C-29)	1 390	1 380	1 360	1 640
Peso unitario compactado (kg/m ³)		1 470	1 520	1 530	1 820
Peso específico (kg/m ³)	NTG 41010 h8 (ASTM C-127), NTG 41010 h9 (ASTM C-128)	2 370	2 680	2 350	2 690
Porcentaje de absorción (%)		1,1	0,70	0,34	0,75
Desgaste y abrasión (%)	NTG 41010 h20 (ASTM C-131)	49	29	-----	-----
Determinación de impurezas	NTG 41010 h4 (ASTM C-40)	-----	-----	# 3	# 1
Pasa tamiz núm. 200 (%)	NTG 41010 h3 (ASTM C-117)	0,12	0,64	10,00	6,96
Reactividad potencial	NTG 41010 h13 (ASTM C-289)	Inocuo	Potencialmente deletéreo	Deletéreo	Inocuo
Ensayo pretográfico	ASTM C-295	Obsidiana típica	caliza	Obsidiana típica	caliza
Resistencia al ataque de sulfato de sodio (%)	NTG 41010 h6 (ASTM C-88)	1,13	3,92	20,21	3,87

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra los resultados más importantes de los diferentes ensayos realizados a las cuatro muestras de agregado, donde sobresale la granulometría de la obsidiana y de la arena pirita, ambas son muy dispersas saliendo de los límites permitidos, una pequeña diferencia del tipo de arena respecto al módulo de finura.

También un valor alto del peso unitario suelto y compactado de la arena caliza, un alto porcentaje de pérdida por desgaste y abrasión del agregado grueso de obsidiana, un gran porcentaje de partículas finas que pasan el tamiz núm. 200 de la arena pirita, la reactividad potencial obtenida de la caliza, la principal composición petrográfica de la obsidiana y pirita respecto al tipo de roca mayoritario en la muestra, y una gran pérdida de la arena pirita atacada por sulfato de sodio para conocer su estabilidad.

Algunas de las propiedades y características favorecen la fabricación de las mezclas de concreto, y por el contrario, otras crean incertidumbre para ser utilizadas, y necesitan un estudio más profundo, mayor cantidad de pruebas con probabilidad de obtener mejores resultados, el estudio de diferentes bancos del mismo material, antes de descartar por completo cualquier agregado, por no llenar los requisitos de las especificaciones en las normas.

4. DISEÑO TEÓRICO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El diseño teórico de mezclas es el primer paso para fabricar concreto de calidad y resistencia indicada, en él se definen las cantidades necesarias de los componentes del mismo, fundamentadas en conocer las características de los agregados, el tipo de cemento a utilizar, agua, y otras condiciones externas como puede ser el ambiente, el tipo de elemento diseñado, los recursos de colocación, factores que finalmente influyen en el producto terminado.

Un buen diseño teórico de mezcla, debe garantizar que se obtenga la resistencia proyectada, además de la optimización de recursos, la eficacia en el uso de los agregados y el agua, que en muchos casos son limitados sin afectar la resistencia final. Se utilizó el método de proporcionamiento de mezclas de concreto del CII para realizar cada diseño teórico, usando las siguientes tablas.

Tabla XXXIV. **Asentamientos recomendados en mezclas de concreto**

Tipo de estructura	Asentamiento (cm)
Cimientos, muros reforzados, vigas, paredes reforzadas, y columnas	10
Pavimentos y losas	8
Concreto masivo	5

Fuente: Guía proporcionamiento de mezclas de concreto, CII, p. 2.

Tabla XXXV. **Cantidad de agua a utilizar según el asentamiento**

Asentamiento en cms.	Cantidad de agua lt / metro cubico				
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
3 a 5	205	200	185	180	175
8 a 10	225	215	200	195	180
15 a 18	240	230	210	205	200

Fuente: Guía proporcionamiento de mezclas de concreto, CII, p. 2.

Tabla XXXVI. **Relación agua / cemento según resistencia de diseño**

Resistencia Kg/cm ²	Relacion A/C
352	0.47
316	0.50
281	0.54
246	0.57
210	0.60
176	0.64

Fuente: Guía proporcionamiento de mezclas de concreto, CII, p. 2.

Tabla XXXVII. **Porcentaje de arena según tamaño de agregado**

Tamaño maximo de agregado grueso	% de Arena sobre agregado Total
3/8"	48
1/2"	46
3/4"	44
1"	42
1 1/2"	40

Fuente: Guía proporcionamiento de mezclas de concreto, CII, p. 2.

4.1. Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con obsidiana + pirita

Para el diseño de mezcla de un concreto con resistencia 3000 PSI, se deben realizar los siguientes pasos, utilizando los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados, con apoyo de tablas con referencias a valores promedios obtenidos de ensayos anteriores.

- Conocer la resistencia requerida (RR): 3000 psi = 210 kg/cm²
- Conocer la resistencia de diseño (RD): donde a la resistencia requerida se suma el valor (F) que es el factor de desviación de resistencia, debido a varias causas entre ellas: tipo de supervisión, variación de condiciones en los agregados, incertidumbre de la información, al momento de realizar la mezcla de práctica, garantiza que la resistencia requerida logre su valor. Según el capítulo 5 del ACI 211.

$$RD = RR + F = 210 \text{ kg/cm}^2 + 35 \text{ kg/cm}^2 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

- El asentamiento: indica la fluidez de la mezcla, se toma de la tabla XXXIV donde recomiendan para varias estructuras, en este diseño teórico se tomara un asentamiento entre 8 a 10 centímetros.
- Conocer el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN): es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado, se toma de la tabla de la gráfica granulométrica de obsidiana.

TMN = 97,13 % - 87,65 % = 9,48 %, que se encuentra dentro del rango (5 a 15) %, esto indica que el tamaño máximo nominal es 1 pulgada.

Tabla XXXVIII. **Granulometría de obsidiana**

Tamiz núm.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	núm. 4	núm.8
% Que Pasa	97,13	87,65	77,33	53,79	37,85	3,59	0,00

Fuente: informe 31230 entregado por CII, apéndice 1.

- Conocer la cantidad de agua necesaria: conociendo el asentamiento y el tamaño nominal de agregado de la tabla XXXV, se determina que se necesitan 195 litros de agua.
- Conocer la cantidad de cemento necesaria (C): conociendo la resistencia de diseño ($RD = 245 \text{ kg/cm}^2$), se toma el valor de la relación agua-cemento de la tabla XXXVI, donde la relación agua/cemento es 0,57.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{agua}}{\text{relación a/c}} = \frac{195,00}{0,57} = 342,10 \text{ kg/m}^3$$

- Conocer la cantidad de agregados (AG+AF): se debe restar el cemento y agua, del peso unitario del concreto estructural, el valor se multiplica por el porcentaje de la tabla XXXVII, para arena y el restante es para piedrín.

$$AG + AF = PU_{\text{concreto}} - \text{agua} - \text{cemento}$$

$$AG + AF = 2\,400,00 - 195,00 - 342,10 = 1\,862,90 \text{ kg/m}^3 = 1\,863 \text{ kg/m}^3$$

$$AF = 1\,863 \text{ kg/m}^3 * 0,42 = 782,46 \text{ kg/m}^3$$

$$AG = 1\,863 \text{ kg/m}^3 * (1,00 - 0,42) = 1\,080,54 \text{ kg/m}^3$$

- Proponer proporción en volumen (PV): con todos los datos anteriores se divide dentro del valor del cemento para obtener la proporción.

$$PV = \frac{\text{cemento}}{\text{cemento}} : \frac{\text{arena}}{\text{cemento}} : \frac{\text{piedrín}}{\text{cemento}} : \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$$

$$PV = \frac{342,10}{342,10} : \frac{782,50}{342,10} : \frac{1\ 080,50}{342,10} : \frac{195,00}{342,10}$$

$$PV = 1 : 2,29 : 3,16 : 0,57$$

- Proponer una proporción en peso (PP): para ello se toma el valor del peso de un saco de cemento (42,5 kg) como referencia, se multiplica por la proporción en volumen y se divide por el peso unitario suelto.

$$\text{Cemento} = 1 \text{ saco} * 42,5 \text{ kg} = 42,5 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = \frac{2,29 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 361,20 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000 \text{ kg/m}^3 = 71,50 \text{ kg}$$

$$\text{Piedrín} = \frac{3,16 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 392,43 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000 \text{ kg/m}^3 = 96,45 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = \frac{0,57 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 000 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000 \text{ kg/m}^3 = 24,23 \text{ kg} = 24,23 \text{ lts}$$

$$PP = \frac{42,50}{42,50} : \frac{71,50}{42,50} : \frac{96,45}{42,50} : \frac{24,23}{42,50}$$

$$PP = 1 : 1,68 : 2,27 : 0,57$$

4.2. Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con obsidiana + arena

Para el diseño de mezcla de este concreto con resistencia de 3000 PSI se deben realizar los mismos pasos del diseño anterior, utilizando el método de diseño de mezclas del Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, el cual proporciona una aproximación de las cantidades de materiales necesarios para realizar la mezcla práctica, utilizando los resultados de los ensayos realizados a los agregados, y las tablas del método, se obtiene la siguiente información.

- Resistencia requerida (RR): 3000 psi = 210 kg/cm²
- Resistencia de diseño (RD):

$$RD = RR + F = 210 \text{ kg/cm}^2 + 35 \text{ kg/cm}^2 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

- El asentamiento se toma de la tabla XXXIV, entre 8 a 10 centímetros.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN): se toma de la tabla de la gráfica granulométrica de la obsidiana es 1 pulgada.
- Cantidad de agua necesaria: 195 litros.
- Cemento necesario (C): de la tabla XXXVI, se toma la relación agua/cemento es 0,57.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{agua}}{\text{relación a/c}} = \frac{195,00}{0,57} = 342,10 \text{ kg/m}^3$$

- Cantidad de agregados (AG+AF): se toma el porcentaje de arena de la tabla XXXVII, y el porcentaje restante para piedrín.

$$AG + AF = PU_{\text{concreto}} - \text{agua} - \text{cemento}$$

$$AG + AF = 2\,400,00 - 195,00 - 342,10 = 1\,862,90 = 1\,863 \text{ kg/m}^3$$

$$AF = 1\,863 \text{ kg/m}^3 * 0,42 = 782,46 \text{ kg/m}^3$$

$$AG = 1\,863 \text{ kg/m}^3 * (1,00 - 0,42) = 1\,080,54 \text{ kg/m}^3$$

- Proporción en volumen (PV).

$$PV = \frac{\text{cemento}}{\text{cemento}} : \frac{\text{arena caliza}}{\text{cemento}} : \frac{\text{piedrín}}{\text{cemento}} : \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$$

$$PV = \frac{342,10}{342,10} : \frac{782,50}{342,10} : \frac{1\,080,50}{342,10} : \frac{195,00}{342,10}$$

$$PV = 1 : 2,29 : 3,16 : 0,57$$

- Proporción en peso (PP): relacionado al peso de un saco de cemento

$$\text{Cemento} = 1 \text{ saco} * 42,5 \text{ kg} = 42,5 \text{ kg}$$

$$\text{Arena caliza} = \frac{2,29 * 42,50 \text{ kg}}{1\,635,09 \text{ kg/m}^3} * 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 59,52 \text{ kg}$$

$$\text{Piedrín} = \frac{3,16 * 42,50 \text{ kg}}{1\,392,43 \text{ kg/m}^3} * 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 96,45 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = \frac{0,57 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 000 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000 \text{ kg/m}^3 = 24,23 \text{ kg} = 24,23 \text{ lts}$$

$$\text{PP} = \frac{42,50}{42,50} : \frac{59,52}{42,50} : \frac{96,45}{42,50} : \frac{24,23}{42,50}$$

$$\text{PP} = 1 : 1,40 : 2,27 : 0,57$$

4.3. Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con caliza + pirita

Este diseño teórico, sigue los mismos pasos de los anteriores, la única diferencia es el tamaño nominal de agregado grueso, por el cambio de obsidiana a caliza, modifica algunos valores de las tablas del método CII.

- Resistencia requerida (RR): 3 000 psi = 210 kg/cm²
- Resistencia de diseño (RD):

$$\text{RD} = \text{RR} + \text{F} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 35 \text{ kg/cm}^2 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

- Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN): Este valor se toma de la tabla de la gráfica granulométrica de caliza, e indica que el tamaño máximo nominal de agregado es 3/4".

Tabla XXXIX. **Granulometría de caliza**

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No.8
% Que Pasa	100.00	100.00	75.45	15.00	2.62	0.93	0.00

Fuente: informe 31230 entregado por CII, apéndice 3.

$$TMN = 100,00 \% - 75,45 \% = 24,55 \%$$

- Asentamiento entre 8 a 10 centímetros, tomado de tabla XXXIV.
- Cantidad de agua: la tabla XXXV indica que se necesitan 200 litros.
- Cemento necesario (C): con la resistencia de diseño (RD) = 245 kg/cm², se toma el valor de la relación agua/cemento = 0,57 de la tabla XXXVI.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{agua}}{\text{relación a/c}} = \frac{200,00}{0,57} = 350,88 \text{ kg/m}^3$$

- Cantidad de agregados (AG+AF): se toma el porcentaje de arena de la tabla XXXVII.

$$AG + AF = PU_{\text{concreto}} - \text{agua} - \text{cemento}$$

$$AG + AF = 2\,400 - 200,00 - 350,90 = 1\,849,10 \text{ kg/m}^3$$

$$AF = 1\,849,10 * 0,44 = 813,60 \text{ kg/m}^3$$

$$AG = 1\,849,10 * (1,00 - 0,44) = 1\,035,50 \text{ kg/m}^3$$

- Proporción en volumen (PV):

$$PV = \frac{\text{cemento}}{\text{cemento}} : \frac{\text{arena}}{\text{cemento}} : \frac{\text{pedrín}}{\text{cemento}} : \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$$

$$PV = \frac{350,90}{350,90} : \frac{813,60}{350,90} : \frac{1\,035,50}{350,90} : \frac{200,00}{350,90}$$

$$PV = 1 : 2,32 : 2,95 : 0,57$$

- Proporción en peso (PP): relacionado con el peso de un saco de cemento como referencia.

$$\text{Cemento} = 1 \text{ saco} * 42,5 \text{ kg} = 42,5 \text{ kg}$$

$$\text{Arena piritita} = \frac{2,32 * 42,50 \text{ kg}}{1\,361,20 \text{ kg/m}^3} * 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 72,44 \text{ kg}$$

$$\text{Piedrín caliza} = \frac{2,95 * 42,50 \text{ kg}}{1\,379,57 \text{ kg/m}^3} * 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 90,88 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = \frac{0,57 * 42,50 \text{ kg}}{1\,000,00 \text{ kg/m}^3} * 1\,000,00 \text{ kg/m}^3 = 24,23 \text{ kg}$$

$$PP = \frac{42,50}{42,50} : \frac{72,44}{42,50} : \frac{90,88}{42,50} : \frac{24,23}{42,50}$$

$$PP = 1 : 1,70 : 2,14 : 0,57$$

4.4. Diseño de mezcla para concreto 3000 PSI con caliza + arena

Para este diseño de mezcla, la diferencia radica en la proporción en peso, debido al cambio en el peso unitario de los agregados, el procedimiento sigue siendo el mismo, se utilizó las tablas del método CII.

- Resistencia requerida (RR): 3 000 psi = 210 kg/cm²

- Conocer la resistencia de diseño (RD):

$$RD = RR + F = 210 \text{ kg/cm}^2 + 35 \text{ kg/cm}^2 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

- Asentamiento: de la tabla XXXIV, se toma un asentamiento de 8 a 10 cm.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN): se toma de la tabla de la gráfica granulométrica de caliza, esto indica que es $\frac{3}{4}$ plg.
- Agua necesaria: con el asentamiento y el tamaño nominal de agregado en la tabla XXXV, se necesitan 200 litros de agua.
- Cemento necesaria (C): se toma el valor de la relación agua/cemento de la tabla XXXVI, donde la relación es 0,57.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{agua}}{\text{relación a/c}} = \frac{200,00}{0,57} = 350,88 \text{ kg/m}^3$$

- Cantidad de agregados (AG+AF): se toma el porcentaje de arena de la tabla XXXVII, para arena es 0.44 y el restante 0.56 para el pedrín.

$$AG + AF = PU_{\text{concreto}} - \text{agua} - \text{cemento}$$

$$AG + AF = 2\,400 - 200,00 - 350,90 = 1\,849,10 \text{ kg/m}^3$$

$$AF = 1\,849,10 * 0,44 = 813,60 \text{ kg/m}^3$$

$$AG = 1\,849,10 * (1,00 - 0,44) = 1\,035,50 \text{ kg/m}^3$$

- Proporción en volumen (PV):

$$PV = \frac{\text{cemento}}{\text{cemento}} : \frac{\text{arena}}{\text{cemento}} : \frac{\text{piedrín}}{\text{cemento}} : \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$$

$$PV = \frac{350,90}{350,90} : \frac{813,60}{350,90} : \frac{1\ 035,50}{350,90} : \frac{200,00}{350,90}$$

$$PV = 1 : 2,32 : 2,95 : 0,57$$

- Proporción en peso (PP): se toma el peso de un saco de cemento

$$\text{Cemento} = 1 \text{ saco} * 42,5 \text{ kg} = 42,5 \text{ kg}$$

$$\text{Arena caliza} = \frac{2,32 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 635,79 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000 \text{ kg/m}^3 = 60,30 \text{ kg}$$

$$\text{Piedrín caliza} = \frac{2,95 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 379,57 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000 \text{ kg/m}^3 = 90,88 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = \frac{0,57 * 42,50 \text{ kg}}{1\ 000,00 \text{ kg/m}^3} * 1\ 000,00 \text{ kg/m}^3 = 24,23 \text{ kg}$$

$$PP = \frac{42,50}{42,50} : \frac{60,30}{42,50} : \frac{90,88}{42,50} : \frac{24,23}{42,50}$$

$$PP = 1 : 1,42 : 2,14 : 0,57$$

Tabla XL. **Resumen de proporciones en volumen**

Tamaño agregado	Diseño de mezcla	Cemento	Arena	Piedrin	Agua
1"	Obsidiana + pirita	1,00	2,29	3,16	0,57
1"	Obsidiana + arena caliza	1,00	2,29	3,16	0,57
3/4"	Caliza + pirita	1,00	2,32	2,95	0,57
3/4"	Caliza + arena caliza	1,00	2,32	2,95	0,57

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Resumen de proporciones en peso**

Tamaño agregado	Diseño de mezcla	Cemento	Arena	Piedrin	Agua
1"	Obsidiana + pirita	1,00	1,68	2,27	0,57
1"	Obsidiana + arena caliza	1,00	1,40	2,27	0,57
3/4"	Caliza + pirita	1,00	1,70	2,14	0,57
3/4"	Caliza + arena caliza	1,00	1,42	2,14	0,57

Fuente: elaboración propia.

Con las proporciones encontradas de forma teórica, el siguiente paso es realizar en el laboratorio el diseño de mezclas práctico, y obtener los resultados. Haciendo las correcciones necesarias, sobre cambios en las condiciones de humedad de los agregados.

5. DISEÑO PRÁCTICO DE MEZCLAS DE CONCRETO

5.1. Diseño de mezcla de concreto obsidiana + pirita

La mezcla práctica se realiza con información del diseño teórico, donde la proporción en volumen (1: 2,29: 3,16: 0,57), puede variar debido a condiciones de ambiente en los agregados, los resultados teóricos indican las siguientes cantidades para fabricar un metro cúbico de concreto con resistencia 3000 PSI.

Tabla XLII. **Materiales para fabricar 1 m³ de obsidiana + pirita**

Cemento (Kg)	Arena (kg)	Piedrin (kg)	Agua (Its)
342,10	782,50	1080,50	195,00

Fuente: elaboración propia.

Para demostrar los resultados del diseño práctico se fabricaron 6 cilindros para prueba de compresión y una viga para el ensayo de flexión, para ello se elaboró un volumen de 0,071 metros cúbicos del diseño teórico, multiplicando cada cantidad por el volumen a fabricar, para conocer las cantidades reales.

- Cemento = $342,10 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 24,30$ kilogramos de cemento
- Arena = $782,50 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 55,60$ kilogramos de pirita
- Piedrín = $1\ 080,5 \text{ kg/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 76,70$ kilogramos de obsidiana
- Agua = $195,00 \text{ lts/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 13,80$ litros de agua

Se pesan las cantidades de los agregados y el cemento por separado, medir el agua en probetas, se prepara el equipo necesario para la práctica e inicia la misma colocando un poco de agua junto a los agregados dentro de la mezcladora para su combinación, luego se añade el cemento, el resto de agua se va agregando hasta ver la mezcla homogénea con buena trabajabilidad sin exceder el tiempo de mezclado para que los agregados no se disgreguen.

Al concreto fresco se le deben de realizar ciertas pruebas que son muy importantes, estas ayudan a conocer el comportamiento futuro de las propiedades del mismo, así como la resistencia que este puede llegar a alcanzar, las pruebas son las siguientes:

- Obtención de muestras de concreto para ser ensayadas
- Medición de la temperatura del concreto
- Revenimiento en el concreto
- Determinación de la masa unitaria (peso unitario)
- Medición de contenido de aire por el método de presión
- Medición de contenido de aire por el método volumétrico
- Práctica normalizada para la elaboración y curado en campo de especímenes de pruebas para concreto.

En la actualidad un 90 % de las fallas que ocurren en el concreto, se debe a la forma de colocación, debido a que muchas veces no cumple con estas 7 pruebas básicas para el concreto fresco.

La Norma Coguanor NTG 41057 (ASTM C-172) señala los procedimientos normalizados para la obtención de muestras representativas y los límites de tiempo para empezar las pruebas de asentamiento, contenido de aire y la fabricación de especímenes para ensayo de compresión.

La medición de la temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad del concreto, en el tiempo de fraguado y en la resistencia nominal alcanzada. La Norma NTG 41053 (ASTM C-1064), indica el procedimiento para realizar esta prueba, sin el control de la temperatura del concreto fresco, predecir su comportamiento es muy difícil, si no imposible.

Figura 13. **Temperatura de mezcla de concreto obsidiana + pirita**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. 9 de julio de 2013.

Un concreto con alta temperatura inicial y alto calor de hidratación del cemento, quizá tendrá una resistencia superior a lo normal a edad temprana y más baja de lo normal a edad tardía. La calidad final del concreto se verá probablemente disminuida. Por el contrario, el concreto colocado y curado a temperaturas bajas desarrollará su resistencia de forma lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad. La temperatura del concreto afecta en gran parte el comportamiento de aditivos inclusores de aire, materiales puzolanicos y otros tipos de aditivos.

La prueba del revenimiento o asentamiento permite determinar la trabajabilidad y colocación del concreto, es una medida de la fluidez relativa de la mezcla, esta mide el contenido de agua en el concreto. Es verdad que el incremento o disminución en el contenido de agua causará el correspondiente

aumento o reducción en el revenimiento del concreto, siempre y cuando todos los materiales y condiciones permanezcan constantes. Existen muchos factores que pueden causar que el revenimiento del concreto cambie sin que cambie el contenido de agua, como lo son, el cambio en las propiedades de los agregados, proporciones de la mezcla, contenido de aire, temperatura del concreto, o el uso de aditivos especiales que modifiquen el revenimiento sin variar el contenido de agua.

En esta práctica se agregó el agua del diseño teórico y se le realizó la prueba de asentamiento, evidenciando que no cumplía los 8,00 centímetros necesarios por lo que se agregó 2,45 litros de agua adicional equivalentes a un 17,70 % más, debido a que la arena pirita se encontraba sin humedad, llegando a 8,70 centímetros de asentamiento.

Figura 14. **Asentamiento de mezcla obsidiana + pirita**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. 9 de julio de 2013.

La prueba para determinar la masa unitaria del concreto fresco se realiza bajo los procedimientos de la Norma NTG 41017 h5 (ASTM C-138), esta prueba es una herramienta importante utilizada para controlar la calidad del concreto recién mezclado. Después que se ha establecido un proporcionamiento para la

mezcla de concreto, un cambio en la masa volumétrica indicará un cambio en uno o más requisitos del desempeño del concreto. Una masa volumétrica más baja puede indicar:

- Que los materiales han cambiado
- Un mayor contenido de aire
- Un mayor contenido de agua
- Un cambio en las proporciones de los materiales
- Un menor contenido de cemento

Figura 15. **Masa unitaria en mezcla de concreto obsidiana + pirita**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. 9 de julio de 2013.

Inversamente una masa volumétrica más alta indicará lo contrario de las características antes mencionadas. Los datos obtenidos del ensayo fueron:

- Peso de tara = 2,67 kilogramos
- Peso de tara + concreto = 17,83 kilogramos
- Peso de concreto = $17,83 - 2,67 = 15,16$ kilogramos
- Volumen de tara = 7 litros = 0,007 metros cúbicos

Masa unitaria = peso de concreto / volumen tara

$$\text{Masa unitaria} = 15,16 \text{ kg} / 0,007 \text{ m}^3 = 2\,166 \text{ kg/m}^3 = 2\,170 \text{ kg/m}^3$$

La prueba para determinar el contenido de aire en concreto fresco por el método de presión, se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41017 h7 (ASTM C-231), donde indica el procedimiento para realizar esta prueba en campo, esta prueba se utiliza para determinar el contenido de aire en concreto normal y pesado. Sin embargo no puede usarse en concreto ligero. Determina la cantidad de vacíos de aire en el concreto, tanto incluido como atrapado.

La inclusión de aire es necesaria en concreto que estará expuesto a ciclos de congelación, deshielo y químicos descongelantes. Los vacíos microscópicos de aire incluidos son fuente de alivio a la presión interna dentro del concreto para acomodar las presiones que se desarrollan cuando se forman cristales de hielo en los poros y en los capilares. Sin el contenido de aire apropiado el concreto normal se astillara, dando como resultado una falla en su durabilidad.

Figura 16. **Determinación de contenido de aire en mezcla (O+AO)**



Fuente: ensayo contenido de aire de obsidiana + arena piritá, CII. 9 de julio de 2013.

Este ensayo dio como resultado un porcentaje de aire en el concreto de 0,90 %, lo que indica que tiene mucho material fino que cubre los espacios más pequeños. Se debe tener cuidado de no tener demasiado aire incluido en concretos diseñados para alcanzar 20 a 35 megapascales, conforme se incrementa el contenido de aire en más de un 5 % habrá una reducción en la resistencia, esta reducción será del orden del 3 al 5 % por cada 1 % de contenido de aire por arriba del valor de diseño.

Otra prueba es la determinación del contenido de aire por el método volumétrico Norma NTG 41017 h6 (ASTM C-173), el procedimiento es similar solo que cambia la forma de llenado del recipiente y se utiliza una combinación de agua y alcohol isopropilo, además del embudo para su inclusión.

La última prueba y más importante es la elaboración de especímenes para ensayo de resistencia a compresión, según la Norma NTG 41061 (ASTM C-31), debido a que la mayoría de concreto es comprado y vendido sobre la base de los resultados de las pruebas de resistencia. Por ello, los especímenes para pruebas de resistencia son muy importantes en la industria de la construcción, se elaboran de acuerdo con el método C-31/C-31M, por las siguientes razones:

- Para que los resultados sean confiables.
- Para que la prueba pueda ser reproducida por alguien más con el mismo concreto, procedimiento y obteniendo los mismos resultados.

La Norma NTG 41061, detalla el procedimiento para fabricación y curado de cilindros y vigas de concreto. Los especímenes deben ser llenados y compactados, de acuerdo con los procedimientos estándar. Luego deben ser curados bajo condiciones de temperatura y humedad apropiadas, de lo contrario los resultados de las pruebas de resistencia no serán confiables.

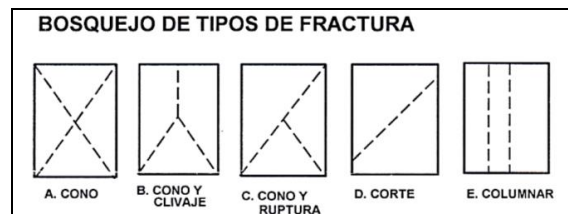
Una desviación del procedimiento estandarizado puede tener diferencias significativas en la resistencia final. Por ejemplo, los especímenes curados inapropiadamente entre 32 a 38 °C, desarrollarán su resistencia a una tasa diferente que los especímenes curados en el rango de temperatura inicial especificada de 16 a 27 °C, requerido por la norma.

5.1.1. Ensayo de cilindros a compresión

Se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41017 h1 (ASTM C-39), es una prueba básica para el control de calidad de las mezclas de concreto, sirve para conocer el comportamiento en la resistencia de la mezcla de concreto a diferentes edades del diseño práctico, se elaboran 6 cilindros, para ensayar a 3, 7 y 28 días respectivamente. Los datos obtenidos de los ensayos son:

Tabla XLIII. Ensayo a compresión de cilindros diseño obsidiana + piritita

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	EDAD en días	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lbs/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	81-09	3	11,71	15,12	30,48	28 457	7,00	1 020	B
2	82-09	3	11,65	15,27	30,44	29 944	7,30	1 060	B
3	83-09	7	11,77	15,18	30,53	39 366	9,70	1 410	B
4	84-09	7	11,75	15,27	30,12	42 342	10,30	1 500	B
5	85-09	28	11,85	15,15	30,78	70 778	17,50	2 540	C
6	86-09	28	11,82	15,18	30,54	66 428	16,30	2 370	C



Fuente: informe 31236 entregado por CII, apéndice 13.

La tabla anterior indica el tipo de fractura en los cilindros, tipo B (cono y clivaje) en edades tempranas, y tipo C (cono y ruptura) para la edad de 28 días, y la resistencia logró un máximo de 84,67 % de la necesaria esperada, debido a que el diseño práctico necesito agua adicional, que afectó su resistencia final.

Figura 17. **Ensayo de cilindros de mezcla obsidiana + pirita**



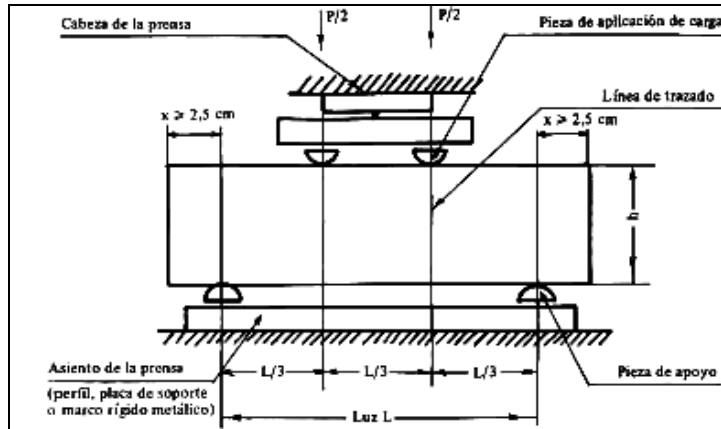
Fuente: ensayo a compresión, CII. 6 de agosto de 2013.

5.1.2. **Ensayo de vigas a flexión**

El ensayo a flexión en el concreto se realiza con los procedimientos de la Norma NTG 41017 h2 (ASTM C-78), sirve para conocer el esfuerzo de tensión por flexión y módulo de ruptura en probetas prismáticas de concreto con carga en los tercios de la luz, se utiliza para evaluar el desempeño del concreto en la construcción de losas y pavimentos, como se visualiza en la figura 18.

Las vigas para este ensayo se fabrican bajo las especificaciones de las Normas NTG 41060 y NTG 41061 (ASTM C-192 y ASTM C-31), donde indica las medidas y procedimientos para elaboración del espécimen.

Figura 18. Puntos de carga ensayo a flexión en vigas de concreto



Fuente: POLANCO, Abraham. *Manual de prácticas de laboratorio de concreto*. p. 47.

Tabla XLIV. Resultado de ensayo a flexión en viga (O+AO)

Base B (cms)	Altura H (cms)	Longitud L (cms)	Peso de viga (kg)	Carga (Kg)	Contrapeso (Kg)	RESISTENCIA A TENSION	Tipo de falla
15,175	15,495	53,1	26,78	2 800	19,653	40,81 Kgf/cm ²	área de tensión al centro

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Ensayo a flexión en viga de concreto (O+AO)



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería CII, 6 de agosto de 2013.

5.1.3. Ensayo de velocidad de fraguado

El ensayo se describe en la Norma NTG 41017 h12 (ASTM C-403), sirve para determinar el cumplimiento de la mezcla de concreto con los tiempos de fraguado especificados, además de los efectos de temperatura, tipo de cemento, proporciones de mezclado, tipos de agregados y aditivos usados.

La velocidad de fraguado se determina a través de la resistencia a la penetración en la mezcla de concreto con agujas de acero de diferentes diámetros, para ello se utiliza un aparato de penetración con escala graduada (tipo resorte) para colocar la aguja y un termómetro digital para la temperatura y humedad del ambiente, como se ve en la siguiente figura.

Figura 20. **Aparato para ensayo de velocidad de fraguado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 9 de julio de 2013.

Para realizar el ensayo se toma una muestra representativa de la mezcla de concreto y se tamiza a través de la malla núm. 4, para remover esencialmente todo el mortero, se toma la temperatura ambiente y la del mortero, se coloca el mortero dentro de la probeta normada apisonándolo en tres capas, luego se deja reposar durante intervalos de tiempo tapándolo con material impermeable hasta la primer penetración, se realiza una extracción del

agua de exudación de la superficie del mortero y el muestreo en intervalos de 30 minutos a una hora dependiendo de las condiciones del ambiente.

Figura 21. **Temperatura del mortero obsidiana + pirita**



Fuente: CII, ensayo temperatura a mortero, 9 de julio de 2013.

Es importante tomar el tiempo de fraguado inicial, intervalo de tiempo desde que el agua entro en contacto con el cemento hasta que el mortero alcanza una resistencia a la penetración de 500 PSI (3,45 megapascales), y el tiempo de fraguado final que es el intervalo de tiempo desde que el agua entro en contacto con el cemento hasta que el mortero alcanza una resistencia a la penetración de 3 000 PSI (20,68 megapascales).

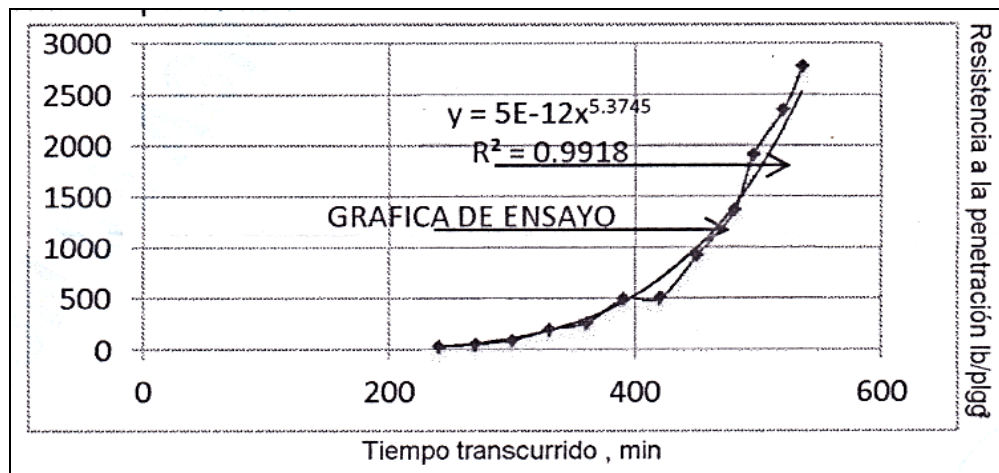
Tabla XLV. **Ensayo de velocidad de fraguado de obsidiana + pirita**

Proporción	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	Contenido de aire (%)	0,90
Cemento (kg)	24,30	Temp. mortero °C	20,55
Arena (kg)	55,60	Temp. ambiente inicial °C	24,30
Piedrín (kg)	76,70	Temp. ambiente final °C	24,80
Agua (lts)	13,80 + 2,45	Penetración (500 PSI)	6 hrs 40 min
Asentamiento (cms)	8,70	Penetración (3 000 PSI)	9 hrs 10 min

Fuente: elaboración propia.

Con todos los datos del ensayo de penetración se dibuja la gráfica que representa la velocidad con la cual endurece la mezcla de concreto.

Figura 22. **Gráfica velocidad de fraguado mezcla obsidiana + piritita**



Fuente: informe 31717 entregado por CII, apéndice 17.

5.2. Diseño de mezcla de concreto obsidiana + arena caliza

La mezcla práctica se realiza con información del diseño teórico, donde la proporción en volumen (1: 2,29: 3,16: 0,57), puede variar debido a condiciones de ambiente en los agregados, los resultados teóricos indican las siguientes cantidades para fabricar 1,00 m³ de concreto con resistencia 3 000 PSI son:

Tabla XLVI. **Materiales para fabricar 1 m³ de obsidiana + arena caliza**

Cemento (Kg)	Arena caliza (kg)	Piedrin (kg)	Agua (lts)
342,10	782,50	1080,50	195,00

Fuente: elaboración propia.

De este diseño práctico se fabricaron 6 cilindros para la prueba de compresión y una viga para el ensayo de flexión, se elaboró un volumen de 0,071 metros cúbicos del diseño teórico, multiplicando cada cantidad por el volumen a fabricar para conocer la cantidad exacta de los materiales.

- Cemento = $342,10 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 24,30$ kilogramos de cemento
- Arena caliza = $782,50 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 55,60$ kilogramos de arena
- Piedrín = $1\ 080,5 \text{ kg/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 76,70$ kilogramos de obsidiana
- Agua = $195,00 \text{ lts/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 13,80$ litros de agua.

Se pesan las cantidades de los agregados y el cemento por separado, se mide el agua en probetas, se prepara el equipo necesario para la práctica e inicia la misma. Al igual que la práctica anterior se deben realizar las 7 pruebas importantes para conocer el comportamiento futuro del concreto fresco.

Sin importar el volumen de concreto fabricado, la obtención de muestras para realizar los ensayos en el concreto fresco, se realiza de acuerdo a la Norma NTG 41057 (ASTM C-172). La medición de la temperatura del concreto fresco se realizó con un termómetro de vástago, obteniendo una temperatura de 22,22 °C trascurridos 2 minutos en que el termómetro se introdujo en la mezcla.

Figura 23. **Temperatura de mezcla práctica obsidiana + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 15 de julio de 2013.

Para la prueba de asentamiento, en esta práctica se agregó el agua del diseño teórico, probando que no cumplía los 8,00 centímetros necesarios, por lo que se agregó 0,25 litros de agua adicionales equivalentes a 1,80 %, llegando hasta 8,50 centímetros de asentamiento.

La prueba para determinar la masa unitaria del concreto fresco se realiza bajo los procedimientos de la Norma NTG 41017 h5 (ASTM C-138), es utilizada para controlar la calidad y rendimiento del concreto recién mezclado. Los resultados obtenidos del ensayo fueron los siguientes:

- Peso de tara = 2,67 kilogramos
- Peso de tara + concreto = 18,49 kilogramos
- Peso de concreto = 18,49 – 2,67 = 15,82 kilogramos
- Volumen de tara = 7 litros = 0,007 metros cúbicos

Masa unitaria = peso de concreto / volumen tara

Masa unitaria = 15,82 kg / 0,007 m³ = 2 260 kg/m³

Figura 24. **Masa unitaria mezcla de concreto obsidiana + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 15 de julio de 2013.

La prueba para determinar el contenido de aire del concreto fresco por el método de presión, Norma NTG 41017 h7, da como resultado 1,40 % lo que indica que posee material fino que cubre los espacio pequeños.

Figura 25. **Ensayo de contenido de aire de obsidiana + arena caliza**



FUENTE: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 15 de julio de 2013.

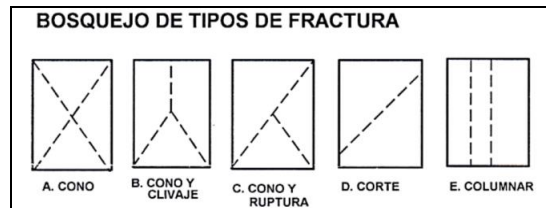
Al igual que el diseño práctico anterior se fabricaron y curaron, 6 cilindros para la prueba de compresión, y una viga para ensayo de flexión, según la Norma NTG 41060.

5.2.1. Ensayo de cilindros a compresión

El ensayo se realiza bajo la Norma NTG 41017 h1, los resultados para los cilindros de mezcla de obsidiana y arena caliza, ensayados a 3, 7 y 28 días, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XLVII. **Ensayo de cilindros a compresión obsidiana + arena caliza**

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	EDAD en días	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lbs/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	87-09	3	12,345	15,200	30,420	33 416	8,20	1 190	B
2	88-09	3	12,325	15,200	30,440	32 424	8,00	1 160	B
3	89-09	7	12,335	15,290	30,150	48 292	11,70	1 700	B
4	90-09	7	12,324	15,237	30,340	44 325	10,80	1 570	B
5	91-09	28	12,380	15,167	30,430	77 545	19,10	2 770	B
6	92-09	28	12,360	15,157	30,540	75 612	18,60	2 700	B



FUENTE: informe 31236 entregado por CII, apéndice 14.

Se observa en la tabla anterior las fracturas en los cilindros fueron tipo B (cono y clivaje) para todas las edades, también la resistencia logró un máximo de 92,33 % de la necesaria esperada, debido a poca adherencia del agregado.

Figura 26. **Ensayo de cilindros de mezcla obsidiana + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 12 de agosto de 2013.

5.2.2. Ensayo de vigas a flexión

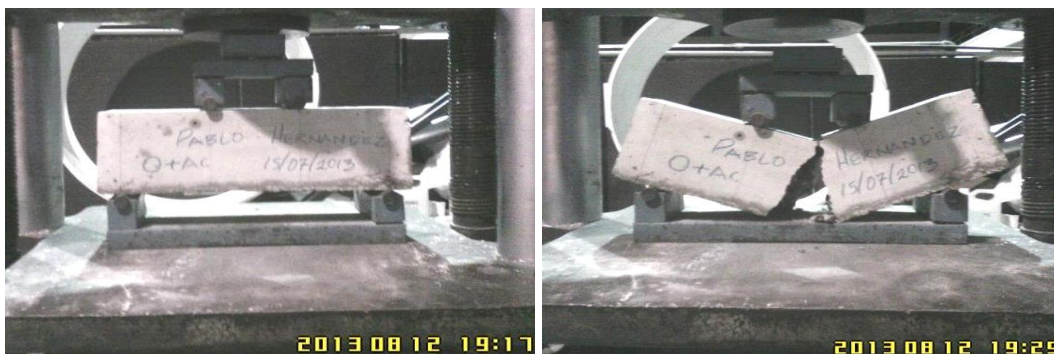
El ensayo de esfuerzo a flexión en el concreto, se describe en la Norma 41017 h2 (ASTM C-78), los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XLVIII. Resultado de ensayo de flexión en viga (O+AC)

ENSAYO DE FLEXION EN VIGA DE CONCRETO OBSIDIANA + ARENA CALIZA							
Base B (cms)	Altura H (cms)	Longitud L (cms)	Peso de viga (kg)	Carga (Kg)	Contrapeso (Kg)	RESISTENCIA A TENSION	Tipo de falla
15,198	15,348	53,000	27,91	2 540	19,653	37,61 Kg/cm ²	área de tensión al centro

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Ensayo de flexión en viga de concreto (O+AC)



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 12 de agosto de 2013.

5.2.3. Ensayo de velocidad de fraguado

Este ensayo se realiza bajo especificaciones de la Norma NTG 41017 h12 (ASTM C-403), donde se describe el procedimiento de ensayo. Este método puede ser usado para determinar efectos de variables tales como el contenido

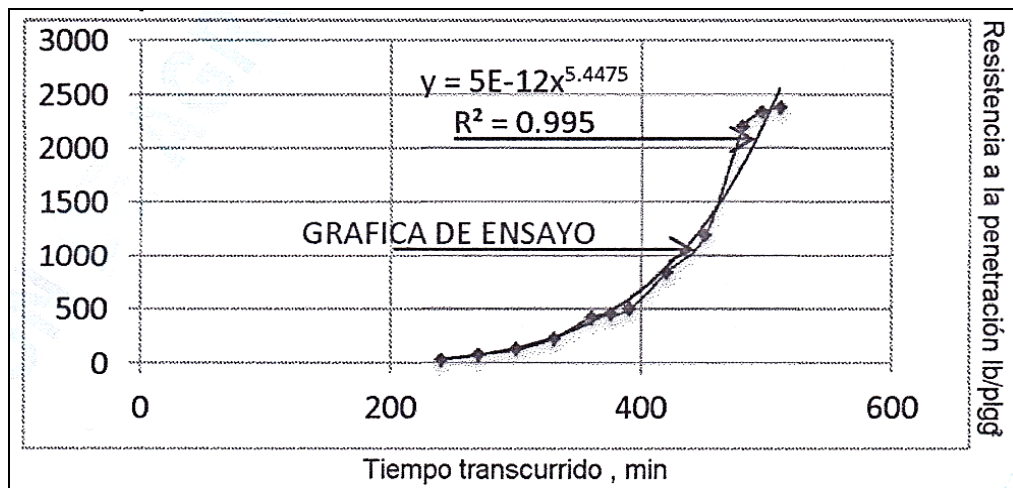
de agua, marca tipo y cantidad de cemento, o aditivos; sobre el tiempo de fraguado del concreto, los resultados obtenidos y la gráfica de comportamiento de la mezcla de obsidiana y arena caliza, se muestran a continuación.

Tabla XLIX. **Ensayo velocidad de fraguado de obsidiana + arena caliza**

Proporción	1 : 2.29 : 3.16 : 0.57	Contenido de aire (%)	1,40
Cemento (kg)	24,30	Temp. mortero °C	21,11
Arena (kg)	55,60	Temp. ambiente inicial °C	25,40
Piedrín (kg)	76,70	Temp. ambiente final °C	23,60
Agua (lts)	13,85 + 0,25	Penetración (500 PSI)	6 hrs 20 min
Asentamiento (cms)	8,50	Penetración (3 000 PSI)	8 hrs 50 min

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Gráfica velocidad de fraguado de mezcla obsidiana + a caliza**



Fuente: informe 31717 entregado por CII, apéndice 18.

5.3. Diseño de mezcla de concreto caliza + arena pirita

Esta mezcla práctica se realiza con la proporción en volumen del diseño teórico (1: 2,32: 2,95: 0,57), los resultados teóricos sugieren las siguientes cantidades para fabricar 1,00 m³ de concreto con resistencia 3 000 PSI son:

Tabla L. **Materiales para fabricar 1 m³ de mezcla caliza + pirita**

Cemento (Kg)	Arena pirita (kg)	Piedrin (kg)	Agua (Its)
350,90	813,60	1035,50	200,00

Fuente: elaboración propia.

Para la fabricación de especímenes de ensayo, se elaboró un volumen de concreto de 0,071 metros cúbicos del diseño teórico, multiplicando cada cantidad por el volumen a fabricar, para conocer las cantidades de la mezcla.

- Cemento = $350,90 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 24,91$ kilogramos de cemento
- Arena pirita = $813,60 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 57,76$ kilogramos de pirita
- Piedrín = $1\ 035,5 \text{ kg/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 73,52$ kilogramos de caliza
- Agua = $200,00 \text{ lts/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 14,20$ litros de agua

Se pesan las cantidades de los agregados y el cemento por separado, se mide la cantidad del agua en probetas, se prepara todo el equipo necesario para realizar la práctica e inicia la misma, realizando las 7 pruebas correspondientes para concreto fresco.

La medición de la temperatura durante el ensayo, muestra como resultado en la mezcla de concreto de 23,33 °C, con un pequeño aumento comparado con la de las 2 mezclas anteriores, donde el agregado grueso era obsidiana.

Figura 29. **Temperatura de mezcla práctica caliza + arena pirita**



FUENTE: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 16 de julio de 2013.

Para la prueba de asentamiento, se agregó el agua del diseño teórico a la mezcla, evidenciando que no cumplía los 8,00 centímetros necesarios por lo que se agregó 2,10 litros de agua adicionales equivalentes a un 14,8 %, llegando a 8,20 centímetros de asentamiento.

Figura 30. **Asentamiento de mezcla caliza +pirita**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 16 de julio de 2013.

La prueba para determinar la masa unitaria del concreto fresco se realiza con la siguiente información obtenida del ensayo.

- Peso de tara = 2,67 kilogramos
- Peso de tara + concreto = 18,55 kilogramos
- Peso de concreto = 18,55 – 2,67 = 15,88 kilogramos
- Volumen de tara = 7 litros = 0,007 metros cúbicos

Masa unitaria = peso de concreto / volumen de tara

$$\text{Masa unitaria} = 15,88 \text{ kg} / 0,007 \text{ m}^3 = 2\,268 \text{ kg/m}^3 = 2\,270 \text{ kg/m}^3$$

El ensayo para determinar el contenido de aire en concreto fresco por el método de presión, se realiza bajo la Norma NTG 41017 h7 (ASTM C-231), este muestra un contenido de aire de 1,2 % valor menor al 2,00 % que indica la tabla 6.3.3 del ACI 211.1 (requisitos aproximados de agua y aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos recomendados), para agregado de ¾ plg, lo que indica que posee mucho material fino menor a 75 micras que cubre los espacios pequeños. Se debe tener cuidado de no tener demasiado aire incluido en el concreto, conforme se incrementa abra una reducción en la resistencia.

Figura 31. **Ensayo de contenido de aire en mezcla caliza + pirita**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 16 de julio de 2013.

La última prueba es la elaboración de cilindros 15 x 30 cm para ensayo de resistencia a compresión, según la Norma NTG 41060 (ASTM C-192), debido a que la mayoría del concreto es fabricado sobre la base de los resultados de las pruebas de resistencia, estos se deben curar bajo condiciones de temperatura y humedad apropiadas.

Figura 32. **Especímenes para pruebas de compresión**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 16 de julio de 2013.

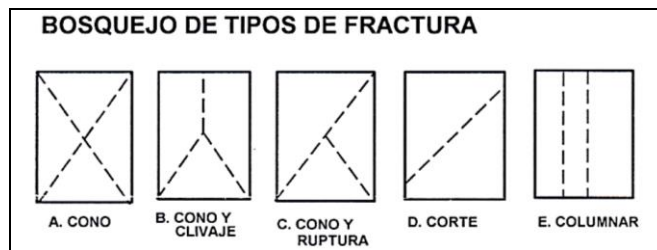
5.3.1. Ensayo de cilindros a compresión

Es una prueba básica para el control de calidad del concreto endurecido, sirve para conocer el comportamiento en la resistencia de la mezcla a diferentes edades 3, 7 y 28 días usualmente, los datos obtenidos del ensayo de cilindros a compresión de caliza más arena piritosa se muestran en la tabla LI.

Donde se observa el tipo de fractura en los cilindros, la mayoría fue tipo B (cono y clivaje) para edades tempranas, y tipo C (cono y ruptura) para las edades de 28 días, además la resistencia logró un máximo de 83,33 % de la resistencia esperada, debido a que el diseño necesitó agua adicional, que afectó su resistencia final.

Tabla LI. **Ensayo a compresión en cilindros de caliza + pirlita**

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	EDAD en días	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lbs/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	93-09	3	12,230	15,270	30,480	31 928	7,80	1 130	B
2	94-09	3	12,195	15,237	30,500	33 416	8,20	1 190	B
3	95-09	7	12,319	15,240	30,320	42 342	10,30	1 500	B
4	96-09	7	12,422	15,230	30,310	42 342	10,30	1 500	B
5	97-09	28	12,330	15,223	30,300	69 328	16,90	2 450	C
6	98-09	28	12,270	15,167	30,420	69 811	17,20	2 500	C



FUENTE: informe 31236 Centro de investigaciones de Ingeniería, apéndice 15.

Figura 33. **Ensayo de cilindros de mezcla caliza + arena pirlita**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 23 de julio de 2013.

5.3.2. Ensayo de vigas a flexión

El ensayo de vigas a flexión y módulo de ruptura en probetas prismáticas con tres puntos de carga como se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla LII. Resultado de ensayo a flexión en viga caliza + pirita

ENSAYO DE FLEXION EN VIGA DE CONCRETO CALIZA + PIRITA								
Base B (cms)	Altura H (cms)	Longitud L (cms)	Peso de viga (kg)	Carga (Kg)	Contrapeso (Kg)	RESISTENCIA A TENSIÓN		Tipo de falla
15,1875	15,455	53,0625	27,345	2 630	19,653	38,47	Kgf/cm ²	área de tensión al centro

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Ensayo a flexión en viga de concreto caliza + pirita



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 14 de agosto de 2013.

5.3.3. Ensayo de velocidad de fraguado

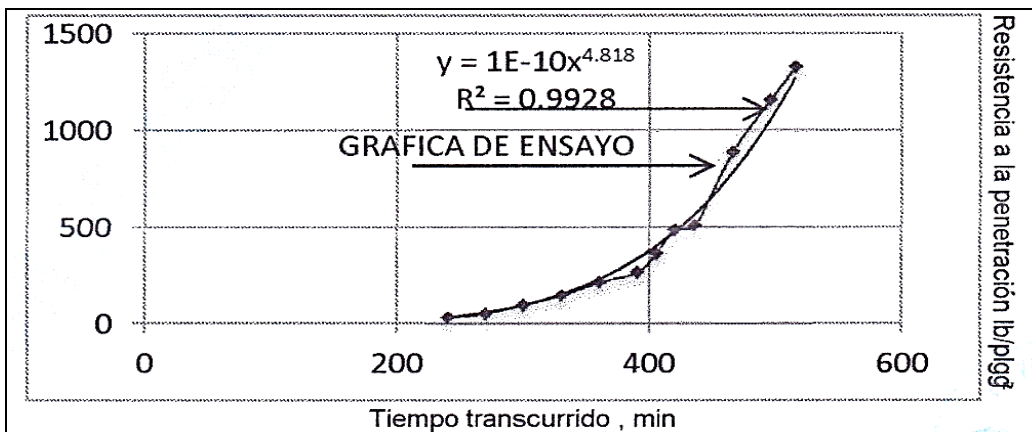
Los resultados de este ensayo, realizado con los procedimientos descritos en la Norma NTG 41017 h12 (ASTM C-403), son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla LIII. **Ensayo velocidad de fraguado de caliza + arena pirita**

ENSAYO DE PENETRACION CALIZA + ARENA PIRITA			
Proporción	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57	Contenido de aire (%)	1,20
Cemento (kg)	24,90	Temp. mortero °C	21,66
Arena (kg)	57,80	Temp. ambiente inicial °C	26,20
Piedrín (kg)	73,50	Temp. ambiente final °C	24,60
Agua (lts)	14,20 + 2,10	Penetración (500 PSI)	7 hrs 0 min
Asentamiento (cms)	8,20	Penetración (3 000 PSI)	10 hrs 0 min

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Gráfica velocidad de fraguado de mezcla caliza + pirita**



Fuente: informe No. 31717 entregado por CII, apéndice 19.

5.4. **Diseño de mezcla de concreto caliza + arena caliza**

Esta mezcla práctica se realiza con la proporción (1: 2,32: 2,95: 0,57), del diseño teórico, los resultados indican las siguientes cantidades para fabricar un metro cúbico de concreto con resistencia 3000 PSI.

Tabla LIV. **Materiales para fabricar 1 m³ de mezcla caliza + arena caliza**

Cemento (Kg)	Arena caliza (kg)	Piedrin (kg)	Agua (Its)
350,90	813,60	1035,50	200,00

Fuente: elaboración propia.

Para la fabricación de especímenes de ensayo, se elaboró un volumen de 0,071 metros cúbicos del diseño teórico, multiplicando cada cantidad por el volumen a fabricar para conocer los materiales reales de la mezcla práctica.

- Cemento = $350,90 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 24,91$ kilogramos de cemento
- Arena caliza = $813,60 \text{ kg/m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 57,76$ kilogramos arena caliza
- Piedrín = $1\ 035,5 \text{ kg/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 73,52$ kilogramos de caliza
- Agua = $200,00 \text{ lts/ m}^3 * 0,071 \text{ m}^3 = 14,20$ litros de agua

Con las cantidades reales de los materiales se inicia la mezcla práctica, realizando las 7 pruebas al concreto fresco, para conocer su comportamiento futuro, debido a que la mayoría de concreto se fabrica con base en los resultados, iniciando por la prueba de medición de temperatura.

Figura 36. **Temperatura de mezcla práctica caliza + arena caliza**



FUENTE: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 5 de julio de 2013.

Esta prueba muestra una temperatura de 21,10 °C, al igual que los diseños anteriores, es una temperatura baja, con bajo calor de hidratación del cemento, indicando que el concreto desarrollará su resistencia de forma lenta a edades tempranas, pero que finalmente obtendrá una resistencia superior que los concretos fabricados con una temperatura inicial relativamente alta.

En el ensayo de asentamiento disminuyó el agua requerida por el diseño teórico, y se le realizó la prueba de asentamiento a la mezcla, evidenciando que cumplía los 8,00 cms necesarios, solo se agregaron 13,90 litros de agua, equivalente a un 2,10 % menos, llegando a 9,00 cms de asentamiento.

Figura 37. **Asentamiento de mezcla caliza + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 5 de julio de 2013.

El ensayo para determinar la masa unitaria del concreto fresco se realiza bajo procedimientos de la Norma NTG 41017 h5 los datos obtenidos fueron:

- Peso de tara = 2,68 kilogramos
- Peso de tara + concreto = 19,48 kilogramos
- Peso de concreto = $19,48 - 2,68 = 16,80$ kilogramos
- Volumen de tara = 7 litros = 0,007 metros cúbicos

Masa unitaria = peso de concreto / volumen tara

$$\text{Masa unitaria} = 16,80 \text{ kg} / 0,007 \text{ m}^3 = 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

La prueba para determinar el contenido de aire en concreto por el método de presión, muestra un contenido de aire de 1,50 %, un poco menor al 2,00 % que es normal para agregado $\frac{3}{4}$ plg, esto indica que posee mucho material fino.

La Norma NTG 41060 detalla el método para fabricación y curado de especímenes en laboratorio, deben ser curados en condiciones de temperatura y humedad apropiadas, de lo contrario los resultados no serán confiables.

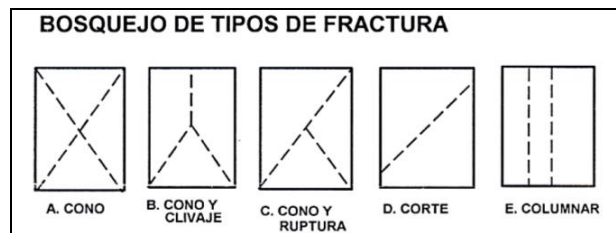
5.4.1. Ensayo de cilindros a compresión

Se realiza con la Norma NTG 41017 h1, es una prueba para control de calidad de las mezclas de concreto, se fabricaron 6 cilindros para ser ensayados a 3, 7 y 28 días. Los resultados obtenidos de los ensayos son:

Tabla LV. **Ensayo a compresión de cilindros diseño caliza + arena caliza**

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	EDAD en días	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lbs/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	75-09	3	13,040	15,173	30,480	45 813	11,30	1 640	B
2	76-09	3	13,000	15,147	30,330	47 797	11,80	1 710	B
3	77-09	7	13,074	15,170	30,200	56 723	14,00	2 030	B
4	78-09	7	13,103	15,243	30,380	63 527	15,50	2 250	B
5	79-09	28	13,195	15,250	30,500	95 416	23,20	3 370	C
6	80-09	28	13,810	15,480	30,800	93 486	22,10	3 210	C

Continuación de tabla LV.



FUENTE: informe 31236 entregado por CII, apéndice 16.

Se observa en la tabla anterior los tipos de fractura en los cilindros fueron tipo B (cono y clivaje) para edades tempranas, y tipo C (cono y ruptura) para 28 días, además la resistencia logró un máximo de 112,33 % de la esperada, debido a que el diseño necesito menos agua, ayudando a la resistencia final.

Figura 38. **Ensayo de cilindros de mezcla caliza + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 8 de julio de 2013.

5.4.2. **Ensayo de vigas a flexión**

El ensayo de esfuerzo a flexión del concreto se realiza bajo los procedimientos dictados por la Norma NTG 41017 h2 (ASTM C-78), esta

determina el esfuerzo de tensión por flexión y módulo de ruptura en probetas de concreto con carga distribuida a cada tercio de la luz, los resultados del ensayo para la mezcla de caliza + arena caliza se muestran en la siguiente tabla.

Tabla LVI. **Resultado ensayo a flexión en viga caliza + arena caliza**

ENSAYO DE FLEXION EN VIGA DE CONCRETO CALIZA + ARENA CALIZA								
Base B (cms)	Altura H (cms)	Longitud L (cms)	Peso de viga (kg)	Carga (Kg)	Contrapeso (Kg)	RESISTENCIA A TENSION		Tipo de falla
15,218	15,585	52,918	30,00	3 300	19,653	47,24	Kgf/cm ²	área de tensión al centro

Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Ensayo de flexión en viga caliza + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, 6 de agosto de 2013.

5.4.3. **Ensayo de velocidad de fraguado**

Los resultados de este ensayo realizado con procedimientos de la Norma NTG 41017 h12 (ASTM C-403), se muestran en la siguiente tabla, junto a la gráfica del comportamiento del tiempo de fraguado de la mezcla de concreto.

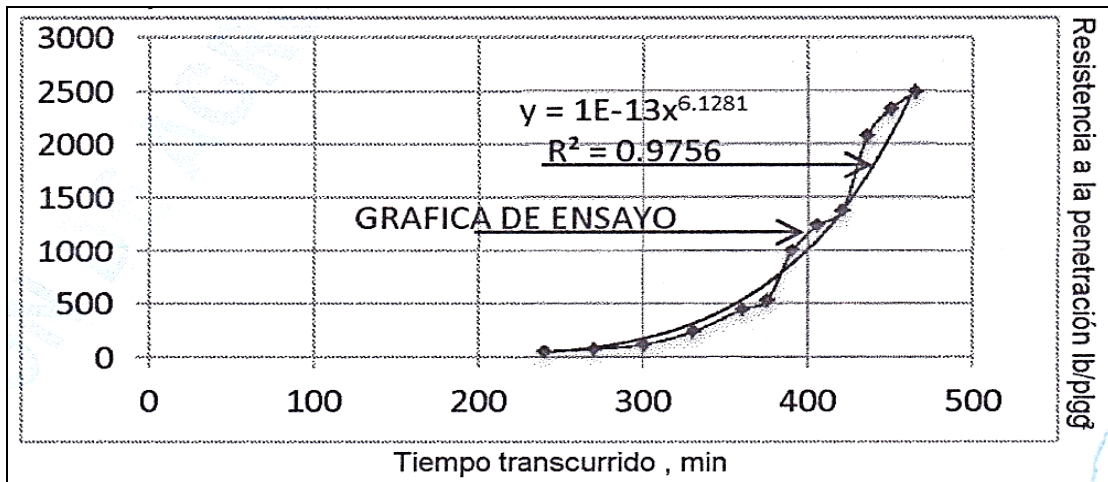
Tabla LVII. **Ensayo velocidad de fraguado de caliza + arena caliza**

ENSAYO DE PENETRACION CALIZA + ARENA CALIZA			
Proporción	1 : 2,32 : 2,95 : 0,56	Contenido de aire (%)	1,50
Cemento (kg)	24,90	Temp. mortero °C	21,11
Arena (kg)	57,80	Temp. ambiente inicial °C	22,90
Piedrín (kg)	73,50	Temp. ambiente final °C	21,00
Agua (lts)	13,90	Penetración (500 PSI)	6 hrs 0 min
Asentamiento (cms)	9,00	Penetración (3 000 PSI)	8 hrs 0 min

Fuente: elaboración propia.

Con todos los datos del ensayo de penetración se dibuja la gráfica que representa la velocidad con la cual endurece la mezcla de concreto.

Figura 40. **Gráfica velocidad de fraguado de caliza + arena caliza**



Fuente: informe 31717 entregado por CII, apéndice 20.

Figura 41. **Probeta ensayada del mortero caliza + arena caliza**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, ensayo 5 de julio de 2013.

Como son demasiados los resultados de los ensayos para cada diseño práctico, se pueden visualizar los mismos en la siguiente tabla, para conocer las principales diferencias entre resultados.

Tabla LVIII. **Resumen de ensayos del concreto fresco**

Diseño	Obsidiana + pirita	Obsidiana + arena	Caliza + pirita	Caliza + arena
Proporción	1 : 2,29 : 3,16 : 0,67	1 : 2,29 : 3,16 : 0,58	1 : 2,32 : 2,95 : 0,65	1 : 2,32 : 2,95 : 0,56
Cemento Kg.	24,30	24,30	24,91	24,91
Arena Kg.	55,60	55,60	57,76	57,76
Piedrín Kg.	76,70	76,70	73,52	73,52
Agua utilizada lts.	16,25	14,05	16,30	13,90
Temp. concreto °C	22,22	22,22	23,33	21,10
Asentamiento cm	8,70	8,50	8,20	9,00
Contenido de aire %	1,00	1,40	1,20	1,50
Masa unitaria Kg/m ³	2 170,00	2 260,00	2 270,00	2 400,00
Temp. mortero °C	22,55	21,11	21,66	21,11
Penetración 500 psi	6 hrs 40 min	6 hrs 20 min	7 hrs 0 min	6 hrs 0 min
Penetración 3000 psi	9 hrs 10 min	8 hrs 50 min	10 hrs 0 min	8 hrs 0 min

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de los ensayos de especímenes, también se resumen en la siguiente tabla para las distintas combinaciones de agregados en las mezclas:

Tabla LIX. Resumen de ensayos a especímenes de concreto

Diseño	Obsidiana + Pirita	Obsidiana + arena	Caliza + pirita	Caliza + arena
Proporción	1 : 2,29 : 3,16 : 0,67	1 : 2,29 : 3,16 : 0,58	1 : 2,32 : 2,95 : 0,65	1 : 2,32 : 2,95 : 0,56
Masa unitaria Kg/m ³	2 170,00	2 260,00	2 270,00	2 400,00
Asentamiento cm	8,70	8,50	8,20	9,00
F'c (3 días) PSI	1 060,00	1 190,00	1 190,00	1 710,00
F'c (7 días) PSI	1 500,00	1 700,00	1 500,00	2 250,00
F'c (28 días) PSI	2 540,00	2 770,00	2 500,00	3 370,00
Flexión (28 días) kgf/cm ²	40,81	37,61	38,47	47,24

Fuente: elaboración propia.

6. DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL

La reactividad potencial es provocada por los agregados para concreto que contienen minerales reactivos de sílice (especialmente de origen volcánico), y carbonatos (rocas dolomíticas), estos pueden reaccionar de forma perjudicial con los álcalis que comúnmente procede del cemento, provocando expansiones nocivas que inducen grietas, erupciones, cambios de color y fallas de los elementos de concreto expuestos a ambientes cálidos y húmedos.

La reactividad se considera potencialmente perjudicial solo cuando produce una expansión significativa mayor a 0,05 % de longitud del espécimen de ensayo a los 3 meses, y mayor a 0,10 % a los 6 meses, esta reactividad álcaliagregado se presenta de dos formas, reacción alcalisílice y reacción álcalicarbonato.

La reactividad alcalisílice se ha reconocido como la principal fuente potencial de deterioro del concreto, es la más preocupante porque la utilización de agregados que contienen reactivos de sílice es más común, contraria a los agregados de carbonatos reactivos con el álcalis, que tienen una composición específica que no es muy común, a pesar de que existen agregados reactivos en toda américa latina, la ocurrencia de reactividad alcalisílice no es tan frecuente, existen muchas razones para ello:

- La mayoría de los agregados son químicamente estables en concreto de cemento hidráulico.
- Agregados con registros de buen servicio predominan en muchas áreas.
- Algunas formas de reactividad alcalisílice no producen expansión nociva.

- La mayoría de los concretos en servicio están suficientemente secos para impedir la reactividad alcalisílice.
- En muchas mezclas de concreto, el contenido de álcalis del concreto es suficientemente bajo para controlar la reactividad alcalisílice.

Para reducir los efectos de la reactividad alcalisílice es necesario entender su mecanismo, usar adecuadamente los ensayos para identificar que agregados son potencialmente reactivos, tomar precauciones para minimizar el potencial de expansión y agrietamiento resultante en el concreto.

6.1. Reactividad alcalisílice (RAS)

La reacción alcalisílice es una expansión producida en el concreto entre el ion de hidróxido, asociado con los álcalis (óxido de sodio, óxido de potasio y cal libre) del cemento y de otras fuentes, con ciertos constituyentes silíceos amorfos que pueden estar presentes en los agregados, esta reacción provoca la formación de un gel de álcali silicato que da lugar a fuerzas de expansión.

Esta reacción tiene la capacidad de absorber humedad de la mezcla de concreto produciendo un crecimiento del gel, generando expansiones internas anormales en el concreto endurecido. Como consecuencia se producen agrietamientos, desplazamiento de elementos a lo largo de la estructura y pérdida de resistencia.

Como el deterioro por reactividad alcalisílice es lento, el riesgo de la falla catastrófica es bajo. La reactividad alcalisílice puede causar problemas de funcionalidad o utilización y puede agravar otros mecanismos de deterioro, como aquéllos que ocurren en la exposición a congelación, a químicos descongelantes y a sulfatos.

El ensayo para la prueba estándar de reactividad potencial alcalisílice (método químico) descrito en la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C 289), se emplea para identificar de forma rápida los agregados silíceos que son potencialmente reactivos (gruesos y finos). Este ensayo se puede completar de 2 a 3 días, en él se busca encontrar la concentración de sílice disuelta en las diferentes muestras de soluciones químicas y la reducción de alcalinidad.

Los resultados del ensayo no deben usarse como única base para aceptar o descartar un agregado por este método, pero se consideran satisfactorios si ninguno de los valores encontrados en las muestras difiere en promedio, para la concentración de sílice disuelta y reducción de alcalinidad.

- Cuando el promedio es de 100 mmol o menor, en 12 mmol/L
- Si el promedio es mayor de 100 mmol/L, en 12 por ciento

Si los resultados demuestran que el agregado es deletéreo (dañino) por contener una elevada concentración sílice disuelta, no se debe descartar sin antes tener información adicional, debido a que muchos agregados de origen volcánico pueden tener altas concentraciones de sílice y no presentar reactividad alcalisílice, se recomienda hacer otros ensayos como el descrito en la Norma NTG 41003 h7 (ASTM C-227), que se utiliza para determinar la reactividad expansiva alcalisílice a través del método de la barra de mortero, que es un poco más demorado, por el tiempo de almacenaje y medición de los especímenes de concreto.

Los resultados del ensayo de reactividad potencial alcalisílice por el método químico, clasificaron las muestras de agregados entregados para análisis de la siguiente manera.

Tabla LX. **Resultado de reactividad alcalisílice, Norma ASTM C-289**

Identificación de muestra	RESULTADOS		
	Reducción álcalina (mmol/L)	Sílice disuelta (mmol/L)	Clasificación según norma
RG-332-011-13-F (obsidiana/fino)	132,0 ± 13,6	173,0 ± 6,7	DELETÉREO
RG-332-012-13-G (obsidiana/grueso)	76,0 ± 15,7	34,7 ± 5,8	INOCUO
RG-332-013-13-G (arena caliza AGRECA / grueso)	228,0 ± 28,0	275,0 ± 5,0	POTENCIALMENTE DELETÉREO
RG-332-014-13-F (arena caliza AGRECA / fino)	171,0 ± 31,01	102,0 ± 14,4	INOCUO

Fuente: informe 31237 Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 7.

Se observa que la muestra de agregado obsidiana fino (arena piritita) se clasifica como deletéreo o perjudicial para ser utilizado en mezclas de concreto por contener elevada concentración de sílice disuelta, que puede generar la formación del gel expansivo que produce fisuras y grietas provocando fallas en la resistencia del concreto, se recomienda hacer otros análisis.

La concentración de sílice disuelta reactiva en el ensayo químico se debe a la presencia de sílice amorfa (ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita, vidrio criptocristalino), en la composición de los agregados generalmente de rocas volcánicas ácidas (alto contenido de sílice > 65 %), como riolitas, andesitas, algunas zeolitas y ciertas filitas (composición intermedia, contenido de sílice entre 52 a 65 %), argilitas, cuarcitas, granito, gneis, son ejemplos de áridos reactivos con los álcalis del cemento.

El análisis petrográfico señala que el agregado piritita (obsidiana fino), presenta alto contenido de partículas de riolita vítrea de composición de sílice

amorfa reactiva (29,50 % de la muestra), brecha y vidrio volcánico de composición variable (4,70 y 4,90 % respectivamente), partículas de agregados reactivos que puede ser el origen de alta concentración de sílice disuelta para el ensayo de reactividad alcalisílice (método químico), además de las partículas de obsidiana típica (53,00 %) que no representa ser agregado dañino.

Tabla LXI. **Resumen de composición petrográfica de arena pirita**

Tamices núm 4 (4,75 mm) hasta núm 100 (150µm)		
Roca tipo característica	# partículas	Porcentaje
Obsidiana típica	1 796	53,0
Retinita	127	3,7
Riolita vítrea	1 000	29,5
Toba	61	1,8
Pomez	64	1,9
Brecha de obsidiana	159	4,7
Riolita	11	0,3
Vidrio vesicular	165	4,9
Materia orgánica	6	0,2
TOTALES	3 389	100,0

Fuente: elaboración propia.

También para la muestra de agregado grueso de caliza (patrón de ensayo) se clasifica como potencialmente deletéreo por contener un alto contenido de carbonatos, lo que no puede reducir la alcalinidad de concentración de sílice disuelta en la muestra, se recomienda hacer un análisis de los carbonatos.

El agregado grueso de obsidiana (vidrio volcánico), se clasifica como inocuo o inofensivo para ser utilizado dentro de las mezclas de concreto, la alta cantidad de sílice en su composición no reacciona con los álcalis del cemento,

para confirmar el resultado, se puede realizar el ensayo de reactividad por el método de la barra de mortero.

La arena caliza se clasifica en este ensayo como agregado inocuo, su utilización es segura dentro del concreto, al igual que para la obsidiana se recomienda realizar un análisis de carbonatos antes de aceptarla o descartarla.

Como complemento del ensayo de reactividad alcalisílice se realizó un análisis de carbonatos por fotometría para las muestras de agregados, porque si existe alto porcentaje de óxido de calcio y óxido de magnesio, estos agregados pueden provocar una reacción alcalisílice, los resultados del análisis de carbonatos se indican en la siguiente tabla:

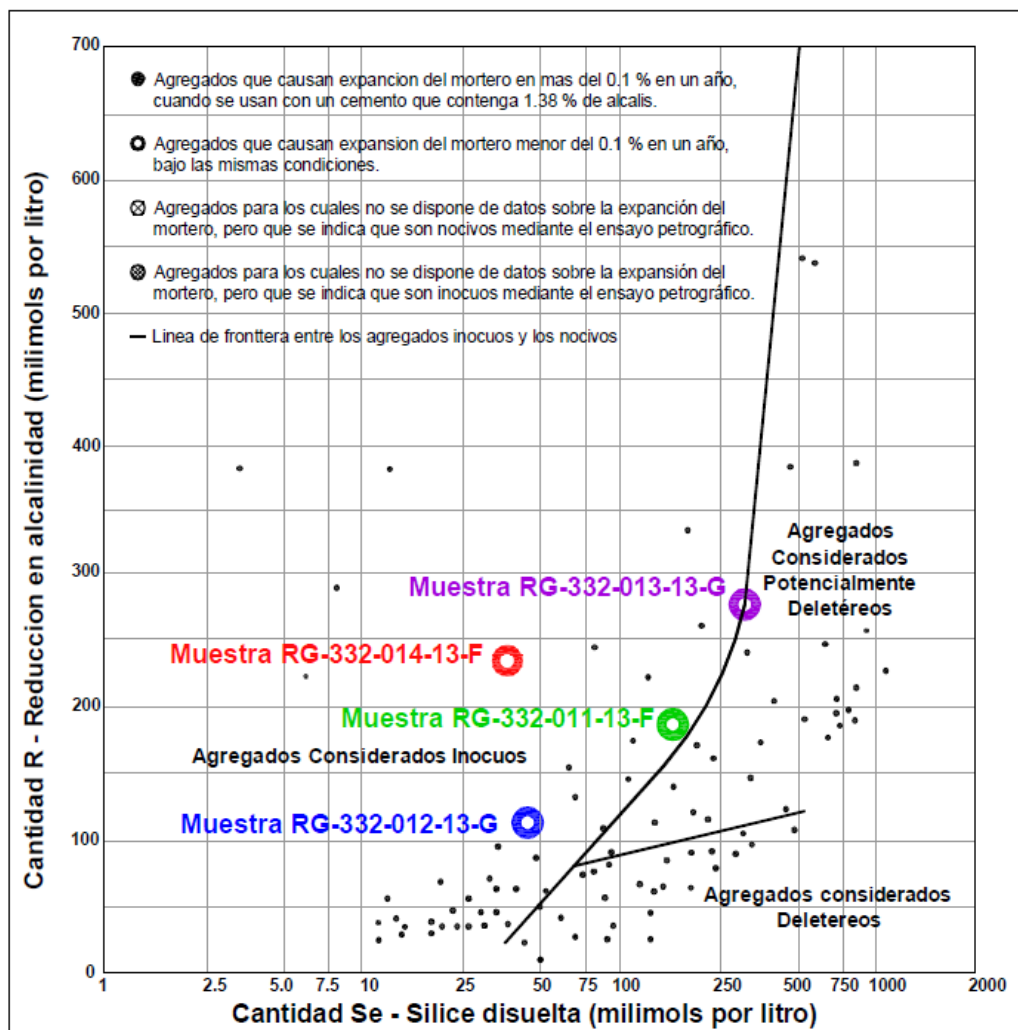
Tabla LXII. **Determinación de carbonatos en muestras por fotometría**

Identificación LAFIQ	Identificación interesado	Análisis	Porcentaje en masa (%)
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-017-13	Obsidiana agregado fino	% CaO	< 0,35
		% MgO	< 0,25
		% Fe ₂ O ₃	6,77 ± 1,19
		% Al ₂ O ₃	2,32 ± 0,59
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-018-13	Obsidiana agregado grueso	% CaO	< 0,22
		% MgO	< 0,13
		% Fe ₂ O ₃	4,45 ± 0,64
		% Al ₂ O ₃	0,79 ± 0,06
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-034-13	Caliza agregado fino	% CaO	44,32 ± 0,90
		% MgO	4,33 ± 0,54
		% Fe ₂ O ₃	8,19 ± 0,77
		% Al ₂ O ₃	1,50 ± 0,22
USAC-CII-QUINDLAFIQ- RG-360-035-13	Caliza agregado grueso	% CaO	49,03 ± 1,47
		% MgO	1,59 ± 0,7
		% Fe ₂ O ₃	9,87 ± 1,75
		% Al ₂ O ₃	< 0,01

Fuente: informe 31243 Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 9.

Con los resultados del ensayo de reactividad alcalisílice (método químico) según Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), se puede preparar una curva de calibración para interpretar de mejor forma la clasificación de los agregados, planteando los porcentajes de transmistancia comparándolas con la del agua, obtenidas con un fotómetro, contra las concentraciones de sílice obtenidas para cada muestra en las distintas soluciones.

Figura 42. **Curva de calibración ensayo de reactividad alcalisílice**



Fuente: informe 31237 Centro de Investigaciones de Ingeniería, apéndice 8.

Es posible que una reactividad alcalisílice ocurra en el concreto sin provocar daño de expansión, aún cuando la reacción sea muy extensa, y el gel pueda llenar las grietas inducido por otros mecanismos. Para que la reactividad alcalisílice ocurra, deben estar presentes las siguientes tres condiciones:

- Una forma reactiva de sílice en el agregado
- Una solución en el poro altamente alcalina (ph)
- Humedad suficiente

El comportamiento histórico del agregado en campo es el mejor medio para evaluar la sospecha de la reactividad alcalisílice, el concreto existente debe estar en servicio por varios años, debe hacerse las comparaciones entre el concreto existente y las proporciones de mezcla del concreto propuesto, sus ingredientes y el ambiente de servicio, en algunos casos se forma una cantidad significativa de gel sin hacer daño al concreto. Para señalar que la reactividad alcalisílice es la causa de daño, se debe verificar la presencia del gel nocivo.

Cuando haya incertidumbre en la utilización de los agregados, se deben realizar ensayos adicionales como los descritos en las Normas NTG 41003 h7, NTG 41010 h14, NTG 41010 h15, NTG 41010 h16, para confirmar los resultados. Estos ensayos no se deben utilizar para descalificar el uso de un agregado potencialmente reactivo, estos se pueden usar sin problemas con la elección cuidadosa de los materiales cementantes.

Actualmente se puede utilizar materiales cementantes suplementarios o cementos mezclados (adicionados), se ha comprobado a través de ensayos, que controlan o limitan el contenido de álcalis en el concreto. Los materiales cementantes suplementarios incluyen ceniza volante, escoria granulada de alto horno, humo de sílice y puzolanas naturales.

Los cementos mezclados usan escoria, ceniza volante, humo de sílice y puzolanas naturales para controlar la reactividad alcalisílice. El cemento con bajo contenido de álcalis inferior a 0.60 % (óxido de sodio, ASTM C-150), se puede usar para controlar la reactividad alcalisílice.

Su empleo ha sido bueno en agregados ligeros o medianamente reactivos. Sin embargo, los cementos con bajo contenido de álcalis no están disponibles en todas las regiones. Por ello se prefiere el uso de cementos disponibles localmente en combinación con puzolanas, escorias o cementos adicionados para controlar la reactividad.

6.2. Reactividad álcalicarbonato (RAC)

Al igual que la reacción alcalisílice, es un proceso químico de las rocas dolomíticas, que produce daño físico como la expansión y el agrietamiento del concreto, estas rocas contienen cristales grandes de dolomita dispersos y rodeados por una matriz de granos finos de calcita y arcilla. La calcita es una de las formas minerales del carbonato de calcio y la dolomita es el nombre común para el carbonato de calcio magnesio.

La reactividad álcalicarbonato es muy extraña porque los agregados variables a esta reacción no son los apropiados para el uso en concreto, por razones de resistencia, cristalización, facilidad de ruptura, textura lisa, entre otras. Las calizas dolomíticas arcillosas contienen calcita y dolomita, con gran cantidad de arcilla y pueden contener pequeñas cantidades de sílice reactiva. La reactividad a álcalis de las rocas carbonáticas normalmente no depende de la composición mineralógica de la arcilla. Los agregados tienen una reactividad potencial álcalicarbonato expansiva si están presentes las siguientes características litológicas.

- Contenido de arcilla, o residuo insoluble, en el rango del 5 % al 25 %.
- Relación entre calcita y dolomita de aproximadamente 1:1.
- Aumento en el volumen de la dolomita hasta el punto que la textura entrelazada se vuelva un factor de restricción.
- Pequeños cristales dolomíticos dispersos en la matriz de arcilla.

Los métodos normalmente usados para determinar la reactividad potencial álcalicarbonato de los agregados son: el examen petrográfico (ASTM C-295), ensayo del método del cilindro de roca, Norma NTG 41010 h17 (ASTM C-586), y ensayo del prisma de concreto, Norma NTG 41010 h18 (ASTM C-1105), este último es el más utilizado, pero es de larga duración.

La determinación de reactividad alcalina potencial de rocas carbonatadas usadas como agregados para concreto (método de cilindro de roca), Norma NTG 41010 H17 (ASTM C-586), es una prueba rápida que busca conocer la expansión del espécimen fabricado con rocas carbonatadas, sumergido en una solución de hidróxido de sodio durante largo tiempo, realizando mediciones periódicas del mismo a los 7, 14, 21, y 28 días, después cada 4 semanas.

Expansiones en la longitud del espécimen, mayores a 0,10 % indican reacciones químicas de los agregados, y deben hacerse ensayos adicionales. Además se debe observar en el espécimen características como grietas, alabeos, descascaramiento durante y después de su almacenamiento.

El agregado capaz de presentar reactividad álcalicarbonato tiene una composición única que se reconoce fácilmente por el ensayo petrográfico. El ensayo del método del cilindro de roca, Norma NTG 41010 h17 (ASTM C-586), se puede utilizar en la selección preliminar de los agregados para indicar la presencia de material, con potencial de expansión perjudicial en el concreto, no

es muy seguro por obtener resultados rápidos, razón por la cual no se rechaza el agregado que presenta reactividad, debiendo realizarse otros ensayos.

Otro ensayo para determinar la reactividad álcalicarbonato es el método del prisma de concreto, de la Norma NTG 41010 h18 (ASTM C-1105), es el más utilizado para confirmar la reactividad potencial de los agregado que contienen rocas susceptibles a una reacción álcalicarbonato, se fabrican 6 prismas de concreto (tamaño según la Norma ASTM C-157), en donde se busca encontrar un cambio en la longitud por expansión del prisma, realizando mediciones de longitud a las edades de 7, 28, 56 días y luego a 3, 6, 9 y 12 meses.

El ensayo se realiza normalmente en un año, pero si no fuera posible se puede ejecutar en un período de tres a seis meses. Una expansión igual o mayor del 0,03 % al año, de 0,025 % a los 6 meses o 0,015 % a los 3 meses indica que el agregado es potencialmente dañino. Si la roca indica reactividad, se pueden tomar las siguientes precauciones para mitigar la reacción:

- Evitar los carbonatos reactivos
- Limitar el tamaño del agregado al menor posible
- Utilizar cemento con muy bajo contenido de álcalis
- Seleccionar cantera para evitar completamente la reacción del agregado
- Disminuir la roca reactiva a menos de 20 % del agregado en el concreto

Un cemento con bajo contenido de álcalis y las puzolanas no son muy efectivos en el control de la reactividad álcalicarbonato expansiva.

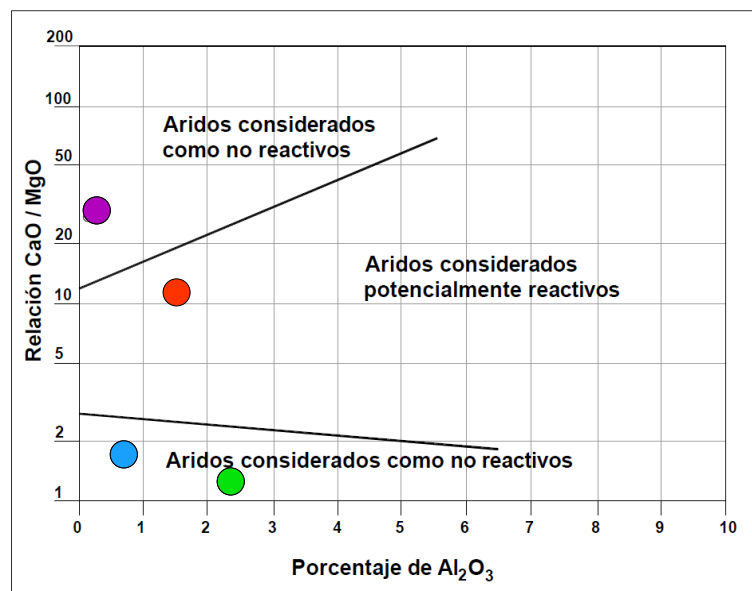
Otro método utilizado para determinar la reactividad álcalicarbonato es el método químico (UNE 146507-2 EX), este permite establecer de forma química la reactividad de los agregados, determinando la relación entre los carbonatos

presentes CaO / MgO del agregado, así como su contenido en Al_2O_3 , estos valores se representan luego en la figura 43, clasificado al agregado como no reactivo o potencialmente reactivo en función de los porcentajes de carbonatos en su composición.

Según el análisis de carbonatos efectuados a las muestras por fotometría en el laboratorio de análisis fisicoquímico, la relación de los porcentajes para graficar queda de la siguiente forma:

- | | | | | |
|-----------------|---|-------------|-----------|------------------|
| 1. Arena pirita | ● | (0,35 CaO, | 0,25 MgO, | 2,32 Al_2O_3) |
| 2. Obsidiana | ● | (0,22 CaO, | 0,13 MgO, | 0,79 Al_2O_3) |
| 3. Arena caliza | ● | (44,32 CaO, | 4,33 MgO, | 1,50 Al_2O_3) |
| 4. Caliza | ● | (49,03 CaO, | 1,59 MgO, | 0,01 Al_2O_3) |

Figura 43. **Gráfica de reactividad álcalicarbonato (UNE 146507-2 EX)**



Fuente: SIERRA LEMUS, Diana Carolina, *Sustancias reactivas nocivas en los agregados para concreto*, p. 42.

Como se puede observar en la gráfica anterior de las muestras analizadas para conocer el porcentaje de carbonatos únicamente el agregado grueso caliza se encuentra dentro de los límites que representan reactividad álcalicarbonato potencialmente perjudicial clasificándolo como un material potencialmente reactivo para su uso dentro de mezclas de concreto, por contener una alta relación CaO/MgO.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEZCLAS

7.1. Características físicas

Para la primer mezcla de concreto (obsidiana + arena pirita), el uso de agregados de color oscuro no afecta el color de la mezcla, la arena pirita presenta gran cantidad de agregados finos que traspasan el tamiz número 200, de color gris claro que equilibra el cambio de color. La adherencia no se ve afectada en estado semi plástico por la textura semi lisa y bordes agudos. La arena pirita incremento en 17,70 % el consumo de agua, modificando la proporción original del diseño teórico para lograr el asentamiento requerido.

Los agregados se encuentran representados por el 76,55 % del volumen en peso de la mezcla, el contenido de aire atrapado en la mezcla es relativamente bajo, solo el 1,00 %, esto puede afectar la resistencia del concreto que se expone a ciclos de congelación y deshielo, así como también a químicos descongelantes. La temperatura inicial de fraguado es baja 22,22 °C, indica que el concreto alcanzará su resistencia de forma lenta.

La masa unitaria del concreto se ve afectada, 2 170 kg/m³, esta se reduce comparándola con la del diseño teórico, indica que hubo una modificación de las proporciones de mezcla de concreto, debida al incremento en el consumo de agua, perjudicando negativamente la resistencia final del concreto.

Para la segunda mezcla de concreto (obsidiana + arena caliza), presenta buena trabajabilidad y fluidez, existe un pequeño incremento en la cantidad de

agua requerida de 1,80 % adicional, debido a la humedad de los agregados al momento de realizar la mezcla, modificando la proporción del diseño teórico.

Los agregados ocupan el 77,52 % del volumen dentro de la mezcla, el contenido de aire atrapado es 1,40 %, pudiendo afectar la resistencia del concreto que se expone a ciclos de congelación y deshielo, así como también a químicos descongelantes. La temperatura inicial de fraguado es baja 22,22 °C.

La masa unitaria de la mezcla es 2 260 kg/m³, menor a la del diseño teórico, indica que también se modificaron las proporciones de mezcla, debido al aumento del agua, y que los materiales han sufrido alguna modificación en sus características, afectando la resistencia final.

En el tercer diseño de mezcla de concreto (caliza + arena pirita), la adherencia de la pasta es buena, por la textura áspera y bordes agudos de la roca caliza. Presenta buena trabajabilidad y fluidez, existe un incremento en la cantidad de agua del 14,80 %, debido al uso de arena pirita (gran cantidad de partículas menores al tamiz número 200), modificando la proporción original del diseño, para alcanzar el asentamiento requerido.

Los agregados representan el 76,16 % del volumen de la mezcla, por una granulometría bien definida, el contenido de aire atrapado es 1,20 %, valor relativamente bajo, la temperatura inicial de fraguado es baja 23,33 °C, indica que el concreto alcanzara su resistencia de forma lenta.

La masa unitaria de la mezcla es 2 270 kg/m³, debido al aumento de agua, existe alguna modificación en las características de los agregados, variando las proporciones originales, afectando la resistencia final.

Para la cuarta mezcla de concreto (caliza + arena caliza), el color de la mezcla es el común gris oscuro, presenta buena consistencia y fluidez, existe una reducción en la cantidad de agua requerida de 2,10 % menor debida a las condiciones ambientales de los agregados al momento de realizar la mezcla practica y al buen diseño teórico de la mezcla utilizada como patrón de comparación, modificando débilmente la proporción del diseño teórico, para lograr el asentamiento sin afectar la resistencia final.

Los agregados ocupan el 77,16 % del volumen dentro de la mezcla, el contenido de aire atrapado en la mezcla es 1,50 %, valor relativamente bajo menor al 2,00 % normal para mezclas de concreto con agregado $\frac{3}{4}$ plg, la temperatura inicial de fraguado es baja 21,10 °C.

La masa unitaria de la mezcla no se ve afectada, 2 400 kg/m³, indica que no existe modificación en las características de los agregados, favoreciendo la resistencia final del concreto.

7.2. Propiedades mecánicas

Para la primer mezcla de concreto (obsidiana + arena pirita), el incremento en el consumo de agua puede representar una modificación en las características físicas y propiedades mecánicas de los agregados, como la ruptura en el tamaño nominal de partículas de obsidiana durante el mezclado, debida a una baja resistencia al desgaste y abrasión, demandando agua y cemento para cubrir la superficie de las partículas rotas, afectando de forma directa la proporción de diseño teórico y la resistencia final del concreto.

Para la segunda mezcla (obsidiana + arena caliza), el pequeño incremento de agua indica que no existe una modificación considerable en las

características mecánicas de los agregados durante el mezclado, y únicamente un mayor consumo de agua debida a condiciones de ambiente, que puede afectar la proporción de diseño y la resistencia.

Para la tercer mezcla de concreto (caliza + arena pirita) el incremento de agua, representa cambio en las características físicas y mecánicas de la arena pirita, como la ruptura de partículas débiles durante el mezclado, debida a una alta concentración de riolita vítrea, alrededor del 29,50 % dentro de su volumen, demandando agua y cemento para cubrir las superficies rotas, afectando de forma directa la proporción de diseño y el resultado final de resistencia.

Para la cuarta y última mezcla de concreto (caliza + arena caliza), no existe modificación en las características mecánicas de los agregados, y la reducción en el consumo de agua es debida a particularidades del ambiente.

Tabla LXIII. Resumen características físicas y propiedades mecánicas

Característica	Obsidiana + pirita	Obsidiana + arena	Caliza + pirita	Caliza + arena
Proporción original	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57
Proporción modificada	1 : 2,29 : 3,16 : 0,67	1 : 2,29 : 3,16 : 0,58	1 : 2,32 : 2,95 : 0,65	1 : 2,32 : 2,95 : 0,56
Color de mezcla	Gris (normal)	Gris (normal)	Gris (normal)	Gris (normal)
Trabajabilidad y fluidez	buena	buena	buena	buena
Adherencia	buena	buena	excelente	excelente
Asentamiento cm	8,70	8,50	8,2	9,00
Cambio en el agua lts.	16,25	14,05	16,30	13,90
Volumen Agregados %	76,55	77,52	76,16	77,16
Contenido de aire %	1,00	1,40	1,20	1,50
Temp. inicial °C	22,22	22,22	23,33	21,10
Masa unitaria kg/m ³	2 170	2 260	2 270	2 400
Desgaste mecánico	obsidiana + pirita	ninguno	pirita	ninguno
F'c (28 días) psi	2 540	2 770	2 500	3 370

Fuente: elaboración propia.

7.3. Características químicas

Existe en la primer mezcla de concreto práctica (obsidiana + arena pirita) un posible contenido de materias orgánicas perjudiciales en la resistencia del concreto, debido a que la muestra de obsidiana y arena pirita se obtuvo de un banco expuesto al aire libre, además puede tener reactividad alcalisílice debida al uso de agregados volcánicos particularmente en la arena, la cual se clasifica como deletérea o perjudicial según el método de prueba en la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), el ataque a sulfato de sodio también demuestra que la arena pirita tiene un alto porcentaje de desgaste para todos los tamaños, se encuentra fuera de límite (10 % de pérdida) permitido por la Norma NTG 41007.

Para la segunda mezcla de concreto (obsidiana + arena caliza), el contenido de materia orgánica perjudicial en la resistencia del concreto lo proporciona el agregado grueso, extraído de un banco de material expuesto al aire libre, con 0,01 % de partículas de materia orgánica, determinadas por inspección visual, la combinación de estos agregados no genera ningún tipo de reactividad potencial dañina con los álcalis que generalmente tiene el cemento, según el método de prueba de la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), y UNE 146507-2 EX, la pérdida de desgaste por el ataque de sulfato de sodio descrito por la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88), indica que ambos agregados cumplen los requisitos, utilizándose de forma segura en la mezcla de concreto.

La mezcla de concreto (caliza + arena pirita) es posible que presente contenido de materias orgánicas perjudiciales en la resistencia del concreto, debido a que la muestra de arena pirita se encuentra entre la frontera de aceptación para ser utilizada en la mezcla de concreto, debido a que se obtuvo de un banco expuesto al aire libre sin protección, además puede tener reactividad alcalisílice potencialmente perjudicial debido a que se clasifica como

deletérea o dañina según el método de prueba descrita por la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), la resistencia al desgaste por pérdida de material también se ve afectado por el ataque de sulfato de sodio, según la Norma NTG 41010 h6 (ASTM C-88), que demuestra que la arena pirita tiene un alto porcentaje de desgaste para todos los tamaños, y se encuentra fuera de límite (10 % de pérdida) permitido por la Norma NTG 41007 (ASTM C-33).

Para la última mezcla de concreto (caliza + arena caliza) el contenido de materia orgánica no representa daño en la resistencia de la mezcla, porque ambos agregados proceden de una planta de trituración con controles de calidad, el análisis de reactividad demuestra que el agregado grueso caliza puede generar reactividad álcalicarbonato según la Norma UNE 146507-2 EX, potencialmente dañina debida al alto contenido de carbonatos, la prueba de resistencia a sulfato de sodio confirma que ambos agregados se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma para su utilización en el concreto.

Tabla LXIV. Resumen de características químicas

Característica	Obsidiana + pirita	Obsidiana + arena	Caliza + pirita	Caliza + arena
Proporción original	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57
Materia Orgánica Grueso %	0,01	0,01	0,00	0,00
Materia Orgánica Fino	Aceptable	Excelente	Aceptable	Excelente
(RAS) A. Grueso	Inocuo	Inocuo	Potencialmente deletéreo	Potencialmente deletéreo
(RAS) A. Fino	Deletereo	Inocuo	Deletereo	Inocuo
(RAC) A. Grueso	No reactivo	No reactivo	Potencialmente reactivo	Potencialmente reactivo
(RAC) A. Fino	No reactivo	No reactivo	No reactivo	No reactivo
Desgaste a sulfato A.G. %	1,13	1,13	3,92	3,92
Desgaste a sulfato A.F. %	20,21	3,87	20,21	3,87

Fuente: elaboración propia.

7.4. Características petrográficas

La mezcla de concreto (obsidiana + arena pirita) presenta la combinación de rocas volcánicas ácidas en su mayoría de textura vítrea, con un alto contenido de sílice, y baja absorción de agua, sin embargo el análisis petrográfico indica que la arena pirita es un conjunto de obsidianas, riolitas, retinitas, piedras pómez, tobas volcánicas, brechas, y vidrio vesicular que en su mayoría presentan bajas resistencia al desgaste por abrasión y pueden fracturarse cambiando de tamaños y demandar una cantidad de agua y cemento que puede afectar la resistencia final del concreto.

Además este diseño de mezcla tiene la probabilidad de generar reactividad alcalisílice potencialmente perjudicial para el concreto por la alta concentración de sílice disuelto en la muestra de arena pirita según ensayo de la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289).

Para la segunda mezcla de concreto (obsidiana + arena caliza) la combinación de estos dos agregados señala la fusión entre el agregado grueso formado por obsidianas, riolitas, y retinitas en su mayoría rocas frágiles al desgaste por abrasión con la caliza producto de la trituración, no representa ningún cambio en las propiedades morfológicas de los agregados.

En la mezcla de concreto (caliza + arena pirita) se presentan las mismas variables de la primer mezcla, la utilización de arena pirita representa un alto porcentaje de rocas blandas capaces de fracturarse con el desgaste provocado por el mezclado a máquina, aumentando el consumo de agua. Además de una probabilidad de reactividad alcalisílice de la arena pirita, clasificada deletérea (dañina) según la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), y reactividad álcalicarbonato del agregado grueso de caliza clasificado potencialmente

deletéreo por la misma norma. Ambas reactividades afectan directamente la resistencia y durabilidad del concreto.

Para la cuarta y última mezcla de concreto (caliza + arena caliza), el alto contenido de carbonato de calcio, por parte del agregado grueso (calcita) puede generar una reactividad álcali-carbonato, potencialmente perjudicial para la mezcla de concreto, según la Norma NTG 41010 h13 (ASTM C-289), que lo clasifica como potencialmente dañino y confirmado por la gráfica de la Norma UNE 146507-2 EX, afectando la resistencia final del concreto.

Tabla LXV. **Resumen de características petrográficas**

Característica	Obsidiana + pirita	Obsidiana + arena	Caliza + pirita	Caliza + arena
Proporción original	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	1 : 2,29 : 3,16 : 0,57	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57	1 : 2,32 : 2,95 : 0,57
principales rocas presentes en la mezcla de concreto	obsidiana, riolita, retinitas, piedra pomez, toba volcánica, brechas, vidrio vesicular	obsidiana, riolita, caliza, calcita y magnesita	caliza, calcita, obsidiana típica, riolita, retinitas, piedra pomez, toba volcánica, brechas, vidrio vesicular	caliza, calcita y magnesita
Composición mineral	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , PPI, FeS ₂	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeS ₂ , PPI, CaCO ₃ , MgO	CaCO ₃ , MgO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , PPI, FeS ₂	CaCO ₃ , MgO

Fuente: elaboración propia.

7.5. Resistencia a compresión de obsidiana + pirita

Este diseño de mezcla (obsidiana + arena pirita) tiene una resistencia a compresión relativamente baja de 84,67 % a los 28 días, de la resistencia final esperada, debido al incremento en el consumo de agua probablemente por condiciones de ambiente y posible fractura de los agregados al momento del mezclado con máquina, para obtener el asentamiento necesario sin incrementar la cantidad de cemento, y al verse reflejado en la disminución de la masa

unitaria del concreto fresco, además la resistencia también se puede ver afectada por la adherencia de las partículas por tener una superficie relativamente lisa, los ensayos de especímenes para resistencia a compresión del concreto arrojaron la siguiente información:

- Para la edad de 3 días, se alcanzó una resistencia de 1 060 lbs/plg², que representa el 35,33 %, cuando debe haber llegado al 50,00 %.
- Para los 7 días de edad alcanzó una resistencia de 1 500 lbs/plg², que representa el 50,00 %, debiendo obtener un valor cercano a 75,00 %.
- Para la edad de 28 días se alcanzó una resistencia de 2 540 lbs/plg², que equivale a 84,67 %, cuando debería haber llegado entre (95 a 100 %) de la resistencia final proyectada.

7.6. Resistencia a compresión de obsidiana + arena

Este diseño de mezcla (obsidiana + arena caliza) alcanzó una resistencia del 92,33 %, a los 28 días, inferior a la resistencia de diseño, debido a que hubo un leve aumento en el consumo de agua para lograr el asentamiento necesario, sin variar las cantidades de los otros materiales, quizás por condiciones de ambiente y posible fractura del agregado grueso de obsidiana al momento del mezclado con máquina, así también defecto en la adherencia de las partículas por tener superficie relativamente lisa, y al verse reflejado en la disminución de la masa unitaria 2 260 kg/m³ del concreto fresco, los ensayos de especímenes para resistencia a compresión del concreto muestran lo siguiente:

- Para la edad de 3 días, se alcanzó una resistencia de 1 190 lbs/plg², que representa el 39,66 %, cuando debe haber llegado cerca del 50,00 %.
- Para la edad de 7 días, la resistencia fue 1 700 lbs/plg², equivalente al 56,67 %, debiendo haber obtenido un valor cercano al 75,00 %.

- Para los 28 días, se alcanzó una resistencia de 2 770 lbs/plg², que equivale al 92,33 %, debería haber llegado entre (95 a 100 %) de la resistencia esperada.

7.7. Resistencia a compresión de agregado caliza + pirita

Para la tercera mezcla de concreto, los cilindros ensayados mostraron una reducción en la resistencia esperada, únicamente se alcanzó 2 500 lbs/plg² a los 28 días, correspondiente al 83,33 %, esto pudo ser debido al incremento en el agua de diseño, por condiciones del ambiente de los agregados y posible fractura de la arena pirita durante el mezclado, para obtener el asentamiento necesario, y verse reflejado en la disminución de la masa unitaria 2 270 kg/m³ del concreto fresco.

Además la resistencia también se puede ver afectada por la adherencia de las partículas con la pasta de cemento, provocado por el aumento de partículas de tamaño inferior a 75 micras, producto de la desintegración de la arena pirita y poseer una superficie relativamente lisa, los ensayos de resistencia a compresión mostraron la siguiente información:

- Para la edad de 3 días, se alcanzó una resistencia de 1 190 lbs/plg² que representa el 39,66 %, cuando debería haber llegado al 50,00 %.
- Para la edad de 7 días, se alcanzaron 1 500 lbs/plg² de resistencia, que equivale al 50,00 %, debiendo haber tenido un valor cerca de 75,00 %.
- Para la edad de 28 días, se alcanzó una resistencia de 2 500 lbs/plg², que equivale a 83,33 % cuando debería haber llegado entre (95 a 100 %) de la resistencia final proyectada.

Esta es prácticamente el diseño de mezcla con la resistencia más baja, considerando como principal responsable, las malas propiedades mecánicas al desgaste de la arena piritá.

7.8. Resistencia a compresión de agregado caliza + arena

En el cuarto y último diseño de mezcla de concreto (caliza + arena caliza), como se esperaba, por ser el diseño patrón de referencia, y debido a la confianza en las características de sus agregados, el ensayo de la resistencia a compresión de cilindros obtuvo un valor satisfactoriamente superior, se alcanzó una resistencia de 3 370 lbs/plg² a los 28 días, que corresponde al 112,33 %, superior debido a la reducción en la cantidad de agua para obtener el asentamiento necesario y al factor de desviación para incremento, por el tipo de control de fabricación de mezclas, para obtener realmente la resistencia requerida. Los ensayos de especímenes para resistencia a compresión del concreto arrojaron la siguiente información:

- Para la edad de 3 días, se alcanzó una resistencia de 1 710 lbs/plg², que representa el 57,00 %, superior al 50,00 % esperado.
- Para la edad de 7 días, se alcanzó una resistencia de 2 250 lbs/plg² que representa el 75,00 %, de la resistencia siendo la resistencia esperada.
- Para la edad de 28 días, se alcanzó una resistencia de 3 370 lbs/plg², que equivale al 112,33 %, superando el valor esperado de (95 a 100 %) de la resistencia final.

Esta es la mezcla de concreto con la resistencia más alta, gracias a que todos los agregados y procedimientos cumplen con las especificaciones para la fabricación de concreto y servir como patrón de referencia. Y para visualizar de mejor forma las diferencias entre diseños, se muestra la siguiente tabla.

Tabla LXVI. **Resumen de resistencia a compresión para los 4 diseños**

Característica		Obsidiana + piritita		Obsidiana + arena		Caliza + piritita		Caliza + arena	
No. de muestra	Edad en días	Resistencia F'c		Resistencia F'c		Resistencia F'c		Resistencia F'c	
		lb / plg ²	% *	lb / plg ²	% *	lb / plg ²	% *	lb / plg ²	% *
1	3	1 020	34,00	1 190	39,67	1 130	37,67	1 640	54,67
2	3	1 060	35,33	1 160	38,67	1 190	39,67	1 710	57,00
3	7	1 410	47,00	1 700	56,67	1 500	50,00	2 030	67,67
4	7	1 500	50,00	1 570	52,33	1 500	50,00	2 250	75,00
5	28	2 540	84,67	2 770	92,33	2 450	81,67	3 370	112,33
6	28	2 370	79,00	2 700	90,00	2 500	83,33	3 210	107,00

* Porcentaje de resistencia alcanzada respecto a la resistencia de diseño 3 000 PSI

Fuente: elaboración propia.

7.9. Ventajas y desventajas

Para determinar las ventajas y desventajas en la fabricación de mezclas de concreto elaborado con rocas de textura vítrea como agregados, hay que separarlos y hacer mención de forma individual las propiedades que ofrecen.

Tabla LXVII. **Ventajas y desventajas de obsidiana (agregado grueso)**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Más de 70 % de partículas redondas (ni planas ni alargadas)	Masa unitaria baja comparada con masa patrón
Bajo contenido de material que pasa el tamiz núm. 200	Poca resistencia a desgaste por abrasión
No presenta reactividad álcali-sílice	4,90 % de riolitas vítreas (frágiles)
Variedad de tamaños granulométricos	Poca adherencia superficie semi lisa
Temperatura inicial de fraguado baja	Baja resistencia a compresión
Buena resistencia al desgaste por sulfuros	Bajo contenido de aire atrapado
Bajo consumo de cemento y poca absorción de agua	Partículas de grano fino
Partículas limpias, sanas y con poco desgaste	
Buena consistencia y fluidez de mezcla	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVIII. Ventajas y desventajas de la arena pirita (agregado fino)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Variedad de tamaños granulométricos	Exceso de partículas retenidas en tamiz No. 8
Temperatura inicial de fraguado baja	29,50 por ciento de riolitas vítreas (frágiles)
Partículas limpias y sanas	Poca resistencia a desgaste de sulfuros
Módulo de finura 3,11 (arena gruesa)	Alto contenido material pasa tamiz núm. 200
Cumple prueba de contenido de materia orgánica	Baja resistencia a compresión
	Bajo contenido de aire atrapado inferior a 1,00 %
	Alto consumo de agua y cemento
	Presenta reactividad álcali-sílice
	53,00 % es obsidiana, el resto son rocas variadas
	Poca resistencia al desgaste mecánico
	Masa unitaria baja comparada con masa patrón

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los agregados de origen volcánico y textura vítrea, obsidiana y pirita, cumplen con algunas características físicas para ser utilizados como agregados para la fabricación de mezclas de concreto.
2. Los agregados de origen volcánico y textura vítrea, obsidiana y pirita, cumplen parcialmente con las propiedades mecánicas, para ser utilizados como agregados para la fabricación de mezclas de concreto.
3. La arena pirita no es recomendada para ser utilizada en las mezclas de concreto por contener demasiadas partículas frágiles y finas, que incrementan el consumo de agua, y reducen la resistencia del mismo.
4. La falta de adherencia de la pasta de cemento con la superficie lisa de las partículas de obsidiana, afecta directamente en la resistencia.
5. La resistencia a compresión en condiciones de laboratorio, del concreto fabricado bajo las mismas características que la mezcla patrón de referencia, alcanza el 93 % de la resistencia de diseño.
6. El uso de concreto fabricado con agregados de origen volcánico, no cumple para uso de concreto estructural.

RECOMENDACIONES

1. Hacer un análisis más profundo del material obsidiana como agregado para su incorporación satisfactoria dentro de las mezclas de concreto, con una serie de pruebas estadísticas desarrolladas por personas distintas, y muestreo de material.
2. Para utilizar la arena pirita es recomendable lavarla antes, para eliminar las partículas finas y poco densas, que perjudican su desempeño en las mezclas de concreto.
3. Mejorar las propiedades y características que ofrece la obsidiana, a través de una granulometría mejor distribuida, para corregir los diseños teóricos de mezclas, o quizás el uso de otro material fino, para aumentar su resistencia a compresión.
4. Además del diseño patrón con arena caliza, se recomienda incluir otros agregados que sean muy utilizados en la fabricación de concreto, para estudiar el comportamiento de la obsidiana con los mismos.
5. Buscar distintos bancos de material obsidiana y comparar sus propiedades y características de forma individual.
6. Utilizar la obsidiana como agregado grueso, en las mezclas de concreto que no son estructurales, de bajas resistencias, y en lugares donde se disponga de ella, para aprovechar los materiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Americana para los Ensayos y Materiales. ASTM C-33-03, *Standard Specification for Concrete Aggregates*. USA: ASTM, 2003. 11 p.
2. Asociación Americana para los Ensayos y Materiales. ASTM C-295-03, *Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete*. USA: ASTM, 2003. 8 p.
3. BLANCO ÁLVAREZ, Francisco. *Materiales de construcción*. [en línea]. 268p. Universidad de Oviedo. España. Escuela de Minas. <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema3.MaterialesCONSTRUCCION.PETREOSNATURALES.pdf> [Consulta: febrero de 2013].
4. BOHNENBERGER, Otto H. *Los focos eruptivos cuaternarios de Guatemala*, documento INSIVUMEH. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), 1969, 32 p.
5. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). *Síntesis geológica de Guatemala*, (Documento). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, año 2012, 10 p.
6. Comisión Guatemalteca de Normas. NTG 41003 h-7, *Determinación de la reactividad alcalina potencial de las combinaciones cemento-agregado (método de la barra de mortero)*. Guatemala: Coguanor, diciembre 2014. 15 p.

7. _____. NTG 41007, *Agregados para concreto, especificaciones*. Guatemala: Coguanor, 2014. 24 p.
8. _____. NTG 41010 h-1, *Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso*. Guatemala: Coguanor, 2014. 15 p.
9. _____. NTG 41010 h-2, *Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados*. Guatemala: Coguanor, Referencia ICS: 91.100.10, año 2014. 12 p.
10. _____. NTG 41010 h-3, *Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75 μm (No. 200) en agregados minerales*. Guatemala: Coguanor, 2014. 11 p.
11. _____. NTG 41010 h-4, *Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto*. Guatemala: Coguanor, 2014. 8 p.
12. _____. NTG 41010 h-6, *Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o del sulfato de magnesio*. Guatemala: Coguanor, 2012. 15 p.
13. _____. NTG 41010 h-8, *Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado grueso*. Guatemala: Coguanor, 2012. 17 p.
14. _____. NTG 41010 h-9, *Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agua del agregado fino*. Guatemala: Coguanor, 2012. 18 p.

15. _____. NTG 41010 h-12, *Determinación de partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en el agregado grueso*. Guatemala: Coguanor, 2012. 13 p.
16. _____. NTG 41010 h13, *Determinación de reactividad potencial alcalisílice en agregados. Método químico*. Guatemala: Coguanor, 2012. 18 p.
17. _____. NTG 41010 h-20, *Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta 37,5 mm (1½ plg) por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles*. Guatemala: Coguanor, junio 2014. 12 p.
18. _____. NTG 41017 h-1, *Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Guatemala: Coguanor, Referencia ICS: 91.100.10, año 2012. 15 p.
19. _____. NTG 41017 h-2, *Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (usando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz)*. Guatemala: Coguanor, 2012, 10 p.
20. _____. NTG 41017 h-5, *Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto*. Guatemala: Coguanor, Referencia ICS: 91.100.10, año 2012. 9 p.
21. _____. NTG 41017 h-7, *Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión*. Guatemala: Coguanor, noviembre 2015. 23 p.

22. _____. NTG 41017 h-12, *Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración*. Guatemala: Coguanor, 2013. 18 p.
23. _____. NTG 41052, *Determinación del asentamiento del concreto hidráulico*. Guatemala: Coguanor, 2012. 9 p.
24. _____. NTG 41053, *Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado*. Guatemala: Coguanor, 2012. 5 p.
25. _____. NTG 41060, *Práctica para elaboración de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio*. Guatemala: Coguanor, 2012. 23 p.
26. Ecu Red: enciclopedia cubana, conocimiento con todos y para todos. *Obsidiana*. [en línea] <http://www.ecured.cu/Obsidiana>. [Consulta: enero 2014].
27. Explora geología. *Estudio sobre áridos: geología, legislación, medio ambiente, normativa, explotación y tratamiento*. [en línea], año 2010. 106 p. www.explorageologia.com. [Consulta: enero 2014].
28. FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, Rafael. *La formación de las rocas*. [en línea] <https://elprofedenaturales.wordpress.com/tag/rocas/> [Consulta: febrero de 2014].
29. GONZALES SALCEDO, Luis Octavio, *Conceptos generales sobre los agregados*. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y administración, Sede Palmira. Enero 2008, 70 p.

30. GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. *El concreto y otros materiales para la construcción*, 2da edición, versión digital, I.S.B.N 958-9322-82-4, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2003, 227 p.
31. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación, ICONTEC NTC 174. *Concreto, Especificaciones de los agregados para concreto*, quinta actualización, Bogotá, 1967. junio de 2000, 22 p.
32. Larousse Editorial, S.L. *Diccionario Enciclopédico*. [en línea] México. Vox 1. año 2009. <http://es.thefreedictionary.com/> [consulta: 3 de febrero de 2014].
33. MATUS LAZO, Iván Antonio y BLANCO RODRÍGUEZ, Marvin A. *Apuntes de materiales de construcción*. [en línea]. Nicaragua. Año 2011. 32 p. <https://es.scribd.com/doc/312742096/Apuntes-de-Materiales-de-Construccion-pdf> [Consulta: febrero 2014].
34. Portland Cement Association. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Capítulo 5. Agregados para concreto. México 2004. 456 p.
35. SIERRA LEMUS, Diana Carolina, *Sustancias reactivas nocivas en los agregados para concreto*, Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2006. Versión digital 115 p.
36. TABARES Natasha, LOVE Michael, GLASCOCK Michael, NEFF Hector y SPEAKMAN Jeff. *Variación y distribución de las fuentes de navajas prismáticas de obsidiana en El Ujuxte, Guatemala*. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala. 2003. 12 p.

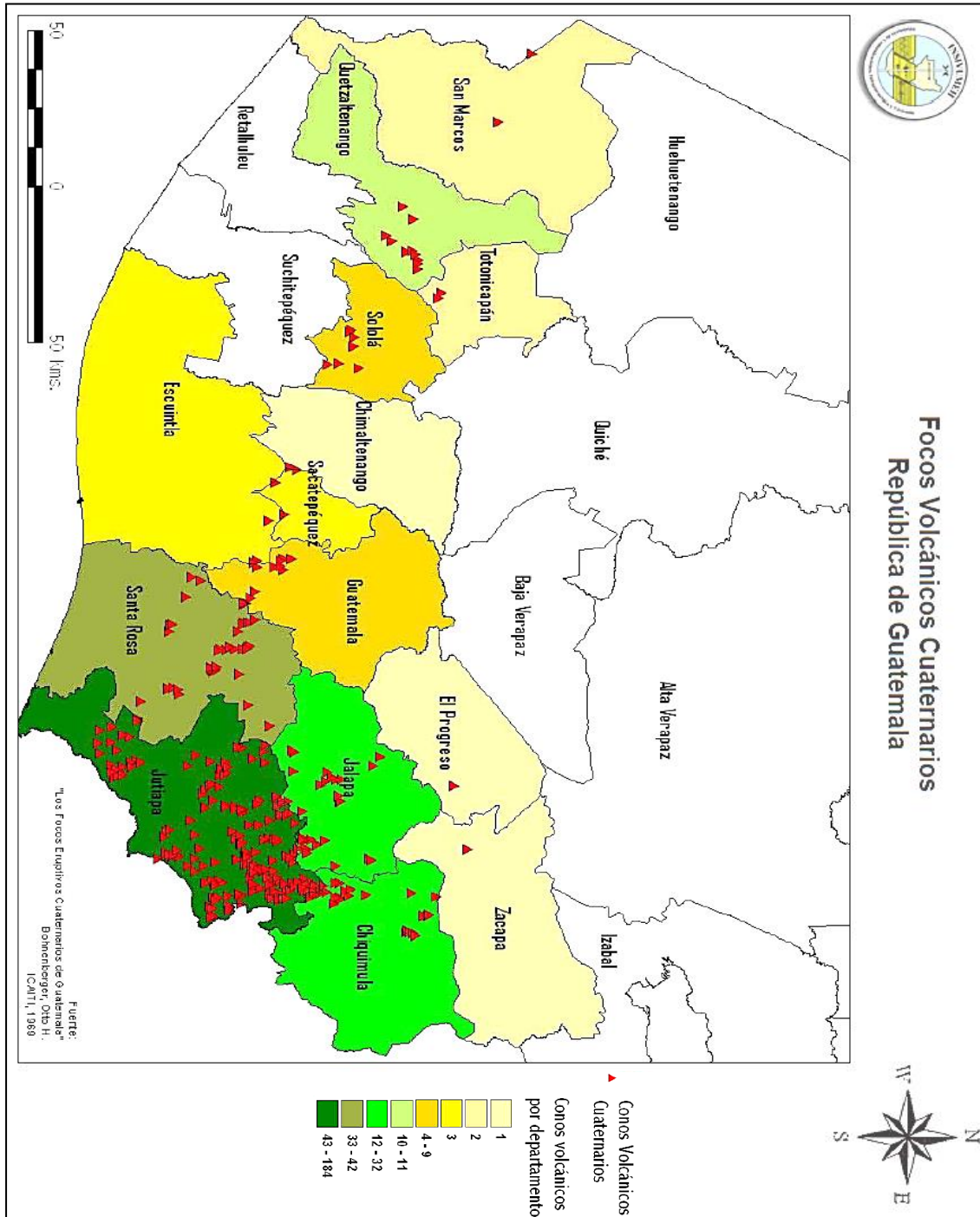
37. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Diseño de una mezcla de concreto para una resistencia y uso determinado*. Guía de laboratorio de materiales de construcción. Facultad de Ingeniería. Centro de Investigaciones de Ingeniería CII. Departamento de materiales de construcción. Junio 2013. 4 p.
38. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Manual de laboratorio del curso de materiales de construcción*, Facultad de Ingeniería. Agosto 2002. 145 p.
39. Universidad Politécnica de Madrid. *Guía de minerales y rocas: Liparita*. [en línea]. <http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/edafologia/aplicaciones/GUÍA%20MINERALES/Fichas/liparita.html> [Consulta: 18 de noviembre de 2012].

Anexo 1. Tamices para agregado grueso, Norma NTG 41007

Tabla 2 Requisitos de granulometría para agregados gruesos		Cantidades más finas que pasan por un tamiz (abertura cuadrada) en porcentaje en masa													
Número de Tamazo	Tamazo nominal (Tamices con aberturas cuadradas)	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 (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
		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	.....	0 a 5	.....	.....	.....	.....
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 10	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 15	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 15	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 15	0 a 5	.....	.....
8	9.5 a 2.36 mm (¾ in. a N° 8)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	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
9 ^A	4.75 a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

^AEl Agregado de número de tamazo 9 está definido en la norma terminología NT/GASTM C. 125 como un agregado fino. Esta incluido como un agregado grueso cuando está combinado con un material de tamazo 8 para crear un número de tamazo 89, que es un agregado grueso según está definido por la norma Terminología NT/GASTM C. 125.

Anexo 2. Focos volcánicos cuaternarios de la república de Guatemala.



Fuente: Focos eruptivos cuaternarios de Guatemala, Otto H. Bohnenberger (ICAITI) p. 3.

Anexo 3. Límites sustancias perjudiciales para agregado grueso

TABLA 3 Límites para sustancias perjudiciales y requisitos de propiedades físicas de agregado grueso para concreto

NOTA 1 vea la fig. 1 para ubicar las regiones de impermeización y la Nota 9 para mayor información en la utilización del mapa. Las regiones de impermeización son definidas como sigue:

(S) Región de impermeización severa. Un clima frío donde el concreto está expuesto a productos químicos descongelantes y otros agentes agresivos, donde el concreto puede saturarse por humedad o agua libre antes de congelamientos y deshielo repetidos

(M) Región de impermeización moderada. Un clima donde se espera congelamiento ocasional, pero donde el concreto en servicio a la intemperie estará continuamente expuesto a congelamiento y deshielo en presencia de humedad o de productos químicos descongelantes.

(N) Región de impermeización despreciable. Un clima donde el concreto está raramente expuesto al congelamiento en presencia de humedad.

Máximo admisible, %

Designación de Clase	Tipo o Ubicación de la construcción de concreto	Terrosos de Arcilla y Partículas finas	hormeno (menos de 2.40 de densidad (G _s))	Suma de terrones de Arcilla, partículas friables y hormeno (menos de 2.40 densidad (G _s))	Material más fino Que el tamiz 75-µm (N° 200)β	Ver** Carbón y Lignito g	Abrasión	Resistencia a disgregación de los agregados al sulfato de magnesio (5 ciclos)β	
Regiones de impermeización severa									
1S	Zapatas, fundiciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10.0	.....	.....	1.0 ^C	1.0	50	.....
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	.....	.....	1.0 ^C	0.5	50	.....
3S	Muros de fundición por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
4S	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garage, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarlas frecuentemente.	3.0	5.0	5.0	1.0 ^C	0.5	50.0	18.0	
5S	Concreto arquitectónico expuesto D	2.0	3.0	3.0	1.0 ^C	0.5	50.0	18.0	
Regiones de impermeización moderada									
1M	Zapatas, fundiciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10.0	.....	.....	1.0 ^C	1.0	50	.....
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5.0	.....	.....	1.0 ^C	0.5	50	.....
3M	Muros de fundición por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5.0	8.0	10.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
4M	Pavimentos, tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garage, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua, sujetas a mojarlas frecuentemente.	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
5M	Concreto arquitectónico expuesto D	3.0	3.0	5.0	1.0 ^C	0.5	50	18.0	
Regiones de impermeización Despreciable									
1N	Losas sujetas a abrasión en tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5.0	.....	.....	1.0 ^C	0.5	50	.....
2N	Todas las otras clases de concreto	10.0	.....	.....	1.0 ^C	1.0	50	.....

A₁ La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada está excludida de los requisitos de abrasión. La densidad aparente (masa unitaria) vanillada o sacudida de la escoria. De alto horno enfriada al aire y triturada no debe ser menor de 1.120 (lb/ft³). La granulometría de la escoria utilizada en el ensayo de densidad aparente (masa Unitaria) deber ser conforme a la granulometría que se utilizar en el concreto. La pérdida de abrasión de la grava, grava triturada o piedra debe ser determinada. Para el tamaño o tamaños de ensayo más cercano correspondiente a la granulometría o granulometrías que se utilizaran en el concreto. Cuando se vaya a utilizar más de una granulometría el límite de la pérdida por abrasión debe aplicarse a cada una.

B₁ Los límites admisibles para resistencia a disgregación de los agregados al sulfato, debe ser de 12% si se utiliza sulfato de sodio.

C₁ Este porcentaje bajo cualquiera de las siguientes condiciones: (1) puede ser aumentado a 15, si el material está esencialmente libre de arcilla o esquistos; o (2) si se sabe que la fuente del agregado fino a ser utilizado en el concreto contiene menos que la cantidad máxima especificada que pasa el tamiz 75-µm (N° 200) (Tabla 1) se puede aumentar el límite de porcentaje (L) sobre la cantidad en el agregado grueso a $L = 1 + [(P)(100-P)](T-A)$, donde P = porcentaje de arena en el concreto como un porcentaje que agregado total. T = el límite de la tabla 1 para la cantidad permitida en el agregado fino, y A = la cantidad real en el agregado fino (esto proporciona un factor de proporción unitario).

Cálculo ponderado diseñado para limitar la masa máxima de material que pasa el tamiz 75-µm (N° 200) en el concreto respecto a que se obtendría si ambos agregados fino y grueso fueran suministrados en el porcentaje máximo tabulado para cada uno de estos ingredientes.

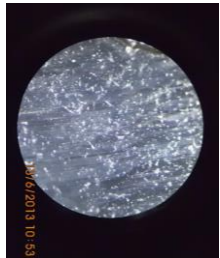
D₁ Para concretos arquitectónicos ó pisos interiores ó exteriores expuestos, no se garantiza que pese a cumplir con los límites máximos admisibles de arcilla, partículas friables ó livianas, estas partículas pueden quedar expuestas y generar imperfecciones en el acabado.

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca NTG-41007, p 14.

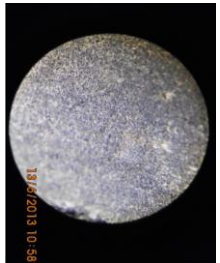
Anexo 4. Partículas retenidas en ensayo petrográfico ASTM C-295

TABLA DE PARTICULAS RETENIDAS EN CADA TAMIZ, ENSAYO PETROGRAFICO

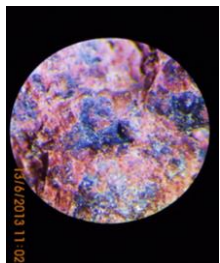
ROCA	1 1/2"	1"	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"	1/4"	8	16	30	50	100
Tipo característica	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas	# partículas
Obsidiana típica	4	19	31	59	148	346	1324	836	137	682	172	566
	80,0	100,0	77,5	77,6	85,1	86,9	1324	83,6	137	68,2	172	56,6
Retinita	1	0	7	10	13	24	101	6,4	11	5,5	15	4,9
	20,0	0,0	17,5	13,2	13	24	101	6,4	11	5,5	15	4,9
Riolita vítreo	0	0	2	6	10	17	4,3	115	7,3	21	10,4	26
	0,0	0,0	5,0	7,9	10	17	4,3	115	7,3	21	10,4	26
Toba	0	0	0	1	2	9	2,3	21	1,3	5	2,5	10
	0,0	0,0	0,0	1,3	2	9	2,3	21	1,3	5	2,5	10
Pómez	0	0	0	0	1	2	0,5	6	0,4	7	3,5	12
	0,0	0,0	0,0	0,0	1	2	0,5	6	0,4	7	3,5	12
Brecha obsidiana	0	0	0	0	0	0	0,0	4	0,3	10	5,0	36
	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0,0	4	0,3	10	5,0	36
Riolita	0	0	0	0	0	0	0,0	5	0,3	0	0,0	1
	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0,0	5	0,3	0	0,0	1
Vidrio vesicular	0	0	0	0	0	0	0,0	3	0,2	10	5,0	32
	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0,0	3	0,2	10	5,0	32
Materia orgánica	0	0	0	0	0	0	0,0	4	0,3	0	0,0	2
	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0,0	4	0,3	0	0,0	2
TOTALES	5	19	40	76	174	398	1883	201	304	497	287	517
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



Obsidiana Típica



Retinita



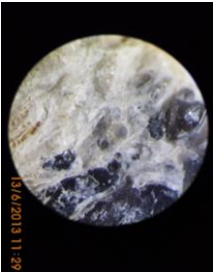
Riolita Vítreo



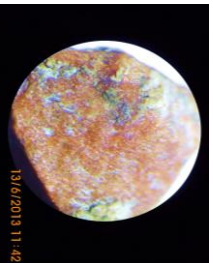
Toba



Pómez



Brecha de Obsidiana



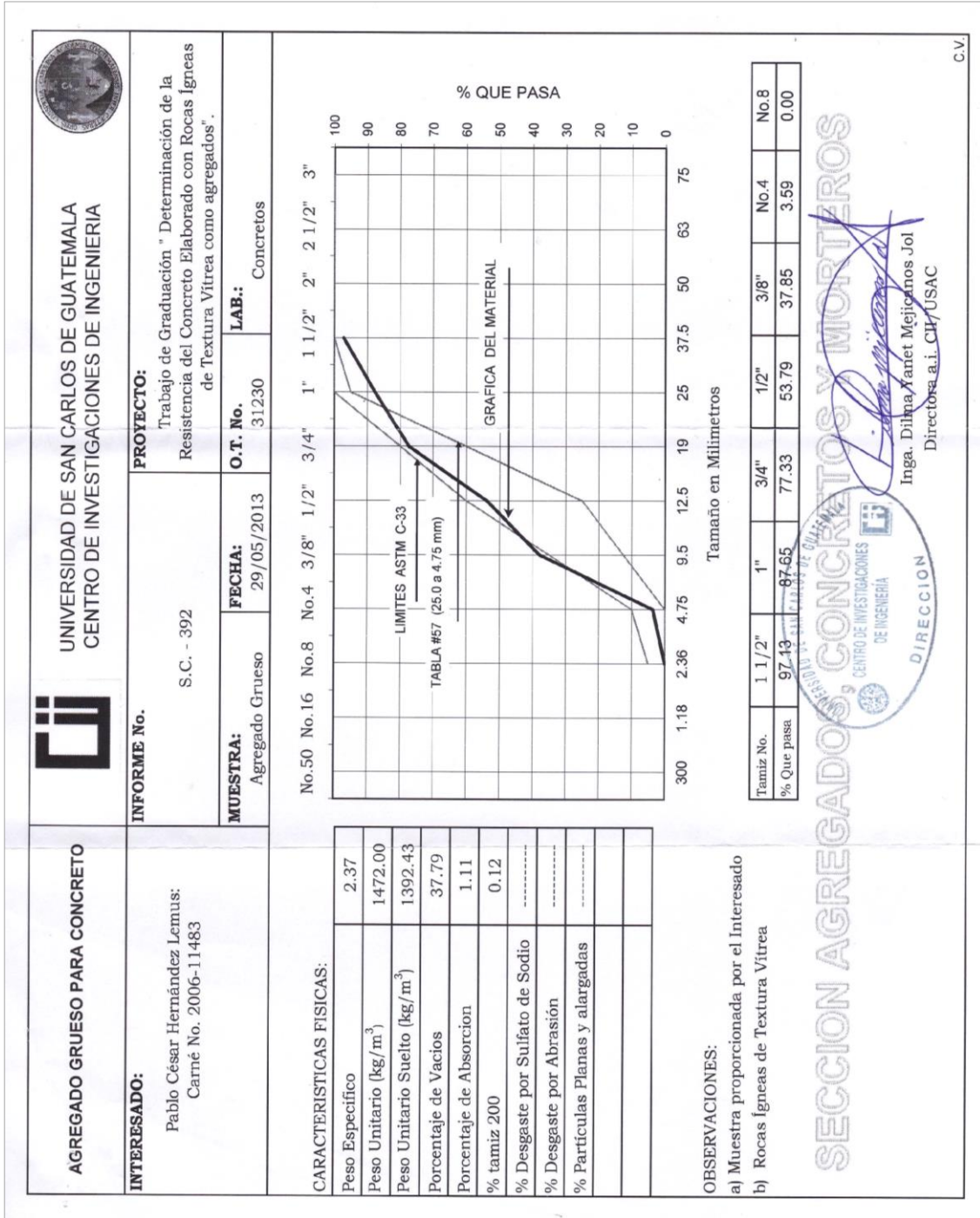
Riolita



Vidrio Vesicular



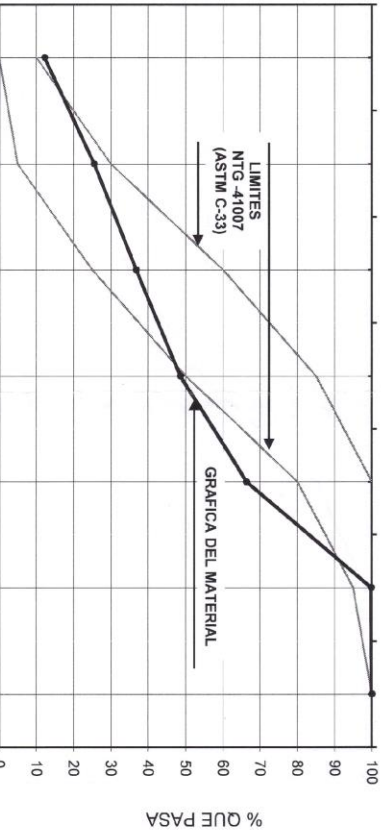

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 1. Informe de granulometría de agregado grueso obsidiana.



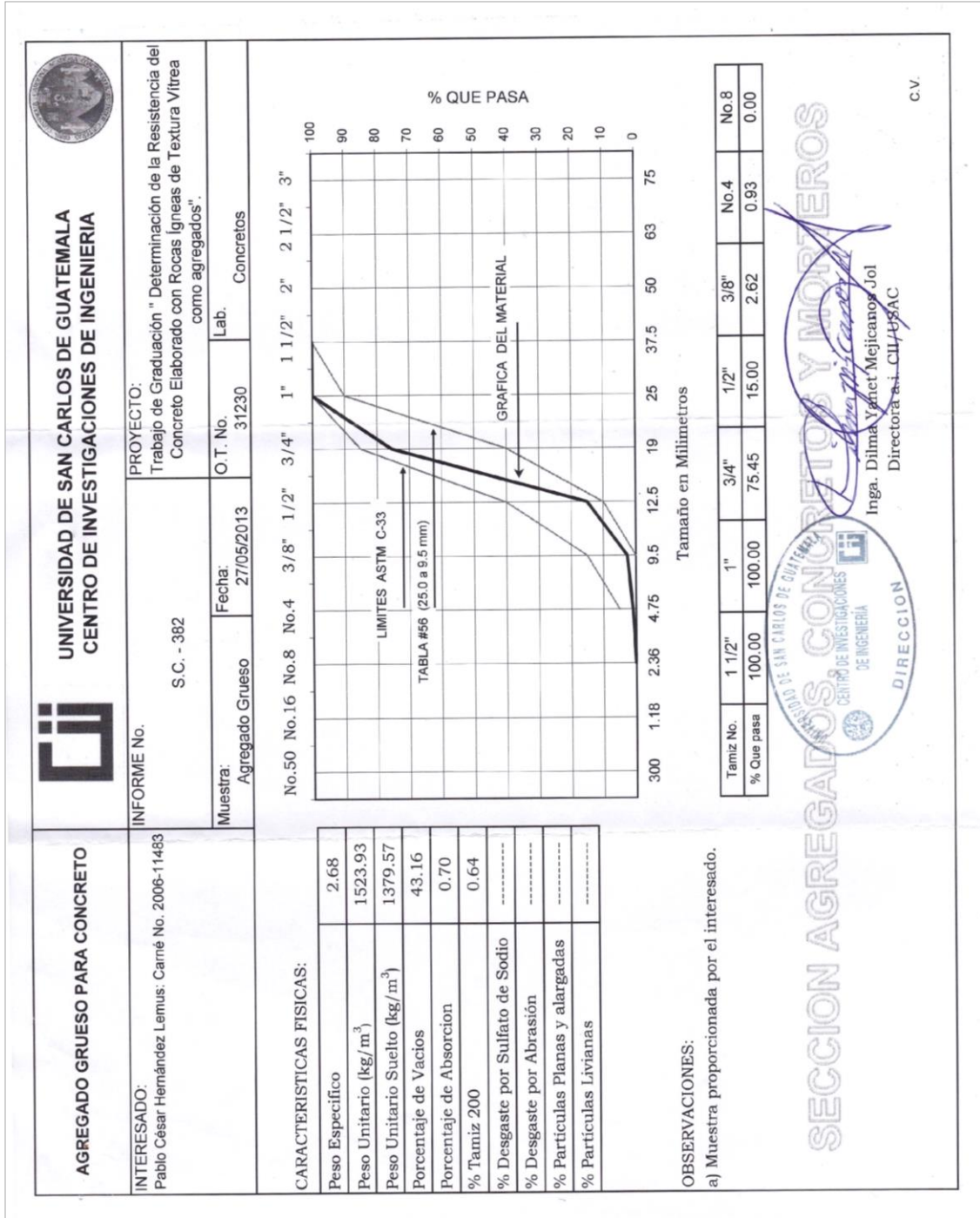
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 2. Informe de granulometría de agregado fino arena pirta.

AGREGADO FINO PARA CONCRETO				UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																		
INTERESADO: Pablo César Hernández Lemus Carné No. 2006-11483		INFORME No.: SC - 402		PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la Resistencia del Concreto Elaborado con Rocas Ígneas de Textura vítrea como agregados"																		
MUESTRA: Agregado fino (OBSIDIANA)		FECHA: 30/05/2013		O.T. No.: 31229		LABORATORIO: Concretos																
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:																						
Peso Específico	2.35																					
Peso Unitario Suelto (kg/m ³) <small>USNF</small>	1361.20																					
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1532.40																					
Porcentaje de Vacíos	34.70																					
Porcentaje de Absorción	0.34																					
Contenido de Materia Orgánica	3																					
% que pasa Tamiz 200	10.16																					
Modulo de Finura	3.11																					
% Retenido Tamiz 6.35	0.00																					
OBSERVACIONES:																						
a) Muestra proporcionada por el interesado.																						
b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.																						
c) Procedencia: Palencia																						
																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tamiz No.</th> <th>9.50</th> <th>4.75</th> <th>2.36</th> <th>1.18</th> <th>0.60</th> <th>0.30</th> <th>0.15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>99.80</td> <td>66.30</td> <td>48.58</td> <td>36.79</td> <td>25.54</td> <td>12.21</td> </tr> </tbody> </table>							Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	% Que pasa	100.00	99.80	66.30	48.58	36.79	25.54	12.21
Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15															
% Que pasa	100.00	99.80	66.30	48.58	36.79	25.54	12.21															
<p>SECCIÓN AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS</p> <p>Vo.Bo. </p> <p>Inga. Digna Yanet Melgicanos Jol Directora a.i. CI/USAC</p> <p style="text-align: right;"><small>EMG</small></p>																						


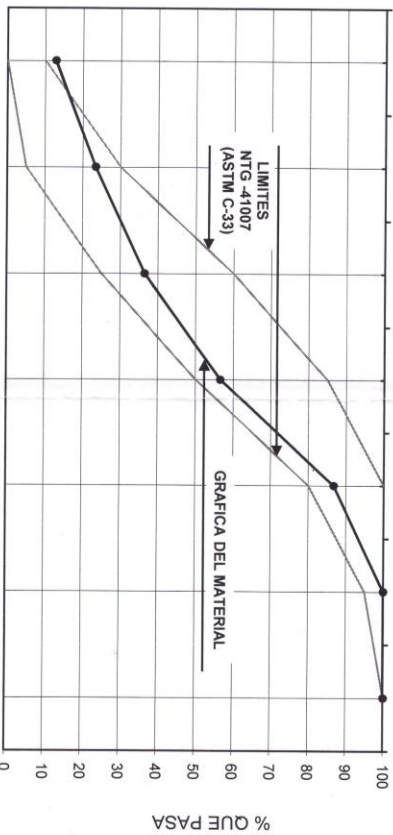

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 3. Informe de granulometría de agregado grueso caliza.



Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniera.

Apéndice 4. Informe de granulometría de agregado fino arena caliza.

AGREGADO FINO PARA CONCRETO		 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																	
INTERESADO: Pablo César Hernández Lemus Camé No. 2006-11483		INFORME No.: SC - 403	PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la Resistencia del Concreto Elaborado con Rocas Igneas de Textura vítreas como agregados"																
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:		MUESTRA: Agregado fino (CALIZA)	FECHA: 30/05/2013																
Peso Especifico	2.69	O.T. No.: 31229	LABORATORIO: Concretos																
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1635.10																		
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1824.20																		
Porcentaje de Vacíos	32.20																		
Porcentaje de Absorción	0.75																		
Contenido de Materia Orgánica	1																		
% que pasa Tamiz 200	6.96																		
Modulo de Finura	2.84																		
% Retenido Tamiz 6.35	0.12																		
OBSERVACIONES:																			
a) Muestra proporcionada por el interesado.																			
b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.																			
c) Procedencia: Banco Palencia																			
 <p style="text-align: center;">GRÁFICA DEL MATERIAL</p>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tamiz No.</th> <th>9.50</th> <th>4.75</th> <th>2.36</th> <th>1.18</th> <th>0.60</th> <th>0.30</th> <th>0.15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100.00</td> <td>99.92</td> <td>86.68</td> <td>56.56</td> <td>36.44</td> <td>23.40</td> <td>12.82</td> </tr> </tbody> </table>				Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	% Que pasa	100.00	99.92	86.68	56.56	36.44	23.40	12.82
Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15												
% Que pasa	100.00	99.92	86.68	56.56	36.44	23.40	12.82												
<p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">SECCIÓN AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS</p> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</p> <p style="text-align: center;">Vo.Bo.</p> <p style="text-align: center;">DIRECCION</p> <p style="text-align: center;">Inga Dilma Yaret Melicarios Jol</p> <p style="text-align: center;">Directora a.i. CIV/USAC</p> </div> </div>																			

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 5. Informe de resistencia a abrasión de agregado grueso obsidiana.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA									
ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C-131										
INFORME No. S.C. - 647		O.T. No. 31717								
HOJA 1/1										
INTERESADO:	Pablo Cesar Hernández Lemus Carné No. 2006-11483									
PROYECTO:	Trabajo de Graduación " Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".									
DIRECCION:	Km 23.5 Ruta al Atlántico Palencia Colonia San Mauricio.									
FECHA:	24 de octubre de 2013									
<table border="1"><thead><tr><th>REFERENCIAS</th><th>MUESTRA</th></tr></thead><tbody><tr><td>1. Norma de Ensayo</td><td>ASTM C-131</td></tr><tr><td>2. Graduación</td><td>"A"</td></tr><tr><td>3. % Desgaste</td><td>48.94</td></tr></tbody></table>			REFERENCIAS	MUESTRA	1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	2. Graduación	"A"	3. % Desgaste	48.94
REFERENCIAS	MUESTRA									
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131									
2. Graduación	"A"									
3. % Desgaste	48.94									
OBSERVACIONES:	a) Muestra proporcionada por el interesado. b) Rocas ígneas de Textura Vítrea.									
ATENTAMENTE,										
 Inga. Dilma Yajet Mejicanos Jol Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros	Vo.Bo.	 Inga. Telma Marcela Cano Morales Directora CII/USAC c.v.								
<table border="1"><tr><td> SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS CII / USAC</td></tr></table>			 SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS CII / USAC							
 SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS CII / USAC										
<small>FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>										

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 6. Informe de resistencia a abrasión de agregado grueso caliza.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA									
ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES										
ASTM C-131										
INFORME No. S.C. - 398		O.T. No. 31441								
INTERESADO:	Pablo Cesar Hernández Lemus Carné No. 2006-11483									
PROYECTO:	Trabajo de Graduación " Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados"									
DIRECCION:	Km 23.5 Ruta al Atlántico Palencia Colonia San Mauricio Lote 4 Sección B									
FECHA:	30 de mayo de 2013									
<table border="1"><thead><tr><th>REFERENCIAS</th><th>MUESTRA</th></tr></thead><tbody><tr><td>1. Norma de Ensayo</td><td>ASTM C-131</td></tr><tr><td>2. Graduación</td><td>"B"</td></tr><tr><td>3. % Desgaste</td><td>28.60</td></tr></tbody></table>			REFERENCIAS	MUESTRA	1. Norma de Ensayo	ASTM C-131	2. Graduación	"B"	3. % Desgaste	28.60
REFERENCIAS	MUESTRA									
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131									
2. Graduación	"B"									
3. % Desgaste	28.60									
OBSERVACIONES: a) Muestra proporcionada por el interesado.										
ATENTAMENTE,										
 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol Directora a.i. CII/USAC										
C.V.										
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>										

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 7. Informe de reactividad de los agregados.



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



O.T. 31237
USAC-CII-LAFIQ-RG-334-09-13

Interesado: Pablo César Hernández Lemus
 Proyecto: Trabajo de graduación
 Muestra: 1 muestra de obsidiana y 1 muestra de arena caliza
 Fecha: 12 de julio de 2013

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289 (método químico)

Identificación de la Muestra	RESULTADOS		
	Reducción Alcalina (mmol/L)	Silíce Disuelta (mmol/L)	Clasificación Según norma
RG-332-011-13-F (Obsidiana/Fino)	132,0 ± 13,6	173,0 ± 6,7	DELETÉREO ^{*1}
RG-332-012-13-G (Obsidiana/Grueso)	76,0 ± 15,7	34,7 ± 5,8	INOCUO
RG-332-013-13-G (Arena Caliza AGRECA/Grueso)	228,0 ± 28,0	275,0 ± 5,0	POTENCIALMENTE DELETÉREO ^{*2}
RG-332-014-13-F (Arena Caliza AGRECA/Fino)	171,0 ± 31,01	102,0 ± 14,4	INOCUO ^{*2}

Muestra proporcionada por el interesado
 Observaciones: *1 Se recomienda efectuar análisis con las Normas ASTM C-227 o ASTM C-1260
 *2 Se recomienda realizar análisis de carbonatos y verificar el ensayo con las Normas ASTM C-227 o ASTM C-1260

Adjunto Gráfica.
Sin otro particular,

Atentamente,



Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial-CII-



MSc. Licda Ingrid Lorena Benítez Pacheco
Coordinadora LAFIQ-CII




Vo. Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5. Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115. Planta: 2418-8000 Exts. 86200 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de investigaciones de Ingeniería.

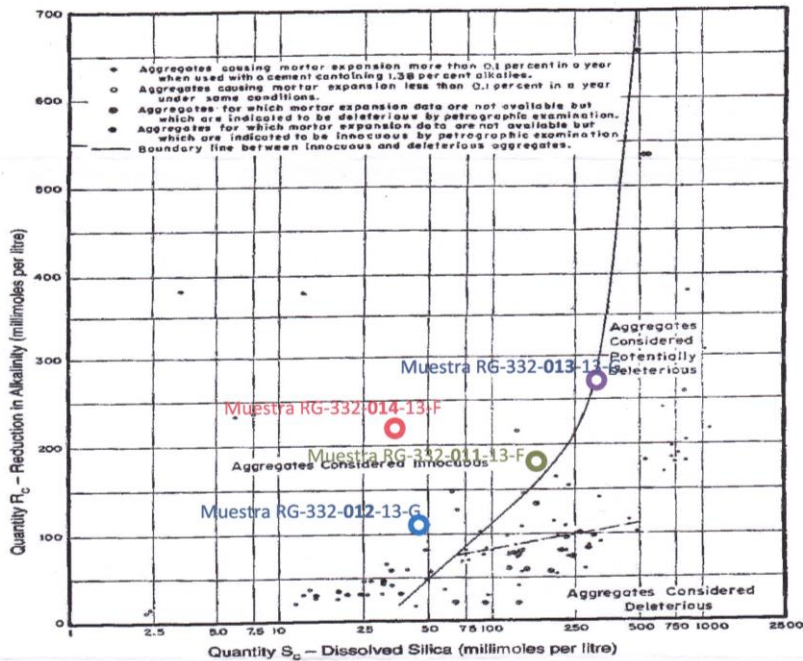
Apéndice 8. Informe de reactividad de los agregados.



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



O.T. No.31237
USAC-CII-LAFIQ-RG-334-09-13



Grafica tomada de la Norma ASTM C-289



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 9. Informe de carbonatos presentes en los agregados.



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



O.T. No. 31243
USAC-CII-QUIND-LAFIQ
RG-358-25-13

Interesado: Pablo César Hernández Lemus
Proyecto: Trabajo de Graduación "Determinación de la resistencia del concreto elaborado con Rocas Igneas de Textura vítrea como agregados"
Muestra: Obsidiana y Caliza, Agregado Grueso y Fino
Fecha: Guatemala, 24 de julio de 2013

Determinación de calcio, magnesio y hierro por volumetría y determinación de aluminio por fotometría.

Identificación LAFIQ	Identificación Interesado	Análisis	Porcentaje en masa (%)
USAC-CII-QUINDLAFIQ-RG-360-017-13	Obsidiana Agregado Fino	%CaO**	< 0,35
		%MgO**	< 0,25
		%Fe ₂ O ₃ **	6,77 ± 1,19
		%Al ₂ O ₃ **	2,32 ± 0,59
USAC-CII-QUINDLAFIQ-RG-360-018-13	Obsidiana Agregado Grueso	%CaO**	< 0,22
		%MgO**	< 0,13
		%Fe ₂ O ₃ **	4,45 ± 0,64
		%Al ₂ O ₃ **	0,79 ± 0,06
USAC-CII-QUINDLAFIQ-RG-360-034-13	Caliza Agregado Fino	%CaO**	44,32 ± 0,90
		%MgO**	4,33 ± 0,54
		%Fe ₂ O ₃ **	8,19 ± 0,77
		%Al ₂ O ₃ **	1,50 ± 0,22
USAC-CII-QUINDLAFIQ-RG-360-035-13	Caliza Agregado Grueso	%CaO**	49,03 ± 1,47
		%MgO**	1,59 ± 0,7
		%Fe ₂ O ₃ **	9,87 ± 1,75
		%Al ₂ O ₃ **	< 0,01

* Muestra proporcionada por el interesado
**Calculado como equivalente

MSc. Ingrid Lorena Benítez Paredes
Coordinadora LAFIQ/QI



Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial -CII-

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Ext.: 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 10. Informe de estabilidad volumétrica de agregados gruesos.



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. 1/1
INFORME No. SC - 427

O.T. No. 31233

INTERESADO: Pablo César Hernández Lemus. Carné No. 2006-11483
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la Resistencia del Concreto Elaborado con Rocas Ígneas de Textura Vitrea como agregados"
DIRECCIÓN: km. 23.5 Ruta al Atlántico Palencia Colonia San Mauricio, Lote 4 Sección B
FECHA: 12 de junio de 2013

OBSIDIANA						
TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	2.87	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	19.81	1505.80	1504.50	0.09	0.02
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	39.48	1001.90	988.10	1.38	0.54
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	34.26	300.60	295.60	1.66	0.57
	Fondo	3.59	-----	-----	-----	-----
TOTALES		100.00	2808.30	2788.20	-----	1.13

CALIZA						
TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	0.00	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	24.55	-----	-----	3.99	0.98
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	72.83	1000.20	960.30	3.99	2.91
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	1.69	300.20	293.10	2.37	0.04
	Fondo	0.93	-----	-----	-----	-----
TOTALES		100.00	1300.40	1253.40	-----	3.92

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado
b) Muestra: **Agregado Grueso**

ATENTAMENTE,

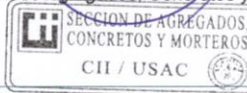
Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC



[Signature]
Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol

Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



EMG

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 11. Informe de estabilidad volumétrica de agregados finos.



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



DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN
DE LOS AGREGADOS MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO

NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C-88)

INFORME No. SC - 510

O.T. No. 31232

INTERESADO: Pablo César Hernández Lemus. Carné No. 2006-11483
Proyecto: Trabajo de graduación "Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados"
Dirección: Km. 23 ruta al Atlántico, Palencia, Colonia San Mauricio, lote 4 sección B
FECHA: 16 de Julio de 2013

OBSIDIANA						
TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	25,54	-----	-----	-----	-----
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	11,25	100,20	55,80	44,31	4,98
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	11,79	100,00	46,50	53,50	6,31
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	17,72	100,00	74,20	25,80	4,57
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	33,50	100,00	87,10	12,90	4,32
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0,20	-----	-----	12,90	0,03
TOTALES		100,00	400,20	-----	-----	20,21

CALIZA						
TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	23,40	-----	-----	-----	-----
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	13,04	100,00	92,90	7,10	0,93
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	20,12	100,00	97,33	2,67	0,54
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	30,12	100,00	95,14	4,86	1,46
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	13,24	100,00	92,90	7,10	0,94
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0,08	-----	-----	7,10	0,01
TOTALES		100,00	400,00	-----	-----	3,87

OBSERVACIONES:

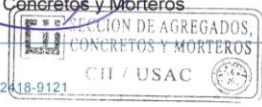
- a) Muestra proporcionada por el interesado
- b) Muestra: agregado fino

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC





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



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 12. Informe de ensayo de partículas planas y alargadas.

PÁRTICULAS PLANAS Y ALARGADAS				UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA			
Norma NTG 41010H12 (ASTM D-4791)		S. C. - 803		PROYECTO: Trabajo de graduación: "Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vitrea como agregados"			
INTERESADO: Pablo César Hernández Lemus Carré: 2006-11483		INFORME No.		FECHA: 20/11/2013		O.T. No. 31231	
Pablo César Hernández Lemus Carré: 2006-11483		MUESTRA: Agregado Grueso		LAB.:		Agregados, Concretos y Morteros	

I. RESULTADOS:


Tamiz Retenido por Fracción	Graduación Cantidad	PARTICULAS			CANTIDAD			PESO (gramos)			% Numérico			% POR PESO			% POR PESO REFERIDO A GRADUACION		
		Planas	Alargadas	Planas ni Alargadas	Alargadas ni Planas	Planas	Alargadas	Planas ni Alargadas	Alargadas ni Planas	Planas	Alargadas	Planas ni Alargadas	Alargadas ni Planas	Planas	Alargadas	Planas ni Alargadas	Alargadas ni Planas	Planas	Alargadas
1"	9,49	40,0	1578,6	3,00	1,00	35,00	79,00	94,50	1368,00	7,50	2,50	90,00	5,00	5,99	89,01	0,475	0,568	8,445	
3/4"	10,32	100,00	1715,10	14,00	13,00	73,00	184,20	340,50	1190,40	14,00	13,00	73,00	10,74	19,85	69,41	1,109	2,049	7,164	
1/2"	23,54	100,00	628,30	9,00	4,00	1,00	43,50	60,50	517,10	9,00	4,00	87,00	6,92	9,63	83,45	1,630	2,266	19,641	
3/8"	15,94	100,00	204,50	16,00	15,00	67,00	25,00	40,00	135,10	16,00	15,00	69,00	12,22	19,56	68,22	1,948	3,118	10,872	
No. 4	34,26	100,00	41,30	12,00	13,00	69,00	5,30	6,90	27,10	12,00	13,00	75,00	12,83	16,71	70,46	4,397	5,725	24,143	
Fondo	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Total	93,55	440,00	4167,80	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	9,559	13,726	70,265	

II. OBSERVACIONES:


2.1. Muestra proporcionada por el interesado

2.2. La relación aplicada es 1:3 en base a especificaciones generales.

Atentamente,



Inga. Dilia Yarey Magaños
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros
SECCIÓN DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC



Vo.Bo.
Inga. Telma Mariela Cano Morales
DIRECTORA CII / USAC

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 13. Informe ensayo a compresión de cilindros de obsidiana + pirlita.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO

NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

S.C. - 646

O.T. No. 31236

HOJA 2/4

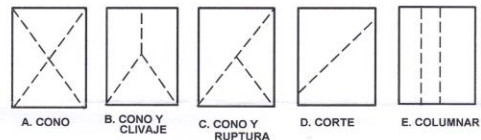
INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus, Carné No. 2006-11483.
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al atlántico Palencia Colonia San Mauricio, Lote 4 Sección B.
FECHA: 26 de septiembre de 2013

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	81-09	09/07/2013	12/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	11.710	15.120	30.480	28,457	7.00	1020	B
2	82-09	09/07/2013	12/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	11.650	15.267	30.440	29,944	7.30	1060	B
3	83-09	09/07/2013	16/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	11.772	15.183	30.530	39,366	9.70	1410	B
4	84-09	09/07/2013	16/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	11.750	15.273	30.120	42,342	10.30	1500	B
5	85-09	09/07/2013	06/08/2013	28	Diseño de mezcla de concreto	11.850	15.150	30.780	70,778	17.50	2540	C
6	86-09	09/07/2013	06/08/2013	28	Diseño de mezcla de concreto	11.820	15.183	30.540	66,428	16.30	2370	C


OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 8.7 cm.
- Peso unitario: 2170 Kg/m³.
- Contenido de aire: 1 %.
- Temperatura: 22.22 °C.
- Proporción utilizada: **1 : 2.29 : 3.16 : 0.67**
- Obsidiana + arena obsidiana.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



ATENTAMENTE,

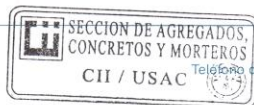

Inga. Dilma Yajet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



C.V



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 14. Informe ensayo a compresión de cilindros de obsidiana + arena.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
 S.C. - 646 O.T. No. **31236**
HOJA 3/4

INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus, Carné No. 2006-11483.
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al atlántico Palencia Colonia San Mauricio, Lote 4 Sección B.
FECHA: 26 de septiembre de 2013

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lib/pulg	TIPO DE FRACTURA
1	87-09	15/07/2013	18/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	12.345	15.200	30.420	33,416	8.20	1190	B
2	88-09	15/07/2013	18/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	12.325	15.200	30.440	32,424	8.00	1160	B
3	89-09	15/07/2013	22/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	12.335	15.290	30.150	48,292	11.70	1700	B
4	90-09	15/07/2013	22/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	12.324	15.237	30.340	44,325	10.80	1570	B
5	91-09	15/07/2013	12/08/2013	28	Diseño de mezcla de concreto	12.380	15.167	30.430	77,545	19.10	2770	B
6	92-09	15/07/2013	12/08/2013	28	Diseño de mezcla de concreto	12.360	15.157	30.540	75,612	18.60	2700	B

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 8.5 cm.
- Peso unitario: 2260 Kg/m³.
- Contenido de aire: 1.4 %.
- Temperatura: 22.22 °C.
- Proporción utilizada: **1 : 2.29 : 3.16 : 0.58**
- Obsidiana + arena caliza.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,



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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

C.V

SECCION DE AGREGADOS
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono Directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 15. Informe ensayo a compresión de cilindros de caliza + pirta.



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



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

S.C. - 646
HOJA 4/4

O.T. No. 31236

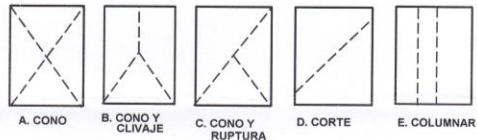
INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus, Carné No. 2006-11483.
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al atlántico Palencia Colonia San Mauricio, Lote 4 Sección B.
FECHA: 26 de septiembre de 2013

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig ²	TIPO DE FRACTURA
1	93-09	16/07/2013	19/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	12.230	15.270	30.480	31,928	7.80	1130	B
2	94-09	16/07/2013	19/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	12.195	15.237	30.500	33,416	8.20	1190	B
3	95-09	16/07/2013	23/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	12.319	15.240	30.320	42,342	10.30	1500	B
4	96-09	16/07/2013	23/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	12.422	15.230	30.310	42,342	10.30	1500	B
5	97-09	16/07/2013	13/08/2013	28	Diseño de mezcla de concreto	12.330	15.223	30.300	69,328	16.90	2450	C
6	98-09	16/07/2013	13/08/2013	28	Diseño de mezcla de concreto	12.270	15.167	30.420	69,811	17.20	2500	C

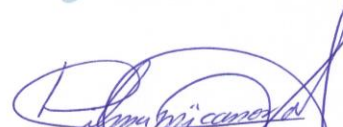
OBSERVACIONES :

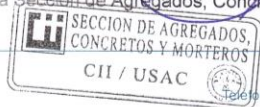
- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 8.2 cm.
- Peso unitario: 2270 Kg/m³.
- Contenido de aire: 1,2 %.
- Temperatura: 23.33 °C.
- Proporción utilizada: **1 : 2.32 : 2.95 : 0.65**
- Caliza + arena obsidiana.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



ATENTAMENTE,


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



Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC



C.V

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 16. Informe ensayo a compresión de cilindros de caliza + arena.



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)
 S.C. - 646 O.T. No. **31236**
HOJA 1/4

INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus, Carné No. 2006-11483
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al atlántico Palencia Colonia San Mauricio, Lote 4 Sección B
FECHA: 26 de septiembre de 2013

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	75-09	05/07/2013	08/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	13.040	15.173	30.480	45,813	11.30	1640	B
2	76-09	05/07/2013	08/07/2013	3	Diseño de mezcla de concreto	13.000	15.147	30.330	47,797	11.80	1710	B
3	77-09	05/07/2013	12/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	13.074	15.170	30.200	56,723	14.00	2030	B
4	78-09	05/07/2013	12/07/2013	7	Diseño de mezcla de concreto	13.103	15.243	30.380	63,527	15.50	2250	B
5	79-09	05/07/2013	06/08/2013	32	Diseño de mezcla de concreto	13.195	15.250	30.500	95,416	23.20	3370	C
6	80-09	05/07/2013	06/08/2013	32	Diseño de mezcla de concreto	13.810	15.480	30.800	93,486	22.10	3210	C

OBSERVACIONES :

- Diseño de mezcla bajo condiciones de laboratorio.
- Muestras ensayadas en maquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300,000 lbs.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 300,000 lbs.
- Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231.
- Asentamiento de mezcla: 9 cm.
- Peso unitario: 2400 Kg/m³.
- Contenido de aire: 1.5 %.
- Temperatura: 21.1 °C.
- Proporción utilizada: **1 : 2.32 : 2.95 : 0.56**
- Caliza+arena caliza.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



A. CONO



B. CONO Y CLIVAJE



C. CONO Y RUPTURA



D. CORTE



E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,


 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.


 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC
 C.V.



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Telefono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Pagina web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 17. Informe de velocidad de fraguado de obsidiana + pirta.



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



CONTROL DE CALIDAD A MORTERO

INFORME No. S.C. - 647
HOJA 2/4

O.T. No. 31717

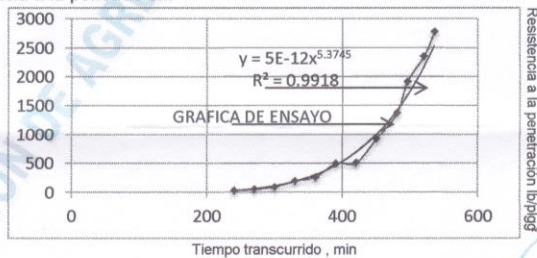
INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus Carné No. 2006-11483
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la resistencia del concreto elaborados con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al Atlántico Colonia San Mauricio.
FECHA: 24 de octubre de 2013

RESULTADO:

ENSAYO	RESULTADO	
Velocidad de Endurecimiento NTG 41017 h12 (ASTM C-403)	T (500 PSI)	6 hrs, 40 min
	T (3000 PSI)	9 hrs, 10 min

OBSERVACIONES:

- Mezcla: Obsidiana + arena obsidiana.
- Datos sobre la mezcla de concreto según especificaciones del interesado.
- Mezcla realizada el día 9 julio de 2013.
- Ensayos realizados por el estudiante y supervisado por el laboratorista encargado.
- Contenido de aire 1.0%.
- Asentamiento 8.7 cm.
- Temperatura del mortero después del tamizado 20.55°C.
- Temperatura ambiente, inicio del ensayo 24.3°C y humedad 72%.
- Temperatura ambiente, final del ensayo 24.8°C y humedad 59%.
- Gráfica de la resistencia a la penetración:



ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicano Jol
Inga. Dilma Yanet Mejicano Jol
Jefa Sección Agregados y Morteros
SECCIÓN AGREGADOS Y MORTEROS
CII / USAC

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 18. Informe de velocidad de fraguado de obsidiana + arena.



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



CONTROL DE CALIDAD A MORTERO
 INFORME No. S.C. - 647 O.T. No. **31717**
 HOJA 3/4

INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus Carné No. 2006-11483
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la resistencia del concreto elaborados con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al Atlántico Colonia San Mauricio.
FECHA: 24 de octubre de 2013

RESULTADO:

ENSAYO	RESULTADO	
Velocidad de Endurecimiento NTG 41017 h12 (ASTM C-403)	T (500 PSI)	6 hrs, 20 min
	T (3000 PSI)	8 hrs, 50 min

OBSERVACIONES:

- Mezcla: Obsidiana + arena caliza.
- Datos sobre la mezcla de concreto según especificaciones del interesado.
- Mezcla realizada el día 15 de julio de 2013.
- Ensayos realizados por el estudiante y supervisado por el laboratorista encargado.
- Contenido de aire 1.4 %.
- Asentamiento 8.5 cm.
- Temperatura del mortero después del tamizado 21.11°C.
- Temperatura ambiente, inicio del ensayo 25.4°C y humedad 64%.
- Temperatura ambiente, final del ensayo 23.6°C y humedad 63%.
- Gráfica de la resistencia a la penetración:



Resistencia a la penetración (kg/cm²)

Tiempo transcurrido, min

ATENTAMENTE,



Inga. Dilma Yanet Mejicano Jbl
 Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maridela Cano Morales
 Directora CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 19. Informe de velocidad de fraguado de caliza + piritá.



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



CONTROL DE CALIDAD A MORTERO

INFORME No. S.C. - 647

O.T. No. 31717

HOJA 4/4

INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus Camé No. 2006-11483

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la resistencia del concreto elaborado con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".

DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al Atlántico Colonia San Mauricio.

FECHA: 24 de octubre de 2013

RESULTADO:

ENSAYO	RESULTADO	
Velocidad de Endurecimiento NTG 41017 h12 (ASTM C-403)	T (500 PSI)	7 hrs, 0 min
	T (3000 PSI)	10 hrs, 0 min

OBSERVACIONES:

- Mezcla: Caliza + arena obsidiana.
- Datos sobre la mezcla de concreto según especificaciones del interesado.
- Mezcla realizada el día 16 de julio de 2013.
- Ensayos realizados por el estudiante y supervisado por el laboratorista encargado.
- Contenido de aire 1.2%.
- Asentamiento 8.2 cm.
- Temperatura del mortero después del tamizado 21.66°C.
- Temperatura ambiente, inicio del ensayo 26.2°C y humedad 58%.
- Temperatura ambiente, final del ensayo 24.6°C y humedad 65%.
- Grafica de la resistencia a la penetración:



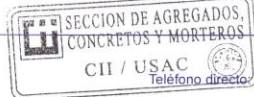
ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicano Jol
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

C.V.



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Apéndice 20. Informe de velocidad de fraguado de caliza + arena.



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



CONTROL DE CALIDAD A MORTERO
 INFORME No. S.C. - 647 O.T. No. 31717
 HOJA 1/4

INTERESADO: Pablo Cesar Hernández Lemus Carné No. 2006-11483
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación de la resistencia del concreto elaborados con rocas ígneas de textura vítrea como agregados".
DIRECCIÓN: Km 23.5 Ruta al Atlántico Colonia San Mauricio.
FECHA: 24 de octubre de 2013

RESULTADO:

ENSAYO	RESULTADO	
Velocidad de Endurecimiento NTG 41017 h12 (ASTM C-403)	T (500 PSI)	6 hrs, 0 min
	T (3000 PSI)	8 hrs, 0 min

OBSERVACIONES:

- Mezcla patrón: Caliza + arena caliza.
- Datos sobre la mezcla de concreto según especificaciones del interesado.
- Mezcla realizada el día 5 julio de 2013.
- Ensayos realizados por el estudiante y supervisado por el laboratorista encargado.
- Contenido de aire 1.5%.
- Asentamiento 9 cm.
- Temperatura del mortero después del tamizado 21.11°C.
- Temperatura ambiente, inicio del ensayo 22.9°C y humedad 75%.
- Temperatura ambiente, final del ensayo 21.0°C Y humedad 80%.
- Gráfica de la resistencia a la penetración:



Resistencia a la penetración lb/plg²

Tiempo transcurrido, min

ATENTAMENTE,


 Inga. Dilma Yanet Mejicano Jol
 Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros


 Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.