



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

**DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS
DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN**

Wanda Nohemí Régil Monroy

Asesorada por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS
DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WANDA NOHEMÍ RÉGIL MONROY

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Victor 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:

DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, en octubre de 2011



Wanda Nohemi Régil Monroy



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



Guatemala, 28 de junio de 2013

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

Ingeniero Melini

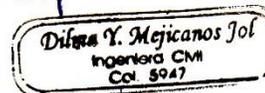
Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN**, elaborado con la estudiante universitaria Wanda Nohemi Régil Monroy, quien contó con la asesoría de los suscritos.

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

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dirla Yánet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA





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

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



Guatemala,
24 de julio de 2013

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Wanda Nohemí Régil Monroy, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Wanda Nohemí Régil Monroy, titulado DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto de 2013.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.544-2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS, EN EL USO DE AZUFRE Y ALMOHADILLAS DE NEOPRENO PARA ENSAYOS DE CILINDROS DE CONCRETO A COMPRESIÓN**, presentado por la estudiante universitaria: **Wanda Nohemí Régil Monroy**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, agosto de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque a ti sea toda honra, gloria y honor.
Mi padre	Julio Daniel Régil López. Por haberme dado la oportunidad de estudiar, apoyo, dedicación, esfuerzo y amor incondicional.
Mi madre	Noemí Monroy Pinzón. Por apoyarme siempre en la búsqueda de mis metas, por ser una madre ejemplar a seguir, por su fortaleza, paciencia y amor incondicional.
Mis hermanas	Inga. Paola Régil y Licda. Mishel Régil. Por estar allí, con su apoyo moral y económico de siempre, por sus consejos, confianza y ayudarme a ver en cada reto una oportunidad.
Mis abuelos	Carmen Pinzón, Humberto Monroy, Concepción López (q.e.p.d.) y Julio Régil. Con mucho cariño.
Mis familiares	Quienes me han dado su apoyo moral y consejos sabios para la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Gracias padre por tu amor al darme salud, vida, sabiduría y guardarme en el camino, para concluir esta meta.
Mis padres	Por su sacrificio y paciencia en apoyarme a cumplir una de mis metas trazadas en la vida.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la enseñanza brindada en mi carrera académica.
Asesora	Inga. Dilma Yanet Mejicanos, por su conocimiento brindado incondicional para la elaboración del presente trabajo de graduación.
Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería	Por permitirme elaborar los ensayos en sus instalaciones, así como asesoría prestada en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros.
Amigos	Por la amistad brindada en cada momento de mi vida y sus buenos deseos.
Facultad de Ingeniería	Por la ayudada brinda al culminar una de mis metas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS	1
1.1. Análisis completos para agregado.....	19
1.1.1. Agregado fino	23
1.1.2. Agregado grueso	25
1.2. Diseño teórico de mezclas de concreto	26
1.2.1. Proporción para $f'c = 3\ 000$ psi	28
1.2.2. Proporción para $f'c = 4\ 000$ psi	29
1.3. Diseño práctico de mezcla de concreto	30
1.3.1. Control del concreto fresco	31
1.3.2. Control del concreto endurecido	37
1.3.2.1. Medidas	39
1.3.2.2. Contracciones.....	39
1.3.2.3. Peso	42
2. ENSAYOS A COMPRESIÓN	43
2.1. Cabeceo con azufre	45
2.1.1. Propiedades del azufre	47
2.1.2. Uso	48

2.1.3.	Norma.....	50
2.1.4.	Equipo	50
2.1.5.	Resistencia de cubos de azufre según Norma NTG 41064 (ASTM C-617).....	53
2.2.	Cabeceo utilizando almohadillas de neopreno	55
2.2.1.	Propiedades del neopreno	57
2.2.2.	Uso	58
2.2.3.	Norma.....	59
2.2.4.	Equipo	60
2.2.5.	Dureza.....	61
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS MECÁNICOS, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS	63
3.1.	Análisis mecánico.....	63
3.1.1.	Resultados de resistencia a compresión.....	63
3.1.1.1.	Con azufre.....	64
3.1.1.2.	Con neopreno.....	67
3.2.	Análisis ambiental	69
3.2.1.	Ahorro energético.....	69
3.2.2.	Emisión de vapor o gases	70
3.2.3.	Capacidad de uso del azufre.....	70
3.2.4.	Capacidad de uso del neopreno.....	71
3.2.5.	Manejos de desechos	71
3.3.	Análisis económico.....	74
3.3.1.	Costo del uso de azufre	75
3.3.1.1.	Energía.....	75
3.3.1.2.	Equipo mecánico.....	77
3.3.1.3.	Equipo de seguridad	77
3.3.2.	Costo del uso de neopreno	78

3.3.2.1.	Costo de almohadillas	78
3.3.2.2.	Costo de retenedores	79
3.3.2.3.	Equipo de seguridad.....	80
4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA CADA SISTEMA	81
4.1.	Ventajas y desventajas mecánicas.....	81
4.2.	Ventajas y desventajas ambientales	83
4.3.	Ventajas y desventajas económicas.....	84
4.4.	Gráficas y tablas resumen	86
	CONCLUSIONES	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	APÉNDICE.....	100
	ANEXO	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Hoja de datos para la mezcla (métrico).....	15
2.	Principales bancos de agregado fino	24
3.	Principales bancos de agregado grueso	26
4.	Ensayo a compresión cilindro cabeceado con azufre	47
5.	Mortero fundido de azufre	48
6.	Sistema vertical para cabeceo con azufre.....	51
7.	Recipiente de fusión de azufre	52
8.	Campana de extracción de gases	53
9.	Ensayos de cubos de azufre	54
10.	Ensayo a compresión cilindro cabeceado con neopreno	57
11.	Bases cabeceadoras no adheridas de neopreno	61
12.	Tipos de fracturas de los cilindros de azufre de 3 000 psi	65
13.	Tipos de fracturas de los cilindros de azufre de 4 000 psi	66
14.	Tipos de fracturas de los cilindros de neopreno de 3 000 psi	68
15.	Tipos de fracturas de los cilindros de neopreno de 4 000 psi	69
16.	Bosquejo de tipos de fracturas	89
17.	Gráfica de resistencia a compresión de 3 000 psi.....	90
18.	Gráfica de resistencia a compresión de 4 000 psi.....	90
19.	Gráfica neopreno versus azufre de 3 000psi.....	91
20.	Gráfica neopreno versus azufre de 4 000 psi.....	92

TABLAS

I.	Asentamiento para diseño de mezcla según la estructura	3
II.	Cantidad de agua para el asentamiento en el diseño.....	3
III.	Resultados de resistencia versus relación a/c.....	4
IV.	Resultados de porcentaje del agregado fino	4
V.	Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción	8
VI.	Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregados	9
VII.	Relación agua/cemento y la resistencia a compresión.....	9
VIII.	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto ...	10
IX.	Estimación del peso de concreto fresco	10
X.	Resultados de mezclas (métrico)	13
XI.	Relación agua/material cementante y la resistencia a compresión del concreto.....	16
XII.	Volumen de agregado grueso volumen por volumen unitario de concreto.....	17
XIII.	Agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado	18
XIV.	Revenimientos recomendados para varios métodos de construcción	19
XV.	Rocas y constituyentes minerales en los agregados.....	21
XVI.	Normas ASTM utilizadas en los concretos premezclados producidos en Guatemala.....	27
XVII.	Normativa para concreto premezclado de 3 000 psi	28
XVIII.	Consistencia recomendada para premezclado.....	29
XIX.	Normativa para concreto premezclado de 4 000 psi	30

XX.	Resultados del concreto fresco de f'c 3 000 psi.....	37
XXI.	Resultados del concreto fresco de f'c 4 000 psi.....	37
XXII.	Resultados de resistencia a compresión de cubos de azufre	55
XXIII.	Dureza de las almohadillas de neopreno.....	62
XXIV.	Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de azufre de 3 000 psi	65
XXV.	Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de azufre de 4 000 psi	66
XXVI.	Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de neopreno de 3 000 psi	67
XXVII.	Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de neopreno de 4 000 psi	68
XXVIII.	Cabeceo adherido de azufre.....	75
XXIX.	Consumo de energía eléctrica	76
XXX.	Equipo mecánico para el sistema de azufre	77
XXXI.	Equipo de seguridad para el cabeceo de azufre.....	78
XXXII.	Costo de almohadillas de neopreno.....	79
XXXIII.	Costo de retenedores de neopreno	79
XXXIV.	Equipo de seguridad para el cabeceo de neopreno.....	80
XXXV.	Costos comparativos de los 2 sistemas de nivelación	84
XXXVI.	Resultados de ensayos cilindros de concreto de f'c 3 000 psi.....	87
XXXVII.	Resultados de ensayos cilindros de concreto de f'c 4 000 psi.....	88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a/c	Agua/cemento
f'c	Esfuerzo nominal a compresión del concreto
°C	Grados centígrados
kgf/cm²	Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado
kg/cm³	Kilogramo por metro cúbico
KWh/mes	Kilo watts hora por mes
psi	Libra fuerza por pulgada cuadrada
lb/pie³	Libra por pie cúbico
MPa	Mega Pascal esto es 10 ⁶
m	Metro
mm	Milímetros
%	Porcentaje
P	Potencia
pulg	Pulgada
Wh	Watts por hora

GLOSARIO

Almohadilla	Material elastomérico no adherido, con cierta dureza.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
Cabeceo	Preparación de las bases de los especímenes cilíndricos de concreto para su prueba.
Capa de refrentado	Capa de material aplicado y moldeado que recubre una superficie de carga en una probeta de concreto.
Chert	Es una roca sedimentaria rica en silíce de grano fino microcristalina, criptocristalina o microfibrosa que pueden contener pequeños fósiles.
Compresión	Fuerza o presión que se ejerce sobre algo con el fin de reducir su volumen.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales.
Especímen	Muestra o parte de ella que se usa para ejecutar una prueba.
Planicidad	Grado de aproximación de la superficie de un producto a un plano.

IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
Retenedor	Es un dispositivo de metal usado para proveer el soporte y alineamiento de la almohadilla elastomérica.
Refrentar	Procedimiento de aplicación y moldeo de la capa de refrentado sobre una superficie de carga en una probeta de concreto, para corregir defectos de planicidad entre caras, con el fin de obtener la mejor coincidencia posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.
Revenimiento	Medida de consistencia del concreto fresco, igual al asentamiento inmediato de una probeta moldeada con un cono normalizado.
Superficie de carga	Superficies de las probetas de concreto que están en contacto con las piezas de apoyo y carga de la prensa durante el ensayo.
Tapa no adherida	Retenedor metálico y una almohadilla elastomérica
UNIT	Instituto Uruguayo de Normas Técnicas.

RESUMEN

En este estudio se evaluará la práctica estándar para el uso de almohadillas no adheridas en la determinación de resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecidos, según Norma NTG- 41067 (ASTM C-1231), comparando los resultados obtenidos por medio de la práctica de tapas adheridas de morteros de azufre según la Norma NTG-41064 (ASTM C-617).

El uso de tapas adheridas y almohadillas no adheridas, es un sistema que se utiliza para realizar los ensayos de especímenes de concreto, con el fin de obtener una nivelación en los cilindros antes de ser ensayados a compresión y aplicar la carga uniformemente. Las pruebas se realizan de acuerdo a los procedimientos establecidos en las normas nacionales e internacionales de referencia.

Para cada ensayo realizado se elaboraron 4 cilindros de concreto con una resistencia de 3 000 psi y 4 cilindros de concreto de 4 000 psi para nivelar con azufre, ensayados en laboratorio a compresión a los 3, 7 y 28 días de edad, también se realizaron pruebas con almohadillas de neopreno en la misma cantidad y secuencia al anterior, obteniendo un total de 48 cilindros ensayados, los cuales se fundieron con bolsas de concreto premezclado.

Con los resultados obtenidos, se determinan las ventajas y desventajas en el uso de azufre y almohadillas de neopreno, para efectuar un mejor control de nivelación en el ensayo de resistencia a compresión de especímenes de cilindros de concreto.

OBJETIVOS

General

Determinar, ventajas y desventajas, mecánicas, económicas y ambientales en la utilización de azufre y almohadillas de neopreno para el cabeceo de cilindros de concreto.

Específicos

1. Determina el rendimiento de insumos y personal técnico en la realización del ensayo a compresión de cilindros de concreto utilizando 2 métodos diferentes de nivelación; según Norma NTG 41064 (ASTM-617) para azufre y NTG 41067 (ASTM-1231) para almohadillas de neopreno.
2. Identificar ventajas y desventajas de cada uno de los métodos investigados para obtener mejores resultados de resistencia.
3. Realizar gráficas comparativas de resultados para determinar el resultado más confiable de los 2 métodos de nivelación.
4. Verificar la utilización del material de cada método para determinar el rendimiento de la cantidad de ensayos.
5. Cumplir con la norma para la práctica de muestreo de concreto para encontrar la resistencia real.

6. Considerar el mantenimiento preventivo y correctivo para la máquina de ensayos a compresión.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo, y aún en la actualidad, se utilizan los morteros de azufre para el cabeceo de las caras o superficies de carga de cilindros normados de concreto, para ensayos de resistencia a compresión. Lo anterior garantiza que dichas caras tengan una superficie regular y ofrezcan un paralelismo adecuado, para que la carga sea axial.

El uso de azufre presenta problemas que se deben considerar en el manejo cuidadoso que requiere esta práctica, por ejemplo: quemaduras, inhalación, contaminación, corrosión de partes metálicas, debido a que el vapor que produce el azufre en compañía con la humedad, produce ácido sulfúrico.

En 1993, se implementó una metodología que permite el uso de discos de neopreno o caucho natural, retenidos en platos de acero para reemplazar el cabeceo tradicional con azufre. Las Normas NTG 41064 (ASTM-617) para azufre y NTG 41067 (ASTM-1231) para neopreno, hacen referencia a dicha práctica.

Las mezclas de concreto, se pueden diseñar de tal manera, que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia del concreto, que es una característica para resistir esfuerzos, es comúnmente considerada como la característica más importante, aunque en muchos otros casos son otras; como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen las que pueden ser importantes para el desempeño de edificios y otras estructuras.

La resistencia a la compresión se determina ensayando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos a compresión, según especificaciones de norma.

La resistencia a la compresión, se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste la carga y se reporta en unidad de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) o en mega Pascales (MPa) en unidades SI.

Para la elaboración de los especímenes de prueba, se utilizaran las especificaciones de la Norma NTG 41061 (ASTM C-31).

El fin que se persigue en este trabajo, es determinar las ventajas y desventajas mecánicas, económicas y ambientales en el ensayo de especímenes cilíndricos cabeceados con morteros de azufre y almohadillas de neopreno. A continuación se presenta el estudio realizado en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, el cual pretende demostrar la validez de aplicación de la Norma NTG 41067 (ASTM C-1231), usando almohadillas de neopreno.

1. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS

Actualmente, el concreto es el elemento más usado en el ámbito mundial para la construcción, el rol determinante que juega el concreto en el desarrollo nacional, es la adecuada selección de los materiales integrados en la mezcla; el conocimiento profundo de las propiedades del concreto; los criterios de diseño de las proporciones de la mezcla más adecuada para cada caso, el proceso de puesta en obra; el control de la calidad del concreto; y los más adecuados procedimientos de mantenimiento y reparación de la estructura, son aspectos a ser considerados cuando se construyen estructuras de concreto que deben cumplir con los requisitos de calidad, seguridad, y vigencia en el tiempo que se espera de ellas.

La demanda del concreto ha sido la base para la elaboración de los diferentes diseños de mezcla, ya que estos métodos permiten a los usuarios conocer, no sólo las dosis precisas de los componentes del concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla.

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto, consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado.

En Guatemala, los métodos más conocidos para diseño de mezcla de concreto son:

- Método del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII)

Según el método de proporcionamiento de mezclas de concreto del Centro de Investigaciones de Ingeniería, la resistencia y durabilidad (calidad) del concreto está principalmente relacionada con la relación agua/cemento de la pasta y con la granulometría y tipo de partículas del agregado. Pero además el requisito de trabajabilidad de un concreto afecta la relación agua/cemento y la proporción relativa de agregados grueso y fino a usarse.

Una vez determinada la resistencia y trabajabilidad requeridas, los datos de relación agua/cemento (grado concentración) y la cantidad aproximada de agua para alcanzar la trabajabilidad requerida, se toman de la tabla, dependiendo del tipo y tamaño máximo del agregado, este método consta de tablas con resultados de investigación similares a las del ACI.

Luego se calcula el cemento, los agregados (el porcentaje de arena se toma de la tabla de acuerdo con su módulo de finura y tamaño máximo del agregado).

Se calculan entonces por volumen absoluto o volumen de sólidos, las cantidades de material necesarias. Se pasan estos volúmenes a pesos para la cual debe conocerse el peso específico de los materiales, con esto se termina de diseñar y dosificar la mezcla.

Tablas del método del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla I. **Asentamiento para diseño de mezclas según la estructura**

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

Fuente: método del Centro de Investigaciones de Ingeniería–USAC.

Tabla II. **Cantidad de agua para el asentamiento en el diseño**

Asentamientos en cm	Cantidad agua litro/metro cúbico				
	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: método del Centro de Investigaciones de Ingeniería–USAC.

Tabla III. **Resultados de resistencia versus relación a/c**

Resistencia kg/cm²	Rel. A/C
352	0,47
316	0,50
281	0,54
246	0,57
210	0,60
176	0,64

Fuente: método del Centro de Investigaciones de Ingeniería–USAC.

Tabla IV. **Resultado de porcentaje del agregado fino**

Tamaño máximo del agregado grueso	% Arena sobre agregado Total
3/8"	48
1/2"	46
3/4"	44
1"	42
1 ½ "	40

Fuente: método del Centro de Investigaciones de Ingeniería–USAC.

- Método de *American Concrete Institute* (ACI 211.1)

Este procedimiento consideran 9 pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto estructural, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

El primer paso contempla la selección del asentamiento (*slump*), cuando este no se especifica, el informe del ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de *slump* de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar y colocar el concreto, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en 2,5 centímetros.

Se determina la resistencia promedio necesaria para el diseño; la cual está en función al f'_c , la desviación estándar, el coeficiente de variación. Los cuales son indicadores estadísticos que permiten tener una información cercana de la experiencia del constructor.

Cabe resaltar también que existen criterios propuestos por el ACI para determinar el f'_{cr} , los cuales se explican a continuación:

- Mediante las ecuaciones del ACI
 - $f'_{cr}=f'_c+1,34s$I
 - $f'_{cr}=f'_c+2,33s-35$II

De I y II se asume la de mayor valor.

Teniendo en cuenta el grado de control de calidad en la obra, para determinar el f'_{cr} propuesto por el comité europeo del concreto.

Donde:

f'_{cr} = resistencia a compresión necesaria para el proporcionamiento.

f'_c = esfuerzo nominal a compresión para el proporcionamiento.

s = es la desviación estándar, que viene a ser un parámetro estadístico que demuestra la capacidad del constructor para elaborar concretos de diferente calidad (esto depende de los agregados).

La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas.

Por consideraciones económicas, es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado *slump* depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos. Se requiere estudiar cuidadosamente los requisitos dados en los planos estructurales y en especificaciones de obra.

Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del *slump* requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido.

Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados, las pruebas con valores bajos.

El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua/cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.

Para el sexto paso del procedimiento, el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se proporciona en metros cúbicos, con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia.

Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.

El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el *slump* y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el *slump*, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto, el informe ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

Estos métodos proporcionan tablas e información de parámetros de materiales para su aceptación y óptima proporción. Tablas que se utilizan en el diseño experimental de mezclas ACI 211.1:

Tabla V. **Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción**

Tipos de construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10	2,5
Columnas para edificios	10	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	7,5	2,5

Fuente: Norma del ACI 211.1.

Tabla VI. **Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregados**

Revenimiento , cm	Agua, kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm)							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2,5 a 5,0	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
2,5 a 5,0	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17,5	216	205	197	174	174	166	154	-
Exposición ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Fuente: Norma del ACI 211.1.

Tabla VII. **Relación agua/cemento y la resistencia a compresión**

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0,41	-
350	0,48	0,40
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Fuente: Norma del ACI 211.1.

Tabla VIII. **Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Volumen de agregado grueso, varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8")	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2")	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4")	0,66	0,64	0,62	0,60
25 (1")	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1-1/2")	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2")	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3")	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6")	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Norma del ACI 211.1.

Tabla IX. **Estimación del peso del concreto fresco**

Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Estimación del peso del concreto fresco kg/m ³	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9,5 (3/8")	2 280	2 200
12,5 (1/2")	2 310	2 230
19 (3/4")	2 345	2 275
25 (1")	2 380	2 290
37,5 (1-1/2")	2 410	2 350
50 (2")	2 445	2 345
75 (3")	2 490	2 405
150 (6")	2 530	2 435

Fuente: Norma del ACI 211.1.

- Ejemplo del método *Portland Cement Association* (PCA) de la relación agua/cemento (métrico)

Con este método, el diseñador desarrolla proporciones directamente de la mezcla de prueba y no a través del volumen absoluto de los constituyentes del concreto.

- Condiciones y especificaciones. La resistencia a compresión especificada es 35 mega Pascales a los 28 días. La desviación estándar del producto es 20 kilogramo por centímetro cuadrado o 2,0 mega Pascales. Están disponibles en la región el cemento ASTM tipo IP (cementos portland puzolánico) y un agregado de tamaño máximo nominal de 19 milímetros. Proporcione una mezcla de concreto para estas condiciones y verifique a través de una mezcla de prueba.
- Requisitos de durabilidad. Será expuesto a congelación, deshielo, descongelantes y por lo tanto, debe tener una relación agua/material cementante máxima de 0,45 y por lo menos, 335 kilogramos de cemento por metro cúbico de concreto.
- Requisitos de resistencia. Para una desviación estándar de 2,0 mega Pascales, la f'_{cr} (resistencia a compresión necesaria para el proporcionamiento) debe ser mayor que:
 - $f'_{cr} = f'_c + 1,34s = 35 + 1,34 (2) = 37,7 \text{ MPa}$ o
 - $f'_{cr} = f'_c + 2,33s = 35 + 2,33 (2) - 3,45 = 36,2 \text{ MPa}$

Por lo tanto, la resistencia a compresión media necesaria es 37,7 mega Pascales.

- Tamaño del agregado. El agregado grueso con tamaño máximo de 19 milímetros y el agregado fino, están en la condición saturada con superficie seca (SSS).
- Contenido de aire. El contenido de aire deseado es 6 por ciento y el rango es del 5 por ciento al 8 por ciento.
- Revenimiento. El revenimiento (asentamiento) especificado es de 40 ± 20 milímetros.
- Cantidades de mezcla. Por razones de conveniencia, se producirá una mezcla con 10 kilogramos de cemento. La cantidad de agua de mezcla necesaria es $10 \times 0,45 = 4,5$ kilogramos. Muestras representativas de los agregados fino y grueso se pesan en recipientes adecuados. Los valores se indican como masa inicial en la columna 2 de la hoja de datos. Todas las cantidades medidas de cemento, agua y aditivo inclusor (incorporador) de aire se adicionan a la mezcladora. Los agregados fino y grueso se llevan a la condición SSS y se los añade hasta que se obtenga una mezcla trabajable con el revenimiento (asentamiento) deseado.
- Trabajabilidad. Los resultados de los ensayos de revenimiento (asentamiento), contenido de aire, masa volumétrica y la descripción de la apariencia y de la trabajabilidad se registran en la hoja de datos y en la tabla X.

Tabla X. **Resultados de mezclas (métrico)**

Mezcla no.	Revenimiento, mm	Contenido de aire, %	Densidad Kg/m³
1	50	5,7	2 341
2	40	6,2	2 332
3	45	7,5	2 313
4	36	6,8	2 324

Contenido de cemento, kg/m³	Agregado fino, porcentaje del total de agregados	Trabajabilidad
346	28,6	Aspera
337	33,3	Regular
341	38,0	Buena
348	40,2	Buena

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 204.

Las cantidades de agregados fino y grueso que no se usaron, se registran en la hoja de datos en la columna 3 y la masa de agregados usada (columna 2 menos columna 3) se registra en la columna 4. Si al realizar el ensayo, el revenimiento hubiera sido mayor que aquél requerido, se habría añadido una cantidad adicional de agregado fino o grueso (o ambos) para producir el revenimiento. Si al contrario, el revenimiento hubiera sido menor que aquél necesario, se habría adicionado agua y cemento en la proporción adecuada (0,45), para aumentar el revenimiento. Es importante que cualquier cantidad adicional sea medida con precisión y sea registrada en la hoja de datos.

- Proporciones de la mezcla. Las proporciones de la mezcla para un metro cúbico de concreto, se calculan en la columna 5 de la

figura 1., usando el rendimiento de la mezcla y la masa volumétrica. Por ejemplo, la cantidad de kilogramos de cemento por metro cúbico se determina dividiéndose 1 metro cúbico por el volumen del concreto en la mezcla y multiplicándose el resultado por la cantidad de cemento empleada en la mezcla. El porcentaje de agregado fino en masa con relación al total de agregados también se calcula. En esta mezcla de prueba, el contenido de cemento fue 314 kilogramo por metro cúbico y el agregado fino constituyó 38 por ciento de la masa total de agregado. El contenido de aire y el revenimiento fueron aceptables. La resistencia a los 28 días fue 39,1 mega Pascales, mayor que f'_{cr} . La mezcla en la columna 5, juntamente con los límites de revenimiento y de contenido de aire, 40 ± 20 milímetros y 5 por ciento a 8 por ciento, respectivamente están listos.

Figura 1. Hoja de datos para la mezcla (métrico)

**Datos y Cálculos para la Mezcla de prueba
(Agregados saturados con superficie seca)**

Tamaño de la amasada : 10 kg 20 kg _____ 40 kg _____ de cemento

Nota: Complete las Columnas de 1 hasta 4, llene los espacios abajo, entonces complete 5 y 6.

1 Material	2 Masa Inicial, kg	3 Masa Final, kg	4 Masa usada, (Col. 2 menos Col. 3)	5 Masa por m ³ No. de amasadas (C) x Col. 4	6 Observaciones
Cemento <input type="checkbox"/>	10.0	0	10.0	341	
Agua	4.5	0	4.5	153	
Agregado fino	37.6	17.3	20.3	691 (a)	% C.V.* = $\frac{a}{a+b} \times 100$ = 38%
Agregado grueso	44.1	11.0	33.1	1128 (b)	
Aditivo inductor de aire	10 ml	Total (T) = 67.9		2313	
<input type="checkbox"/>	T x C = 67.9 x 34.0648 = 2313				Verificación

Revenimiento medido: 45 mm Contenido de aire medido 7.5 %

Apariencia: Arenosa _____ Buena Pedregosa _____

Trabajabilidad: Buena Razonable _____ Pobre _____

Masa del recipiente + concreto = 42.7 kg

Masa del recipiente = 8.0 kg

Masa del concreto (A) = 34.7 kg

Volumen del recipiente (B) = 0.016 m³

Densidad del concreto (D) = $\frac{A}{B} = \frac{34.7}{0.016} = 2313$ kg/m³

Volumen de concreto producido = $\frac{\text{Masa total de material por amasada}}{\text{Densidad}} = \frac{T}{D}$
= $\frac{67.9}{2313} = 0.0293558$ m³

Número de 67.9 kg por amasada m³ (C) = $\frac{1.0 \text{ m}^3}{\text{Volumen}} = \frac{1.0}{0.0293558} = 34.0648$ amasadas

*Porcentaje de agregado fino en relación al total de agregados = $\frac{\text{Masa de agregado fino}}{\text{Masa total de agregado}} \times 100$

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 205.

Tabla XI. **Relación agua/material cementante y la resistencia a compresión del concreto**

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ² (Mpa)	Relación agua/material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0,38 (0,38)	0,31 (0,30)
400 (40)	0,43 (0,42)	0,34 (0,34)
350 (35)	0,48 (0,47)	0,40 (0,39)
300 (30)	0,55 (0,54)	0,46 (0,45)
250 (25)	0,62 (0,61)	0,53 (0,52)
200 (20)	0,70 (0,69)	0,61 (0,60)
150 (15)	0,80 (0,79)	0,72 (0,70)

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 104.

Nota: la resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 milímetros. Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Tabla XII. **Volumen de agregado grueso volumen por volumen unitario de concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado, mm (pulg)	Volumen de agregado grueso, varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8")	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2")	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4")	0,66	0,64	0,62	0,60
25 (1")	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1-1/2")	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2")	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3")	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6")	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 104.

Nota: los volúmenes se basan en agregados varillados en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

Tabla XIII. **Agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado**

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 175	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición blanda	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 104.

Nota: Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318.

Tabla XIV. **Revenimientos recomendados para varios métodos de construcción**

Tipos de construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de sub-estructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas para edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 104.

Nota: se puede aumentar 25 milímetros (1 pulg) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado. Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores. Adaptada del ACI 211.1.

1.1. **Análisis completos para agregado**

Los agregados para concreto deben estar formados de partículas compactas y duras, con textura, forma y granulometría adecuadas. Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos tienen porcentajes altos de material ligero o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas defectuosas restan calidad y resistencia al concreto, las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60 por ciento al 75 por ciento del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los 2. En un concreto adecuadamente diseñado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta.

Los agregados naturales para concreto son una mezcla de rocas y minerales. Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen de varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales, la mayoría de las calizas consiste en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla.

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

Minerales	Rocas ígneas	Rocas metamórficas
Sílice	Granito	Mármol
Cuarzo	Sienita	Metacuarcita
Ópalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Periodita	Esquisto
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita
Silicatos	Vidrio Volcánico	Hornfels (roca córnea)
Feldespato	Obsidiana	Gneis
Ferromagnesiano	Piedra Pómez (pumita)	Serpentinita
Hornblenda	Tufa (toba volcánica)	
Augita	Cagafierro	
Arcilla	Perlita	
Illitas	Vidrio Volcánico	
Caolines	Felsita	
Cloritas	Basalto	
Montmorinollita	Rocas Sedimentarias	
Mica	Conglomerado	
Ceolita	Arenica	
Carbonato	Cuarcita	
Calcita	Grauvaca	
Dolomita	Subgrauvaca (molasa)	
Sulfato	Arcosa	
Yeso	Piedra arcillosa	
Anhidrita	Limonita	
Sulfuro de hierro	Argelita y esquisto	
Pirita	Carbonatos	
Marcasita	Caliza	
Pirolita	Dolomita	
Óxido de hierro	Marga	
Magnetita	Greda (creta)	
Hematita	Chert	
Goetita		
Ilmenita		
Limonita		

Fuente: KOSMATKA, Steven H. Diseño y control de mezclas de concreto. p. 104.

Los agregados deben cumplir con algunas normas para su uso en ingeniería y se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimientos de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados friables (disgregables o desmenuzables), capaces de rajarse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. Se deben evitar, en especial, algunos tipos de cherts, pues tienen poca resistencia al intemperismo y causan defectos superficiales, tales como las erupciones.

Solamente la identificación de los constituyentes de un agregado no puede dar una base para el pronóstico del comportamiento del agregado en servicio. La inspección visual normalmente revela debilidades en los agregados gruesos. Los registros de servicio son inestables en la evaluación de los agregados. En la ausencia de registros de desempeño, se deben ensayar los agregados antes que se use en el concreto.

Los agregados más frecuentemente utilizados: arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire, producen concretos frescos de peso normal con masa volumétrica (masa unitaria) de 2 200 a 2 400 kilogramo por metro cúbico (140 a 150 lb/pies³). Agregados de esquisto, arcilla, pizarra y escoria expandidos se usan para producir estructuras de concreto ligero (liviano) con la masa volumétrica el concreto fresco variando de cerca de 1 350 a 1 850 kilogramo por metro cúbico (90 a 120 lb/pies³). Otros materiales ligeros tales como la piedra pómez (pumita), cagafierro, perlita, vermiculita y diatomita se emplean para producir concreto ligero aislante con masas volumétricas que varían de 250 a 1 450 kilogramo por metro cúbico (15 a 90 lb/pies³).

Materiales pesados, tales como barita, limonita, magnetita, ilmenita, hematina y esferas de hierro se usan para producir concreto de densidad elevada (concreto de gran peso) y blindaje para la radiación (ASTM C-637 y C-638).

Los agregados de peso normal deben cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM C 33, COVENIN 277, IRAM 1512, IRAM 1531, IRAM 1627, NTC 174, UNIT 84 y UNIT 102. Estas especificaciones limitan las cantidades permisibles de sustancias deletéreas y proveen requisitos para las características de los agregados. Se determina el cumplimiento con estos requisitos a través de varias pruebas normalizadas.

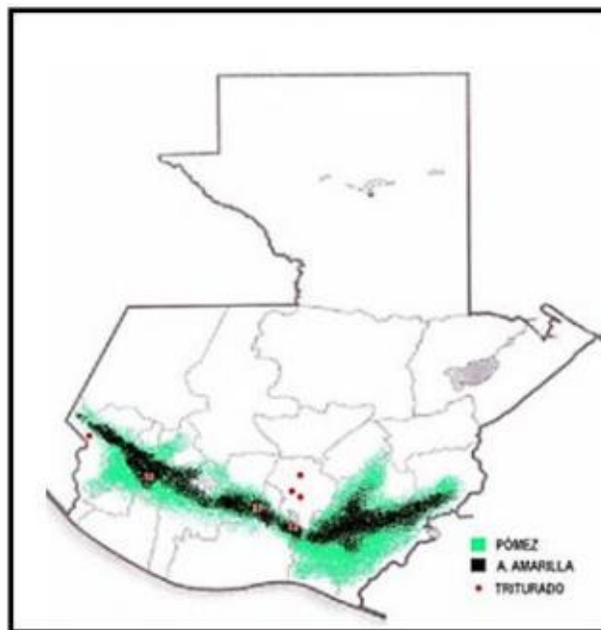
1.1.1. Agregado fino

Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, pedrejón arena de trituración) con la mayoría de sus partícula menores que 5 milímetros (0,2 pulg.).

Los requisitos de la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), permiten un rango relativamente amplio, la granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se usan agregados gruesos de pequeñas dimensiones, es conveniente, para que se logre una buena trabajabilidad, que la granulometría se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada tamiz. La granulometría de los agregados finos de acuerdo con la Norma NTG 41007 (ASTM C-33), es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos. Es el material que pasa a partir del tamiz #4 hasta el tamiz # 100.

En Guatemala se obtiene arena triturada que posteriormente puede ser sometida a un tratamiento de lavado para eliminar algunas partículas finas, así obtener arenas trituradas libre de impurezas, altamente demandada para concretos de mejor calidad. También se puede encontrar en el país aún arena natural proveniente de lechos, ríos secos o cuencas activas como muestra la figura 2. Los agregados finos más comunes en el medio guatemalteco, son la arena triturada lavada, arena natural, arena triturada de cantera.

Figura 2. **Principales bancos de agregado fino**



Fuente: SUÁREZ C. Análisis de las propiedades físico mecánicas en morteros de mampostería. Guatemala 2006.

1.1.2. Agregado grueso

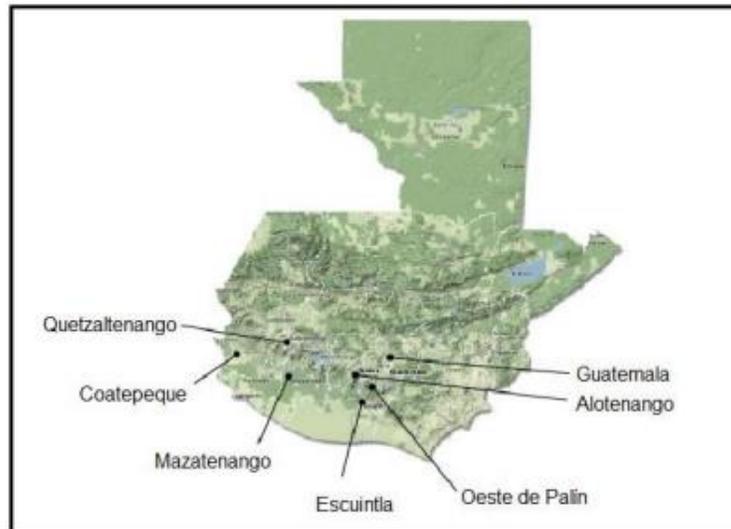
Los agregados gruesos consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 milímetro (0,2 pulg.) y generalmente entre 9,5 milímetro y 37,5 milímetro (3/8 y 1 ½ pulg.).

Algunos depósitos naturales de agregado, llamados de gravas de mina, consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el concreto, después de un procesamiento mínimo.

Para su buena utilización, estos no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada. Las formas angulosas o planas, hacen más difícil el amasado y colocación del concreto, porque no existe la adherencia adecuada ni la uniformidad, si el material es triturado, si cumple con los requisitos y las partículas se acomodan mejor. Suele considerarse como agregado grueso el formado por partículas retenidas a partir del tamiz # 4.

En Guatemala el material granulado como la grava o como la utilización actual de piedra triturada encontrados en los principales bancos como se muestra en la figura 3, producido bajo los más estrictos estándares fijados para construcción y producción de prefabricados, el pedrín cumple con los requisitos de calidad en cuanto a granulometría, porcentaje (%) de partículas planas y alargadas desgaste físico y químico; entre otras características fundamentales para obtener concretos, asfaltos, blocks, adoquines, postes, tubos y otros productos prefabricados.

Figura 3. **Principales bancos de agregado grueso**



Fuente: AGREGUA. Biblioteca de productos. Julio 2011.

1.2. **Diseño teórico de mezclas de concreto**

Puede definirse como el proceso de selección de los materiales adecuados del concreto, para determinar las cantidades con el propósito de producir un concreto con ciertas propiedades, notable trabajabilidad, resistencia, durabilidad, consistencia, y otras propiedades que se necesitan en determinada construcción y en determinadas condiciones de trabajo y exposición de este, además con el óptimo proporcionamiento, se lograran evitar las principales anomalías en el concreto fresco y endurecido como; la segregación, exudación, fisuramiento por contracción plástica y secado entre otras.

El proporcionamiento de una mezcla, es muy importante, porque si se dosifica mal, pueden cambiar las características físicas y mecánicas del concreto. Esto provocará una apariencia inadecuada, poca trabajabilidad y lo más delicado es que puede afectar la resistencia.

Las normas ASTM empleadas en la utilización del concreto premezclado para determinar si corresponde a cierta calidad especificada para la utilización del mismo en las obras de construcción son: ASTM C-39, ASTM C-78, ASTM C-94, ASTM C-131 y ASTM C-231, que son las que se utilizan para todos los tipos de concreto premezclado fabricados en Guatemala (tabla XVI). Y cada una de ellas comprende ciertas características indicadas, tanto para su composición como para su comportamiento.

Tabla XVI. **Normas ASTM utilizadas en los concretos premezclados producidos en Guatemala**

Norma ASTM	Tipo de concreto premezclado
C-39	Convencional, estructural, fluido, vivienda en serie, para pavimentos, blanco, alto desempeño
C-78	Para pavimentos
C-94	Convencional, estructural, fluido, vivienda en serie, para pavimentos, blanco, alto desempeño
C-131	Para pavimentos
C-231	Convencional, estructural, fluido, vivienda en serie, para pavimentos, blanco, alto desempeño

Fuente: hoja técnica de especificación, concreto premezclado, Mixto Listo.

1.2.1. Proporción para $f'c = 3\ 000$ psi

Se utilizó un concreto premezclado de uso general en la construcción, para elementos con moderados requerimientos estructurales de resistencia a la compresión $f'c = 3\ 000$ libra fuerza por pulgada cuadrada (210 kg/cm^2) y tamaño máximo del agregado (1/2 pulg), compuesto de arena caliza, pedrín, y cemento uniformemente graduados y proporcionados siguiendo la Norma ASTM C-39. Las bolsas de premezclado se identifican con:

- Empaque en bolsas de 50 kg (110 lbs).
- Tamaño máximo del agregado (1/2 pulg).
- Elementos con moderados requisitos estructurales sin exposición al ataque químico.
- Losas (tradicionales o prefabricadas).
- Losas de cimentación.
- Muros y columnas.

Tabla XVII. Normativa para concreto premezclado de 3 000 psi

Descripción	Normativa Empleada	Valor
Resistencia a la compresión	ASTM C-39	De 3 000 psi a los 28 días (210 kg/cm^2)
Tamaño máximo del agregado		1/2" pulg (12,7mm)
		3/8" pulg (9,5 mm)
Rendimiento		42 bolsas por m^3
Dosificación de agua		5,5 litros por bolsa de 50 kg
Mezclado	ASTM C-94	A mano, preferible en mezcladora
Contenido de aire	ASTM C-231	Menor del 3%

Fuente: hoja técnica de especificación, concreto premezclado, Mixto Listo.

Tabla XVIII. **Consistencia recomendada para premezclado**

Consistencia Recomendada	Asentamiento Máximo pulg. (cm) ± Tolerancia ASTM C-94
Revenimiento normal de la bolsa	4" (10) ± 1" (2,5)
Para un revenimiento fluido es necesario dosificar aditivo fluidificante extra	7" (18) ± 1,5" (3,8)

Fuente: hoja técnica de especificación, concreto premezclado, Mixto Listo.

La trabajabilidad y consistencia (asentamiento) de la mezcla de concreto, está diseñada con dosis de agua recomendada en esta hoja técnica. Si se le aplica más agua para tener una mayor fluidez, reducirá significativamente la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto. El asentamiento en la colocación final, dependerá del sistema de mezclado y del tipo de colocación. Si requiere un asentamiento especial en la colocación final del concreto, deberá adicionar un aditivo extra.

1.2.2. Proporción para $f'c = 4\ 000$ psi

Para el $f'c$ de 4 000 libra fuerza por pulgada cuadrada se utilizó sacos de premezclado de concreto, compuesto de arena caliza, piedrín, y cemento uniformemente graduados y proporcionados siguiendo la Norma ASTM C-39. Utilizando bolsas de concreto premezclado con una resistencia de 4 000 libra fuerza por pulgada cuadrada (280 kg/cm²) a la compresión y tamaño máximo del agregado (1/2 pulg). El concreto premezclado posee ciertas ventajas como calidad y uniformidad que supera ampliamente al concreto hecho en obra, medición y dosificación de materiales controlados y utilización de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales.

Las bolsas de premezclado se identifican con:

- Empaque en bolsas de 50 kg (110 lbs).
- Elementos con altos requisitos estructurales sin exposición al ataque químico.
- Losas.
- Plataformas de cimentación.
- Muros y columnas para uso residencial y/o industrial.

Tabla XIX. **Normativa para concreto premezclado de 4 000 psi**

Descripción	Normativa Empleada	Valor
Resistencia a la compresión	ASTM C-39	De 4 000 psi a los 28 días (280 kg/cm ²)
Tamaño máximo del agregado		1/2" pulg (12,7mm)
		3/8" pulg (9,5 mm)
Rendimiento		42 bolsas por m ³
Dosificación de agua		5,5 litros por bolsa de 50 kg
Mezclado	ASTM C-94	A mano, preferible en mezcladora
Contenido de aire	ASTM C-231	Menor del 3%

Fuente: hoja técnica de especificación, concreto premezclado, Mixto Listo.

1.3. **Diseño práctico de mezcla de concreto**

La función de un premezclado de concreto, es muy importante, ya que se puede fundir cualquier tipo de estructura, columnas, vigas, losas o banquetas; aumentando la productividad de la mano de obra. A continuación se describe el proceso de la elaboración de una bolsa de premezclado.

- Se utiliza una mezcladora, recipiente o superficie limpia.
- Se mezcla el concreto premezclado en forma gradual con la cantidad de agua indicada, hasta obtener la consistencia adecuada.
- No agregue más agua de lo recomendado, esto reduce la resistencia del concreto y provoca la separación del pedrín y la pasta (segregación).
- Una vez preparado el concreto predosificado, se coloca dentro de un molde o formaleta, asegurándose de vibrarlo adecuadamente para que tenga una buena compactación y evitar espacios vacíos.
- La superficie donde se colocará el concreto fresco debe estar húmeda.
- Para obtener los resultados deseados deben seguirse las recomendaciones de la ACI 318 *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* y de la ACI 308 *Standard Practice for Curing Concrete*, donde se recomienda un curado no menor de 7 días.
- El uso de este producto está limitado a las características expuestas en esta hoja técnica, cualquier uso distinto al mismo puede variar los resultados expuestos.
- No se recomienda realizar adiciones al concreto sin asesoría. Las bolsas deberán almacenarse en un lugar fresco, seco, bajo techo y sobre tarimas que las aíslen del contacto directo con el suelo. Bajo estas condiciones se estima que el cemento dentro de las bolsas, tendrá una duración óptima de 2 meses. Evitar que la bolsa se moje o humedezca antes de utilizarla. Mantenerla cubierta al transportarla.

1.3.1. Control del concreto fresco

Se debe enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco, para los ensayos de control. A menos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas serán engañosos.

Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo a las Normas NTG 41057 (ASTM C-172), COVENIN 0344, IRAM 154. A excepción de las pruebas de rutina, tales como revenimiento (asentamiento) y contenido de aire, realizadas para el control del proceso, la Norma NTG 41057 (ASTM C-172) requiere que el tamaño de la muestra para el propósito de aceptación debe ser, por los menos, 28 litros (1 pie³) y se la debe obtener durante los 15 minutos entre la primera y la última porción de la amasada.

La muestra compuesta, producida con o más porciones, no se debe tomar enseguida a la porción inicial de la descarga, ni tampoco a la porción final. La muestra se debe proteger del sol, viento y otras fuentes de evaporación rápida durante el muestreo y el ensayo.

La manejabilidad, es la cantidad de trabajo interno útil necesaria para producir la compactación total. El trabajo interno útil es una propiedad física del concreto y es el trabajo o energía requerida para vencer a la fricción interna entre las partículas en el concreto. En la práctica, es difícil medir la manejabilidad, tal como se ha definido; lo que se mide es la manejabilidad aplicable a un método adoptado en particular.

Es evidente que la manejabilidad, es afectada por una serie de factores interactuantes: contenido de agua, tipo y gradación del agregado, relación agregado/cemento, aditivos para mezcla y finura del cemento. El elemento principal es el contenido de agua de la mezcla, ya que basta añadir agua para que se incremente la lubricación entre las partículas.

Sin embargo, a fin de lograr condiciones óptimas para que haya un mínimo de espacios o una máxima densidad sin segregaciones, se debe tener en cuenta la influencia del tipo de agregado y de la gradación, las partículas

más finas requieren más agua para humedecer su mayor superficie específica, mientras que la forma irregular y la textura áspera de un agregado angular exigen más agua que un agregado redondeado. También es importante la porosidad o absorción del agregado, y que en una parte de la mezcla, necesaria para la lubricación de las partículas, será eliminada. Al concreto fresco se le realizaron las siguientes pruebas

- Medición de la temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto. Como la temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. Están disponibles termómetros de vidrio o con coraza. El termómetro debe tener precisión de $\pm 0,5$ grados centígrados (± 1 °F) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.

Un mínimo de 75 milímetros de concreto debe rodear la porción de sensitiva del termómetro. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital. La medición de la temperatura según Norma NTG 41053 (ASTM C-1064), se debe terminar en un período de 5 minutos después de tomada la muestra.

- Revenimiento del concreto

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, según Norma NTG 41052, ASTM C 143, COVENIN 0339, IRAN 1536 es el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto.

El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (molde cónico de metal 300 milímetros (12 pulg) de altura, con 200 milímetros (8 pulg) de diámetro de base y 100 milímetros (4 pulg) de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 milímetros de diámetro (5/8 pulg) y 600 milímetros (24 pulg) de longitud con una punta de forma hemisférica.

El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en 3 capas de volúmenes aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 milímetros (2½ pulg) en la primera capa, una profundidad de 160 milímetros (6 pulg) en la segunda y última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa con la varilla.

Después de los golpes, se enrasa la última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 milímetros (12 pulg) en 5 ± 2 segundos. A medida que el concreto se hunde o se asienta a una nueva altura, se invierte el cono vacío y se coloca al lado del concreto asentado. El revenimiento o el asentamiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, medida con una precisión de 5 milímetros (1/4 pulg). Se usa una regla para medir de la parte superior del molde del cono hasta en centro original desplazado del concreto asentado.

Un valor más elevado de revenimiento (asentamiento) es indicativo de un concreto más fluido. Todo el ensayo hasta la remoción del cono se debe completar en 2½ minutos, pues el concreto pierde revenimiento con el tiempo. Si hay desmoronamiento de una parte del concreto, se debe realizar otra prueba con otra porción de la muestra.

Otro método de ensayo para la fluidez (flujo) del concreto fresco envuelve el uso del medidor k de revenimiento (ASTM C-1362). Este es un aparato de sondeo, que se introduce dentro del concreto en cualquier localización donde haya una profundidad de concreto alrededor del medidor de 75 milímetros (3 pulg). La cantidad de mortero fluyendo para dentro de las aberturas del medidor es la medida de fluidez.

- Prueba de masa unitaria

La masa volumétrica (masa unitaria) y el rendimiento del concreto fresco se determinan de acuerdo con la Norma NTG 41017 h-5 (ASTM C-138), COVENIN 0349, IRAM 1562, NCh1564, NTP 339.046, UNIT-NM 56.

Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica (rendimiento) del concreto producido en cada mezcla. La prueba también presenta una indicación del contenido de aire, desde que se conozca la masa volumétrica (masa unitaria) de los ingredientes.

Se requiere una balanza o una báscula con precisión de 0,3 por ciento de la masa prevista de la muestra y del recipiente. Por ejemplo, un recipiente con 7 litros (0,25 pies³) requiere empleado en la determinación de la masa volumétrica y del rendimiento varia con el tamaño del agregado. Si está en buenas condiciones el recipiente del medidor de aire con capacidad para 7 litros (0,25 pies³) se puede utilizar con agregados de hasta 25 milímetros (1 pulg), mientras que el recipiente de 14 litros (0,5 pies³) se usa con agregados de hasta 50 milímetros (2 pulg).

El recipiente se debe calibrar por lo menos una vez al año (ASTM C-1077). Se debe tener cuidado para consolidar el concreto adecuadamente, sea

a través de golpes, sea a través de vibración interna. Se debe utilizar una llana (palustre) o placa plana para enrasar la superficie superior del concreto, a fin de que el recipiente este lleno y con acabado plano y liso.

La masa volumétrica se expresa en kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico) y el rendimiento en metro cúbicos (pies cúbicos).

- Contenido de aire

Se pueden utilizar varios métodos para medir el contenido del concreto fresco. Las normas incluyen el método de precisión NTG 41017 h-7, ASTM C 231, COVENIN 0348, IRAM 1602, NMX-C-157, NTC 1032, NTP 339.080, UNIT-NM 47.

El método por presión, se basa en la ley de Boyle, la cual relaciona presión y volumen. Muchos medidores de aire comercialmente disponibles están calibrados para leer contenido de aire directamente cuando se aplica una presión predeterminada. La presión aplicada comprime el aire dentro de la muestra de concreto, incluyendo el aire en los poros de los agregados. Por esta razón, las pruebas por este método no son adecuadas para medir el contenido de aire de concretos producidos con algunos agregados ligeros (livianos) u otros materiales muy porosos.

Los factores de corrección del agregado, el cual compensa el aire atrapado (aire ocluido) en los agregados de peso normal son relativamente constantes y, a pesar de pequeños, se les debe substraer de la lectura en el medidor de presión para obtener el contenido de aire correcto. Se debe calibrar el equipo para varias altitudes sobre el nivel del mar, si se lo va a utilizar en sitios que tengan diferencia en altitudes considerables. Algunos medidores de

presión son ampliamente usados porque no hay necesidad de conocerse las propiedades de la mezcla, ni la gravedad específica de los materiales componentes del concreto. Además, se puede realizar esta prueba en menos tiempo de lo requerido por otros métodos.

Tabla XX. **Resultados del concreto fresco de f'c 3 000 psi**

Pruebas a concreto fresco de f'c 3 000 psi	
Ensayo	Resultado
Temperatura ASTM C - 1064	22,5 °C
Peso Unitario ASTM C - 138	2 373,05 kg/m ³
Asentamiento	8,9 cms
Contenido de Aire ASTM C - 231	2,5%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados del concreto fresco de f'c 4 000 psi**

Pruebas a concreto fresco de f'c 4 000 psi	
Ensayo	Resultado
Temperatura ASTM C - 1064	23,5 °C
Peso Unitario ASTM C - 138	2 329,08 kg/m ³
Asentamiento	8 cms
Contenido de Aire ASTM C - 231	2,6%

Fuente: elaboración propia.

1.3.2. Control del concreto endurecido

La selección de un material para una aplicación en particular, tiene que tomar en cuenta su capacidad para resistir la fuerza aplicada. Tradicionalmente

la deformación que ocurre como resultado de una carga aplicada, se expresa como esfuerzo, que se define como la fuerza por unidad de área. Dependiendo de cómo el esfuerzo actúa sobre el material, los esfuerzos son también distinguidos uno de otro, por ejemplo, en compresión, tensión, flexión, cortante y torsión. Las relaciones esfuerzo-deformación unitario en los materiales se expresan generalmente términos de resistencia, módulo de elasticidad, ductilidad y tenacidad.

La resistencia, es una medida de la cantidad de esfuerzo requerido para hacer fallar un material. La teoría del esfuerzo de trabajo para el diseño de concreto, considera que éste es el más adecuado para soportar la carga a compresión; ésta es la razón por la cual la resistencia a la compresión del material, es la que se especifica más generalmente. Puesto que la resistencia del concreto es una función del proceso de hidratación, que es relativamente lento, tradicionalmente las especificaciones y la pruebas para la resistencia del concreto se basan en muestras curadas bajo condiciones estándar temperatura y humedad, por un período de 28 días.

Como se indicó anteriormente para la mayoría de las aplicaciones estructurales, se utiliza el concreto de resistencia moderada (20 a 40 MPa de resistencia a la compresión), aunque últimamente los concretos de alta resistencia de hasta 130 mega Pascales de resistencia se han estado produciendo comercialmente.

La determinación de la resistencia a compresión, se obtiene a través de ensayos en probetas de concreto o mortero. Los ensayos en mortero de cubos de 50 milímetros (2 pulg), mientras que los ensayos en concreto se realizan en cilindros de 150 milímetros (6 pulg) de diámetro y 300 milímetros (12 pulg) de altura, en 3 capas de igual volumen, cada capa debe ser apisonada 25 veces

en forma espiral hacia dentro con una varilla de 24 pulgadas de largo y 5/8 pulgadas de diámetro con el extremo en forma semiesférica, el apisonamiento debe penetrar 1 pulgada aproximadamente la capa anterior; los moldes deben ser golpeados con un mazo de $1,25 \pm 0,5$ libras de 10 a 15 veces por capa.

También se tienen cilindros menores 100 x 200 milímetros (4 x 8 pulg) se pueden usar para el concreto. La resistencia a compresión, es una propiedad principalmente física y frecuentemente usada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras.

1.3.2.1. Medidas

Los cilindros o especímenes ya endurecidos, se deben medir utilizando el vernier, el diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los 2 diámetros difieren en más del 2 por ciento no se debe someter a prueba el cilindro. Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicular del eje del cilindro en más del 0,5 por ciento y los extremos deben hallarse planos de un margen de 0,002 pulgadas (0,05 mm) esperando que este sea lo más uniforme posible en todo su contorno para que esto se mas fácil al refrentar.

1.3.2.2. Contracciones

El concreto cambia ligeramente de volumen por varias razones, la compresión de la naturaleza de estos cambios es útil para el planeamiento o el análisis de las obras en concreto. Si el concreto fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero como el concreto en servicio normalmente se restringe por

los cimientos (cimentación, fundación), subrasantes, refuerzo o elementos conectados, se pueden desarrollar esfuerzos considerables. Esto es principalmente verdad para los esfuerzos de tensión (tracción).

Las grietas (fisuras) se desarrollan porque el concreto es relativamente débil en tensión, pero bastante resistente a compresión. El control de las variables que afectan los cambios de volumen puede minimizar las tensiones elevadas y el agrietamiento. El ancho admisible de las fisuras se debe considerar en el diseño estructural.

El cambio de volumen se define meramente como un incremento o una disminución del volumen. Más comúnmente, el tema del cambio del volumen de concreto trata de la expansión lineal y la contracción ocasionada por ciclos de temperatura y humedad. Sin embargo, los efectos químicos como la contracción (retracción) por carbonatación, el ataque de sulfatos y la expansión perjudicial resultante de la reacción álcali-agregado también pueden causar cambios de volumen. También la fluencia es un cambio de volumen o deformación, causada por esfuerzos o cargas sostenidos. Igualmente importantes son los cambios elástico e inelástico en las dimensiones o formas, que ocurren instantáneamente bajo la aplicación del esfuerzo.

Por conveniencia, la magnitud de los cambios de volumen generalmente se expresa en unidades lineales en lugar de volumétricas. Cambios de longitud, normalmente se expresan como un coeficiente de la longitud en partes por millón, o sencillamente, como millonésimos y se aplica en cualquier unidad de longitud (por ejemplo, m/m, pie/pie). Un millonésimo es 0,000001 metro/metro (0,000001 pulg/pulg) y 600 millonésimos son 0,000600 metro/metro (0,00060 pulg/pulg).

El cambio de la longitud también se enuncia como un porcentaje, por lo tanto, 0,06 por ciento es el mismo que 0,000600, lo cual es, a propósito, aproximadamente lo mismo que 6 milímetros por 10 metros (3/4 pulg por 100 pies). Los cambios de volumen que ordinariamente ocurren en el concreto son pequeños, variando en cambios de longitud de 10 millonésimos hasta 1 000 millonésimos.

El cambio del volumen del concreto a temprana edad, empieza justo después del colado (colocación). Los cambios tempranos de volumen, durante las primeras 24 horas, pueden influenciar los cambios de volumen y la formación de fisuras en el concreto endurecido, especialmente en concretos con baja relación agua/cemento. Siguen las discusiones sobre las diversas formas de cambios de volumen en edad temprana.

- Contracción química

La contracción química se refiere a la reducción en el volumen absoluto de sólidos y líquidos de la pasta, resultante de la hidratación del concreto. El volumen absoluto de los productos hidratados del cemento, es menor que el del cemento y del agua antes de la hidratación. No están incluidas las burbujas de aire del mezclado. La contracción (retracción) química es continua a una escala microscópica, mientras que el cemento se hidrata. Después del fraguado inicial, la pasta no se puede deformar tanto como en el estado plástico. Por lo tanto, se compensan la hidratación y la contracción química adicionales con la formación de vacíos en la micro estructura. La mayor parte de este cambio de volumen, es interno y no cambia considerablemente las dimensiones externas visibles del elemento de concreto.

- Contracción durante el fraguado

Se pone en evidencia por una disminución de volumen de la mezcla, durante el período de fraguado, como consecuencia de las reacciones que se producen entre el agua y el cemento, que dan origen a compuestos químicos, cuyo volumen es menor que la suma de los volúmenes del agua y del cemento que intervienen en el proceso.

- Contracción por secado de la mezcla endurecida

Es una disminución de volumen, provocada por la contracción de los golpes de cemento hidratado, como consecuencia de la evaporación del agua contenida en los canales capilares.

1.3.2.3. Peso

El cilindro es pesado en una balanza digital para obtener un peso exacto y que no varíe su consistencia, este dato debe ser tomado en kilogramos y sirve para determinar la masa unitaria del concreto endurecido.

2. ENSAYOS A COMPRESIÓN

Este método de ensayo, consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo, a una razón que este dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. El esfuerzo de compresión del espécimen, es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo dentro del área de la sección transversal del espécimen.

Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, la dosificación, edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

Este método de ensayo, es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las prácticas de la Norma NTG 41061 (ASTM C 31/C 31M), NTG 41060 (ASTM C 192/C 192M), NTG 41064 (ASTM C 617) y NTG 41067 (ASTM C 1231/C 1231M) y los métodos de ensayo NTG 41049 (ASTM C 42 /C 42M). Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con azufre según la Norma ASTM NTG 41064 (ASTM C-617) o con almohadillas de neopreno NTG 41067 (ASTM C-1231).

El cabeceo de azufre se debe aplicar como mínimo 2 horas antes y preferiblemente un día antes de la prueba. Las almohadillas de neopreno se pueden usar para medir las resistencias del concreto entre 10 a 50 mega

Pascales. Para resistencias mayores de hasta 84 mega Pascales se permite el uso de las almohadillas de neopreno siempre y cuando hayan sido calificadas con pruebas.

Los resultados de este método de ensayo, son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de las especificaciones; control para la evolución de la efectividad de aditivos; y usos similares.

Previo al ensayo, ningún extremo de los especímenes de ensayo debe apartarse de la perpendicular a los ejes en más de 0,5 grados, aproximadamente equivalente a 1 milímetros en 100 milímetros (0,12 pulg en 12 pulg). Los extremos de los especímenes de ensayo de compresión que no sean planos dentro de 0,05 milímetros (0,002 pulg) deben ser aserrados o esmerilados para cumplir aquella tolerancia, o nivelados de acuerdo tanto con la práctica NTG 41064 (ASTM C-617) para azufre y NTG 41067 (ASTM C-1231) para neopreno. El diámetro usado para calcular la sección transversal del espécimen de ensayo debe ser determinado al 0,25 milímetros (0,1 pulg) más cercano.

Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en condición húmeda.

El técnico que efectuó la prueba debe anotar: el diámetro del cilindro, la altura, el peso, la edad de los cilindros, antes de la prueba y luego del ensayo se anota: la máxima carga aplicada, el tipo de fractura y todo defecto que presenten los cilindros o sus tapas.

Se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del rango de $0,25 \pm 0,05$ mega pascales por segundo (35 ± 7 lb/pulg²/s). La velocidad de movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga. Se debe anotar el tipo de ruptura. La fractura cónica es un patrón común de ruptura.

2.1. Cabeceo con azufre

En este método se dará a conocer la tecnología aplicada que se utiliza con más frecuencia en Guatemala, para el refrentado de probetas cilíndricas con mortero de azufre; según la Norma NTG 41064 (ASTM C-617):

- Colocar en la olla para fundido la cantidad necesaria de azufre, de acuerdo a la cantidad de especímenes a cabecear, verificando que el azufre se encuentre totalmente seco.
- Calentar el azufre a una temperatura entre 130 y 145 grados centígrados (265 y 290 °F) determinada por un termómetro de metal insertado cerca del centro de la masa.
- Aceitar el plato de cabeceo a utilizar.
- Las bases de los especímenes a cabecear estén secos en el momento del cabeceo para evitar que dentro de las capas se formen burbujas.
- Vaciar el mortero de azufre sobre el plato cabeceador.

- Colocar la base del espécimen sobre el plato de cabeceo y en contacto con el mortero de azufre, utilizar la barra guía para centrarlo.
- Verificar la planicidad con una regla recta o con un medidor de espesores, realizando un mínimo de 3 medidas en diferentes sentidos diametrales, para asegurar que la superficie de la capa de cabeceo no se desvíe del plano por más de 0,05 milímetros (0,002 pulg).
- Dejar transcurrir el tiempo suficiente para permitir el enfriamiento del azufre.
- Con golpes ligeros y utilizando el mazo de hule, despegar la base cabeceada del plato.
- Si los cabeceos fallan en satisfacer los requisitos de planicidad o tienen áreas hundidas, remover y volver a elaborar los cabeceos.
- Completar la aplicación de carga en la máquina a compresión.

Figura 4. **Ensayo a compresión cilindro cabeceado con azufre**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

2.1.1. Propiedades del azufre

Este no metal, tiene un color amarillento, amarronado o anaranjado y arde con llama de color azul, desprendiendo dióxido de azufre. Es insoluble en agua pero se disuelve en disulfuro de carbono.

Al fundir el azufre, se obtiene un líquido que fluye con facilidad, formado por moléculas de S_8 , sin embargo, si se calienta, el color se torna marrón y se incrementa la viscosidad. Este comportamiento se debe a la ruptura de los anillos y la formación de largas cadenas de átomos de azufre, que pueden alcanzar varios miles de átomos de longitud, que se enredan entre sí, disminuyendo la fluidez del líquido; el máximo de la viscosidad se alcanza en torno a los 200 grados centígrados. Enfriando rápidamente este líquido viscoso se obtiene una masa elástica, de consistencia similar a la de la goma, denominada: azufre plástico, formada por cadenas que no han tenido tiempo de

reordenarse para formar moléculas de S_8 ; transcurrido cierto tiempo, la masa pierde su elasticidad cristalizando en el sistema rómbico.

Figura 5. **Mortero fundido de azufre**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

2.1.2. Uso

La aplicación industrial más importante del azufre, es la fabricación de compuestos como ácido sulfúrico, sulfitos, sulfatos y dióxido de azufre, todos ellos ya citados. En medicina, el azufre ha cobrado gran relevancia por la extensión del uso de las sulfamidas y su utilización en numerosas pomadas tópicas. Se emplea también para fabricar fósforos, caucho vulcanizado, tintes y pólvora. En forma de polvo finamente dividido y frecuentemente mezclado con cal, el azufre se usa como fungicida para las plantas.

La sal bisulfato de sodio, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, llamada impropiaemente hiposulfito, se emplea en fotografía para el fijado de negativos y positivos. Combinado con diversas láminas de minerales inertes, el azufre constituye un

pegamento especial utilizado para sujetar objetos metálicos a la roca, como en el caso de los rieles o vías de tren y cadenas.

El ácido sulfúrico, es uno de los productos químicos industriales más importantes, pues además de emplearse en la fabricación de productos que contienen azufre sirve también para elaborar una gran cantidad de materiales que no contienen azufre en sí mismos, como el ácido fosfórico. Las industrias también lo utilizan como materias prima para fabricar sustancias para el cuidado de las plantas, ya que es esencial ingrediente proteico; estimula la formación de hojas y el crecimiento vigoroso en la planta; ayuda a mantener el color verde oscuro y también ayuda en el uso de nitrógeno.

El azufre es necesario para disminuir el pH del suelo. El azufre tiende a acidificar el suelo, cuando el azufre elemental se desdobra con el agua. Este proceso llamado oxidación se acelera cuando las temperaturas son altas. Al tener el azufre tantas aplicaciones industriales y de otro tipo, se considera un elemento químico de vital importancia para la realización de diversas actividades, en el mundo de la medicina, química, biología y la industria propia de manufacturación, hoy en día se extrae como cualquier otro mineral, así como el hierro.

Esta práctica describe procedimientos para proveer superficies planas en los extremos de cilindros de concreto endurecido, cuando estos extremos no cumplan con la planicidad y perpendicularidad requeridas en los estándares aplicables. Con una tolerancia de 0,05 milímetros en 100 x 100 milímetros medida por lo menos en 3 direcciones con un ángulo de 45 grados entre sí, perpendicular al eje vertical de la probeta en posición de ensayo. Se tolera una desviación máxima equivalente a una pendiente de 1 milímetro en 200 milímetros.

2.1.3. Norma

Los cilindros para pruebas de aceptación deben tener dimensiones de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto (150 x 300 mm) ó 4 pulgadas de diámetro (confinados) por 8 pulgadas de alto (100 x 200 mm), cuando así se especifique. Las probetas más pequeñas tienden a ser más fáciles de elaborar y manipular en campo y en laboratorio.

El diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto.

El registro de la masa de la probeta antes de cabecearla constituye una valiosa información en caso de desacuerdos, por la masa unitaria.

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con mortero de azufre NTG 41064 (ASTM C-617).

2.1.4. Equipo

El equipo a utilizar debe ser apto para esta práctica, en el cual se describe en la Norma NTG 41064 (ASTM C-617). Se presenta a continuación una descripción del uso que se le da al equipo para la elaboración de esta práctica.

- Bases cabeceadoras, tapas de mortero de azufre, se deben formar en un plato de metal similar o platos de piedra excepto que el área vaciada que recibe el azufre derretido, no debe ser más de $\frac{1}{2}$ (12 mm) pulgada de profundidad. En todos los casos, los platos deben ser al menos 1 pulgada (25 mm) más grandes en diámetro que el espécimen de ensayo

y la superficie de trabajo no debe de variar en el plano en más de 0,002 pulgadas. Las superficies de metal no deben tener hendiduras o rajaduras más grandes que 0,25 milímetros (0,010 pulg) de profundidad o 32 milímetros cuadrados (0,05 pulg.²) de superficie.

Figura 6. **Sistema vertical para cabeceo con azufre**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

- Olla para mortero de azufre derretido debe estar equipada con controles automáticos de temperatura, estar hechas de metal o recubiertas con un material que no sea reactivo con el azufre derretido.

Figura 7. **Recipiente de fusión de azufre**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

- Cucharón de metal o recubierto con un material inerte con el azufre fundido. Su capacidad debe corresponder al volumen de material a emplear en una capa de refrentado.
- Sistema de ventilación, campana con extractor de aire para eliminar los gases de la fusión.

Figura 8. **Campana de extracción de gases**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

2.1.5. Resistencia de cubos de azufre según Norma NTG 41064 (ASTM C-617)

Los morteros de azufre preparados en el laboratorio, se deben dejar endurecer con un mínimo de 2 horas antes de ensayar, con resistencia menos de 35 mega Pascales (5 000 psi). Para resistencia de concreto iguales o mayores de 35 mega Pascales (5 000 psi), se debe dejar endurecer al menos 16 horas antes de ensayar.

Los especímenes de ensayo usando un molde cúbico que cumpla con la Norma NTG 41003 h-4 (ASTM C-109). Las superficies que estarán en contacto con el mortero de azufre deben ser ligeramente cubiertas con aceite mineral y cerca del recipiente para fundir. Se debe llevar la temperatura del mortero de azufre fundido en el recipiente dentro de un rango de 129 grados centígrados a

143 grados centígrados (265 °F a 290 °F) agitarla completamente e iniciar el moldeo de los cubos. Utilizando un cucharón o cualquier otro dispositivo vertedor, llenar rápidamente cada uno de los 3 compartimientos hasta que el material fundido alcance la parte superior del agujero.

Para permitir el tiempo suficiente para alcanzar la máxima contracción, debido al enfriamiento y permitir que escurra la solidificación (aproximadamente 15 minutos) y volver a llenar cada agujero con el material fundido; el segundo llenado ayuda a prevenir la formación de un gran vacío de contracción en el cuerpo del cubo. Sin embargo, tales efectos pueden ocurrir sin importar el cuidado que se tenga, por lo tanto se aconseja inspeccionar la homogeneidad del interior de los cubos de mortero de azufre. Después de almacenar los cubos a temperatura ambiente en el tiempo deseado, pero no menor a 2 horas, ensayar los cubos a compresión siguiendo el procedimiento requerido descrito en la Norma NTG 41003 h-4 (ASTM C-109).

Figura 9. **Ensayo de cubos de azufre**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

A continuación se presenta la tabla (XXII) de ensayos de morteros de azufre a compresión con cubos de 2x2x2 pulgadas, estos siendo reusados 5 veces con un número de cocidas de 4 veces, con el fin de comparar un mortero limpio sin usar.

Tabla XXII. **Resultados de resistencia a compresión de cubos de azufre**

Resistencia de morteros de azufre (kg)				
No.	Azufre limpio	Promedio	Azufre sucio	Promedio
1	3920	4283	3780	4003
2	4800		4040	
3	4130		4190	

Fuente: elaboración propia.

2.2. Cabeceo utilizando almohadillas de neopreno

Esta práctica cubre los requisitos para un sistema de cabeceo usando tapas no adheridas para el ensayo de cilindros de concreto moldeados de acuerdo con la práctica NTG-41060 (ASTM C31/ C31M) o NTG 41061 (ASTM C192/192M).

Está permitido el uso de tapas de neopreno no adheridas de una dureza definida, para un número máximo especificado de reusos, sin efectuar un ensayo de calificación para un determinado nivel de esfuerzo de compresión. Arriba de este nivel, las tapas de neopreno requieren de un ensayo de calificación.

A continuación se presenta el procedimiento de cabeceo utilizando almohadillas no adheridas de neopreno según la Norma NTG 41067 (ASTM C-1231).

- Las almohadillas no adheridas se pueden utilizar en uno o ambos extremos de un cilindro de una tapa o tapas que cumplan.
- Se debe de examinar ambos lados de las almohadillas de neopreno por uso excesivo o daño. Reemplazar las almohadillas que tengan grietas o roturas en su superficie superior o inferior, que excedan 10 milímetros (3/8 plg) de longitud, no importando su profundidad.
- Insertar las almohadillas de neopreno en los platos retenedores antes de colocar el cilindro.
- Centrar la tapa o tapas no adheridas en el cilindro y colocar el cilindro sobre el bloque de carga inferior de la máquina de ensayo.
- Ligeramente se alinea el eje del cilindro con el centro de carga de la máquina de ensayo, centrado el anillo retenedor superior en el cabezal esférico articulado.
- Después de la aplicación de la carga, pero antes de alcanzar 10 por ciento de la resistencia del espécimen, revise que el eje del cilindro esta vertical dentro de una tolerancia de 1/8 pulgada en 12 pulgada (3,2 mm en 300 mm) y que los extremos del cilindro están centrados dentro de los anillos retenedores.

- Completar la aplicación de la carga y reporte los resultados de acuerdo con el método de ensayo NTG 41017 (ASTM C 39/C 39M).

Figura 10. **Ensayo a compresión cilindro cabeceado con neopreno**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

2.2.1. Propiedades del neopreno

El hule neopreno, alta especificación en dureza Shore A 60-70, lleva como fórmula Polímero de Cloropreno, el cual es un elastómero 100 por ciento de neopreno de máxima calidad, útil para elaborar todo tipo de empaques para bridas y empaques que requieran las propiedades de resistencia a productos químicos, grasas, aceites y altas temperaturas, que son características propias del hule neopreno.

El hule neopreno, es propiedad de la marca Dupont, la cual fue el primer hule sintético producido a escala industrial, en base a su elasticidad lo hace muy difícil a la ruptura. Sus principales características, es que resiste la

degradación a causa del sol, ozono y el clima. Así también presenta resistencia a solventes y agentes químicos, es resistente a la flexión, compresión y a la torsión.

- Propiedades típicas del neopreno
 - Dureza Shore A de 50-70
 - Límite de resistencia a la tracción de 11 MPa
 - Porcentaje de elongación a la ruptura del 350%
 - Resistencia a la temperatura máxima continua: 105 °C

2.2.2. Uso

El neopreno fue desarrollado en 1931 y es resistente al calor y a productos químicos como aceites y petróleo. Se emplea en tuberías de conducción de petróleo y como aislante para cables y maquinaria, posee características tan similares a las del caucho natural, que puede incluso cumplir las mismas funciones. Además de comportarse como tal, el neopreno es aún más resistente a la luz del sol, a los aceites y a las grasas que el mismo caucho.

Es utilizado también en el recubrimiento de cables fuertes y de alta dureza, en adhesivos acuosos y en solventes. También se usa en recubrimientos de láminas de aluminio (y superficies flexibles), llantas de automóvil, corchos. El neopreno es útil para adhesivos sensibles a la presión, además es útil para la construcción de estructuras, para autos y partes internas de automóviles. En automóviles se usa también para sistemas de insonorización y control de vibración.

Uno de los usos más importantes que se le da al neopreno, tiene relación con la fabricación de trajes de buceo, los que son hechos con espuma de neopreno. Esta espuma posee una elevada concentración de células llenas de gas lo que le permite tener una baja conductividad térmica. Ya se cuenta con diferentes tipos de este material entre los que se destaca el neopreno industrial que se utiliza, sobre todo, en la fabricación de ruedas. Por otra parte, existe el neopreno celular, que como ya se ha mencionado, se trata de aquel utilizado para los trajes húmedos.

Otro uso que se le puede dar, son las almohadillas de neopreno que pueden ser usadas para medir la resistencia del concreto entre 10 a 50 mega Pascales y mayores de hasta 84 mega Pascales se permite el uso de almohadillas de neopreno siempre y cuando hayan sido calificadas por pruebas de ensayos de cilindros según la Norma NTG-41067 y los requerimientos de dureza en durómetro para las almohadillas de neopreno. Si las almohadillas de neopreno presentan figuras que excedan en más de 10 milímetros en su longitud, estos deberán ser reemplazados, además posee la característica de absorber y transmitir la carga aplicada uniformemente.

2.2.3. Norma

Este método de cabeceo, usa una almohadilla de neopreno en forma de disco, con 13 ± 2 milímetros ($1/2 \pm 1/16$) de espesor, que es aproximadamente el diámetro del espécimen. Se coloca la almohadilla en un retenedor cilíndrico de acero con una cavidad de aproximadamente 25 milímetros (1 pulg) de profundidad y un poco menor que el diámetro de la almohadilla.

El registro de la masa de la probeta antes de cabecearla constituye una valiosa información, en caso de desacuerdos. Con el fin de conseguir una

distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con almohadillas de neopreno NTG 41067 (ASTM C-1231), no se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.

El diámetro del cilindro se debe medir en 2 sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los 2 diámetros medidos difieren en más de 2 por ciento, no se debe someter a prueba el cilindro. Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más 0,5 por ciento los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0,002 pulgada (0,05 mm).

2.2.4. Equipo

El equipo necesario para producir que los extremos de cilindros de referencia deben estar conforme a los requerimientos de planicidad del método de ensayo NTG 41017 h1 (ASTM C 39/C 39M).

- Anillos de retención: deben ser fabricados de metal o un material durable que permita reutilizarlos sin deformaciones, además debe estar provisto de una concavidad de 2 veces el espesor de la almohadilla. El diámetro de los anillos de retención no debe ser menor al 102 por ciento o mayor al 107 por ciento del diámetro del cilindro.
- Almohadillas elastoméricas: de un espesor 13 ± 2 milímetros ($1/2 \pm 1/16$ pulg) y un diámetro no menor en más de 2 milímetros ($1/16$ pulg) al diámetro interior del anillo de retención. Se debe mantener un registro indicando la fecha en que la almohadilla es puesta en servicio, la dureza

y el número de usos permitidos. Las almohadillas podrán ser usadas en una o ambas caras del espécimen.

Figura 11. **Bases cabeceadoras no adheridas de neopreno**



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

2.2.5. Dureza

Las almohadillas deben ser hechas de policloropreno (neopreno) que cumpla con la tolerancia de dureza Shore A 50 a 70 en el rango de resistencia a compresión (2 500 a 7 000 psi) que provee la clasificación D 2000 mencionada.

Tabla XXIII. **Dureza de las almohadillas de neopreno**

Dureza Shore A	Designación de la clasificación D 2 000
50	M2BC 514
60	M2BC 614
70	M2BC 714

Fuente: Norma ASTM C 1231.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS MECÁNICOS, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS

3.1. Análisis mecánico

En la presente investigación, se realizaron cilindros de prueba, basados en especificaciones de la Norma NTG 41061 (ASTM C-31) para determinar propiedades mecánicas del concreto como la resistencia a la compresión.

Los especímenes se ensayaron a edades de 3, 7 y 28 días, según Norma NTG 41017 h-1 (ASTM C-39), se utilizaron almohadillas o placas de neopreno según especificaciones de la Norma NTG 41067 (ASTM C-1231) y morteros de azufre basados la Norma NTG 41064 (ASTM C-617).

3.1.1. Resultados de resistencia a compresión

Los resultados de las pruebas se ven influenciados considerablemente por la condiciones de las caras de los cilindros. Para el ensayo de resistencia a compresión, los especímenes se deben pulir o cabecear de acuerdo con los requisitos de la Norma NTG 41064 (ASTM C-617), IRAM 1553, UNIT-NM 77 o NTG 41067 (ASTM C-1231) y IRAM1709. Varios materiales están comercialmente disponibles para el cabeceo (refrentado) de las probetas para la prueba de resistencia a compresión.

3.1.1.1. Con azufre

La Norma NTG 41064 (ASTM C-617) presenta métodos de cabeceo con el uso de mortero de azufre. Se debe permitir que el cabeceo se endurezca, por lo menos 2 horas antes del ensayo.

El ensayo se debe realizar en una máquina de compresión calibrada, a una velocidad de 30 a 40 libras por pulgada cuadrada (1,4 a 3,5 kg/ cm²) por segundo, las superficies de apoyo deben de estar planas y limpias, y el cilindro debe estar centrado con los cabezales. Los cilindros se nivelaron con mortero especial de azufre NTG 41064 (ASTM C-617).

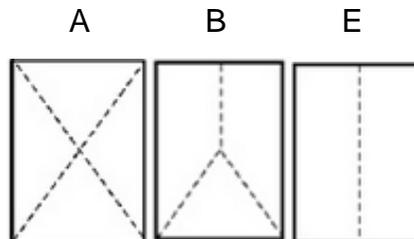
Los resultados obtenidos al ensayar los especímenes cilíndricos a compresión del concreto premezclado por medio de mortero de azufre, brindaron datos típicos que cumplieron con el f'_c del premezclado, a continuación se presenta una tabla resumen para cada tipo de concreto ensayado utilizando este método de nivelación.

Tabla XXIV. **Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de azufre de 3 000 psi**

Resistencia del concreto f'c 3 000 psi azufre					
Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Resistencia lb/plg ²	Promedio	Tipo de fractura
3	12,68	15,14	3 476	3 036	E
3	12,72	15,12	3 058		E
3	12,62	15,27	2 441		E
3	12,81	15,03	3 167		B
7	12,86	15,26	3 074	3 402	B
7	12,94	15,11	3 663		E
7	12,92	15,12	4 010		B
7	12,87	15,13	2 861		A
28	12,83	15,19	4 593	4 102	E
28	13,57	15,40	4 189		E
28	12,92	15,17	3 899		E
28	12,86	15,16	3 728		E

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Tipos de fracturas de los cilindros de azufre de 3 000 psi**



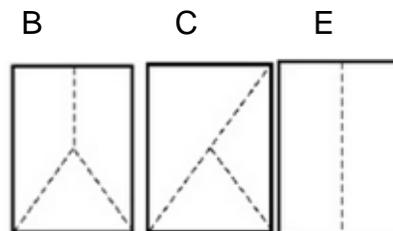
Fuente: Norma NTG 41017 h-1 (ASTM C-39).

Tabla XXV. **Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de azufre de 4 000 psi**

Resistencia del concreto f'c 4 000 psi azufre					
Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Resistencia lb/plg ²	Promedio	Tipo de fractura
3	13,07	15,16	3 080	3 061	B
3	12,88	15,21	3 060		B
3	13,54	15,37	2 669		B
3	13,02	15,11	3 436		C
7	13,07	15,38	3 385	3 731	E
7	13,00	15,11	3 839		E
7	12,96	15,20	3 919		E
7	12,90	15,20	3 779		E
28	13,06	15,31	4 700	4 472	E
28	12,99	15,15	4 276		E
28	13,02	15,30	4 755		E
28	13,07	15,52	4 158		E

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Tipos de fracturas de los cilindros de azufre de 4 000 psi**



Fuente: NTG 41017 h-1 (ASTM C-39).

3.1.1.2. Con neopreno

Si se necesitan resultados rápidos, la Norma NTG 41067 (ASTM C-1231), describe el uso de las almohadillas de neopreno sin adherencia o unión con las extremidades de los especímenes.

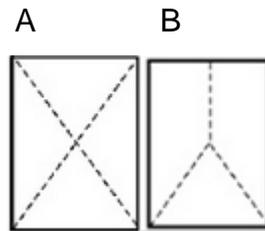
A continuación se presenta una tabla resumen para cada tipo de concreto premezclado ensayado, utilizando este método de nivelación.

Tabla XXVI. **Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de neopreno de 3 000 psi**

Resistencia del concreto f'c 3 000 psi neopreno					
Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Resistencia lb/plg ²	Promedio	Tipo de fractura
3	12,82	15,14	2 321	2 584	B
3	12,78	15,17	3 146		B
3	12,74	15,20	2 374		B
3	12,78	15,15	2 495		B
<hr/>					
7	12,92	15,20	3 865	3 824	B
7	12,83	15,20	4 002		B
7	12,94	15,17	3 550		B
7	12,88	15,21	3 879		B
<hr/>					
28	12,86	15,14	3 738	4 160	B
28	12,94	15,12	3 925		B
28	12,91	15,23	3 952		A
28	12,96	15,08	5 026		B

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Tipos de fracturas de los cilindros de neopreno de 3 000 psi



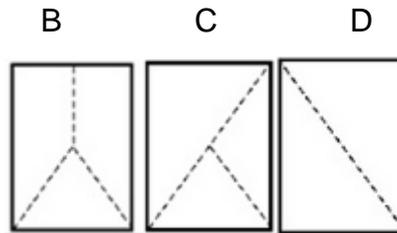
Fuente: NTG 41017 h-1 (ASTM C-39).

Tabla XXVII. Resultados de ensayos a compresión con cabeceo de neopreno 4 000 psi

Resistencia del concreto f'c 4 000 psi neopreno					
Edad en días	Peso en kg	Diámetro en cm	Resistencia lb/plg ²	Promedio	Tipo de fractura
3	12,95	15,07	3 277	2 959	B
3	13,02	15,16	2 741		B
3	12,88	15,24	2 741		B
3	12,95	15,25	3 078		C
<hr/>					
7	12,98	15,28	3 842	3 720	D
7	13,04	15,22	3 839		D
7	13,05	15,29	3 612		D
7	12,98	15,16	3 589		D
<hr/>					
28	12,97	15,24	4 583	4765	C
28	13,08	15,67	4 653		C
28	12,97	15,42	4 876		C
28	12,98	15,33	4 949		C

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Tipos de fracturas de los cilindros de neopreno de 4 000 psi



Fuente: NTG 41017 h-1 (ASTM C-39).

3.2. Análisis ambiental

El azufre puede encontrarse en el aire en varias formas diferentes; puede provocar irritaciones en los ojos, daños severos, además de prevalecer durante varios días en el ambiente, todo depende del contacto que se halla hecho con el azufre; provoca tos al ser inhalado. El azufre se aplica ampliamente y es emitido al aire, debido a las limitadas posibilidades de destrucción de los enlaces del azufre.

En base a los resultados obtenidos al nivelar los especímenes cilíndricos de concreto, se obtuvo mejoras considerables en la práctica de nivelación, al utilizar tapaderas de azufre versus el uso de neopreno, ya que con ello se reduce la contaminación ambiental.

3.2.1. Ahorro energético

Ahorrar energía no es sólo ayudar a mejorar y proteger el medio ambiente, también ahorrando energía se ayuda a mejorar la economía, se puede ahorrar energía utilizando el método de almohadillas de neopreno ya que al utilizar la práctica del cabeceo de cilindros de azufre, este material se debe someter a

altas temperaturas en una olla para obtener una consistencia líquida que sea apropiada, llevando a una temperatura de (130 a 145 °C). Para lograr esta consistencia la olla debe estar conectada 2 horas, consumiendo energía eléctrica.

3.2.2. Emisión de vapor o gases

Los vapores contaminan el medio ambiente, por los gases tóxicos que emite el mortero de azufre y cada vez que vuelve a pasar el proceso de derretirse, emite gases más concentrados, el cual produce una contaminación más densa, son dañinos a la salud de las personas que ejercen esta actividad. El gas es incoloro y tiene un notorio olor a huevos podridos; sin embargo, el olor no debe ser tomado como una señal de prevención, ya que la sensibilidad al olor desaparece rápidamente en la exposición.

Las altas concentraciones son letales y concentraciones menores pueden provocar náusea, dolores estomacales, mareos, dolor de cabeza o irritación de los ojos. Por esta razón la olla de derretimiento debe ser colocada bajo una campana con un extractor de olores y el área de cabeceo debe estar bien ventilada.

3.2.3. Capacidad de uso del azufre

Para obtener resultados satisfactorios este material se debe diluir no más de 5 veces para disminuir al mínimo la pérdida de resistencia y fluidez ocasionada por la contaminación del mortero con aceite o con desperdicios de materia orgánica como parafina y pérdidas de azufre a través de la volatilización. El número de usos debe ser demostrado con base en la

resistencia obtenida del ensayo de los cubos de mortero de azufre y que se cumple con lo indicado.

3.2.4. Capacidad de uso del neopreno

Las tapas de neopreno deben cumplir los requisitos de la clasificación D 2000 con una dureza Shore A 50 a 70, el usuario debe estar en constante revisión de la fecha en que se colocó al servicio la almohadilla de neopreno con un máximo de reúsos de 100 veces, en el cual debe estar en constante revisión del mismo.

3.2.5. Manejos de desechos

El manejo de desechos sólidos, es la gestión de los residuos, la recolección, el transporte, tratamiento, reciclado y eliminación de los materiales de desecho.

El término generalmente se refiere a los materiales producidos por la actividad humana, y, en general, para reducir sus efectos sobre la salud y el medio ambiente. La gestión de los desechos, es también llevada a cabo para recuperar los propios recursos de dichos residuos. La gestión de los desechos puede implicar tanto estados sólidos, líquidos, gases o sustancias radiactivas, con diferentes métodos y técnicas especializadas para cada uno.

En 1975, aparece la ley sobre la eliminación de residuos, dicha legislación se modifica en 1992, junto con la integración de 4 grandes objetivos:

- Prevenir o reducir la producción y residuos peligrosos, incluidos los que afectan a la fabricación y distribución de productos.

- Organizar el transporte de residuos y limitar la distancia y el volumen.
- La recuperación de los residuos mediante la reutilización, el reciclado con el fin de obtener los residuos materiales reutilizables o su energía.
- Mantener informado al público acerca de los efectos nocivos sobre el medio ambiente, la salud pública en la producción y eliminación de desechos, con sujeción a las normas de confidencialidad establecidas por la ley, así como las medidas para prevenir o compensar los efectos negativos.
- Los vertederos de desechos sólidos

Poner un vertedero de desechos, ha sido durante mucho tiempo un punto de vista práctico y barato. Las desventajas de los vertederos son las molestias para el vecindario, los riesgos de filtraciones en el suelo.

Además, condenan grandes áreas que, incluso después del cierre del sitio y del relleno posterior, no son aptos para muchas actividades. Los residuos enterrados siguen deteriorándose durante muchos años, la producción de lixiviados y de gas (metano) tienen que ser evacuados y tratados por períodos de hasta varias décadas.

Muchas son las limitaciones técnicas que son impuestas sobre el funcionamiento de estos sitios: el suelo (lo más impermeable posible), la protección de los recursos hídricos, el establecimiento de geomembranas (prevención de la posible infiltración), tratamiento de efluentes.

Con demasiada frecuencia, personas sin escrúpulos vierten sus residuos en la naturaleza salvajemente. La mayoría de las veces en lugares aislados: los bosques, islas y otros.

La incineración, es una técnica de destrucción por fuego. La incineración es criticada por causa de las dióxinas cancerígenas producidas por la combustión. Con el fin de controlar la cuantía de las dióxinas, una norma se aplica sobre todos los incineradores, la fijación de un filtro capaz de limitar las emisiones de dióxinas. La incineración de residuos también provoca la expulsión de dióxido de carbono. Este gas de efecto invernadero contribuye al calentamiento global.

La falta de conocimientos actuales sobre los efectos de las incineradoras sobre la salud humana, viene causada porque las incineradoras son a menudo rechazadas por sus vecinos. La incineración es criticada porque requiere una cantidad de combustible que podría ser utilizada para mejores utilidades.

Las escorias, que son los residuos sólidos procedentes de la incineración de residuos, suponen el 25 por ciento de las cantidades que emergen en forma de desecho. Se trata de mezclas de metales, vidrio, sílice, alúmina, piedra caliza, cal, productos inquemados y agua. Todos estos desechos son ordenados y separados por un imán y por las famosas corrientes de Foucault para eliminar los diversos metales que pueden ser reciclados. Dependiendo de su calidad y estabilidad, el resto de la escoria se almacena en vertederos o se utiliza como relleno para carreteras.

El manejo inadecuado de los desechos sólidos, es uno de los problemas serios que enfrenta Guatemala. El problema se agrava por la deficiente

recolección, el inadecuado destino final, la poca disposición de pago por el servicio y el poco conocimiento y aplicación de la separación de basura.

Los cilindros de concretos ya ensayados, son desechados como si fuera ripio, el azufre es desechado después de darle el debido reuso, mientras que las almohadillas de neopreno se pueden reusar un máximo de 100 veces y luego es depositado en vertederos no controlados que en algún momento es contaminado el suelo.

3.3. Análisis económico

El análisis económico estudia la estructura, evolución de los resultados y la rentabilidad de los capitales utilizados. Las cuestiones que comprende el análisis económico son:

- La productividad, que viene determinada por el grado de eficiencia, tanto cualitativa como cuantitativa, del equipo productivo en la obtención de un determinado volumen y calidad del producto.
- La rentabilidad externa, la cual trata de medir el mayor o menor rendimiento de los capitales invertidos.
- El examen de la cuenta de resultados, analizando sus distintos componentes, tanto en la vertiente del costo a utilizar.

3.3.1. Costo del uso de azufre

El costo del uso del azufre, es un poco más elevado, ya que con ello se debe contar con un equipo que lo establezca la Norma NTG 41064 (ASTM C-617).

Tabla XXVIII. Cabeceo adherido de azufre

Cabeceo adherido tradicional				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNI	PRE. TOTAL
1	1	Saco de azufre en hojuelas (50 lbs)	870,00	870,00
3	1	Cabeceador para cilindros de 6X12"	3 950,00	3 950,00
5	1	cucharon	150,00	150,00
6	1	Galón de aceite mineral	75,00	75,00
7	1	Brocha	25,00	25,00
		PRECIO EN QUETZALES	5 070,00	5 070,00

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.1. Energía

Usar eficientemente la energía, significa no emplearla en actividades innecesarias y conseguir hacer las tareas con el mínimo consumo de energía posible. Desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía, es lo más importante para lograr un auténtico desarrollo, que se pueda

llamar sostenible. Por ejemplo una olla eléctrica cuando está funcionando genera un consumo de energía eléctrica en función de la potencia que tenga y del tiempo que estén en funcionamiento para diluir el mortero. A continuación se presenta un estimado del consumo de energía eléctrica del equipo utilizado:

- Potencia eléctrica (W) = Voltaje (V) X Corriente eléctrica (A)
 - Potencia eléctrica en Vatios (W)
 - Voltaje en voltios (V)
 - Corriente eléctrica en amperios (A)

- Energía Eléctrica= Potencia Eléctrica (W) X tiempo de uso en horas (h)
 - Energía Eléctrica (Watts por hora)= Wh

Tabla XXIX. **Consumo de energía eléctrica**

Consumo de energía			
Descripción	Potencia (wh)	Energía (kwh/ mes)	Costo en quetzales
Olla de fusión de azufre	880	17,60	33,40
Máquina de compresión de cilindros	5 500	110	208,25
Campana de extracción de gases	1 500	30	56,80
Costo total (IVA + tasa municipal)			362,29

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.2. Equipo mecánico

Se utiliza una olla para derretir los morteros de azufre, el cual debe tener su controlador de temperatura y deben estar hechas de metal o cubiertas con un material que no reaccione con azufre fundido. Sistema de ventilación para extracción de gases.

Tabla XXX. **Equipo mecánico para el sistema de azufre**

Cabeceo adherido tradicional				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNI	PRE. TOTAL
1	1	Olla para calentar azufre 4 Qt, 110V 50/60Hz	7 500,00	7 500,00
2	1	Campana de extracción de gases	4 920,00	4 920,00
		PRECIO EN QUETZALES	12 420,00	12 420,00

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.3. Equipo de seguridad

Se debe utilizar mascarillas con filtro de olores para evitar en un porcentaje el daño respiratorio, guantes para protección, evitando riegos de quemadura, bata, lentes, zapatos industriales y casco.

Tabla XXXI. **Equipo de seguridad para el cabeceo de azufre**

Equipo de seguridad cabeceo de azufre				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNI	PRE. TOTAL
1	1	Bata	100,00	100,00
3	1	Lentes	50,00	50,00
5	1	Casco	55,00	55,00
6	1	Guantes	62,00	62,00
7	1	Mascarilla	110,00	110,00
		PRECIO EN QUETZALES	377,00	377,00

Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Costo del uso de neopreno

El costo del uso del neopreno, es un poco menos elevado, ya que con ello se debe contar con un equipo menos sofisticado que lo establezca la Norma NTG 41067 (ASTM C-1231).

3.3.2.1. Costo de almohadillas

El costo de las almohadillas de neopreno es solamente de un juego de 2 unidades el cual tiene que ser removida a cada máximo de 100 reusos media vez cumpla dentro de las especificaciones estipuladas de dureza shore A .

Tabla XXXII. **Costo de almohadillas de neopreno**

Cabeceo no adherido de neopreno				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNI	PRE. TOTAL
1	1	Juego de neopreno D60 (2 unidades)	250,00	250,00
		PRECIO EN QUETZALES	250,00	250,00

Fuente: elaboración propia.

3.3.2.2. **Costo de retenedores**

Los platos retenedores tienen que ser de metal de resistencia adecuada para usos repetidos. Tomando en cuenta que es una inversión inicial a largo plazo.

Tabla XXXIII. **Costo de retenedores de neopreno**

Cabeceo no adherido de neopreno				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNI	PRE. TOTAL
1	1	Retenedores de metal para neopreno	2 540,00	2 540,00
		PRECIO EN QUETZALES	2 540,00	2 540,00

Fuente: elaboración propia.

3.3.2.3. Equipo de seguridad

Las personas que trabajan con este tipo de ensayos el equipo de seguridad del neopreno que se utiliza es: mascarilla, bata, lentes, zapatos industriales y casco.

Tabla XXXIV. **Equipo de seguridad para el cabeceo de neopreno**

Equipo de seguridad cabeceo de neopreno				
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRE. UNI	PRE. TOTAL
1	1	Bata	100,00	100,00
3	1	Lentes	50,00	50,00
5	1	Casco	55,00	55,00
6	1	Guantes	62,00	62,00
7	1	Mascarilla	57,00	57,00
		PRECIO EN QUETZALES	324,00	324,00

Fuente: elaboración propia.

4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA CADA SISTEMA

En cada sistema, se colocará cada ventaja y desventaja según la norma de tapas adheridas de azufre NTG 41064 (ASTM C-617) y con almohadillas de neopreno NTG 41067 (ASTM C-1231).

4.1. Ventajas y desventajas mecánicas

Las ventajas y desventajas mecánicas dependen de la ejecución de los métodos a ensayar, debido de que el equipo a utilizar debe tener mantenimiento para una larga duración de los mismos.

- Ventajas del azufre
 - En este sistema de colocación del azufre al cilindro, hay una mejor distribución de sellado, ya que este mortero es colocado al espécimen y al aplicar la carga tiene una falla columnar.

- Desventaja del azufre
 - Con forme al uso hay que elaborar pruebas de cubos de azufre (2x2x2 pulg) para obtener la debida dureza del cubo de azufre ya que este soporta cierta cantidad de carga y que esta no afecte al resultado.

 - Al aplicar la carga esta debe quedar uniforme al cilindro con un grosor de 3 milímetros para no tener resultados indeseables.

- Los cilindros deben de estar bien nivelados para la colocación de los sellos no adheridos de neopreno; sino tendrán que ser cortados para tener una mejor distribución de la carga.
- Ventaja de almohadillas no adheridas de neopreno
 - Las almohadillas de neopreno se utilizan como un método alternativo y eficaz en los ensayos de compresión de cilindros de concreto.
 - Se limita a la simple instalación de los platos retenedores siempre que cumplan con los requisitos de tolerancia indicados anteriormente.
- Desventajas de almohadillas no adheridas de neopreno
 - En el neopreno se debe tener un debido control con el uso de las almohadillas, ya que estas deben estar en constante corrección de dureza.
 - Al aplicar la carga al cilindro ya centrado en la máquina, la superficie del cilindro estalla en las orillas de arriba y de abajo por eso deben ser cargados hasta completar la ruptura y dé su última resistencia.
 - Las probetas de concreto ensayadas con placas de elastómeros rompen más violentamente, comparativamente, que las probetas con sus bases preparadas en forma tradicional.

- Los cilindros deben estar bien nivelados para la colocación de los sellos no adheridos de neopreno; sino tendrán que ser cortados para tener una mejor distribución de la carga.
- Se debe hacer un servicio de mantenimiento mecánico y calibración a la máquina de ensayos a compresión por la forma violenta de falla.

4.2. Ventajas y desventajas ambientales

Las ventajas y desventajas ambientales son necesarias considerarlas en cuenta porque del ambiente dependemos mucho para tener una vida saludable, por este motivo y otros debemos evitar lo posible la contaminación ambiental.

- Ventaja del azufre
 - Ninguna.
- Desventajas del azufre.
 - Con el método de azufre las desventajas ambientales se presentan particularmente durante el procedimiento de fundición, es en este preciso instante donde la mezcla se vuelve particularmente dañina y peligrosa.
 - La mezcla puede inflamarse por sobrecalentamiento, provocando daños al personal y equipo, además desprende gases resultantes de la fusión de los materiales, el cual genera síntomas en las personas y contaminación ambiental.

- Ventajas de almohadillas no adheridas de neopreno
 - El sistema es más rápido, limpio e inodoro que los métodos de sellado por adherencia. Este método no daña la salud de la persona ni del medio ambiente cuando se está utilizando.

- Desventaja de almohadillas no adheridas de neopreno
 - Se pierde el reciclaje de los cilindros en senderos, jardineras y otros.

4.3. Ventajas y desventajas económicas

Se analizaron los 2 sistemas de nivelación y se obtuvo que el saco de azufre rinde para ensayos que las almohadillas de neopreno. Según datos de la tabla se puede observar la diferencia y rentabilidad de costos con los 2 métodos de nivelación, considerando la inversión de accesorios en la nivelación con azufre y los insumos de los mismos.

Tabla XXXV. **Costos comparativos de los 2 sistemas de nivelación**

Costos comparativos de la inversión inicial			
Método de neopreno	Costo inicial del neopreno	Método de azufre	Costo inicial del azufre
Almohadillas	250,00	Cabeceo	5 070,00
Retenedores	2 540,00	Energía	362,29
Equipo de seguridad	324,00	Equipo mecánico	12 420,00
Total inicial en quetzales	3 114,00	Equipo de seguridad	377,00
			18 229,29

Fuente: elaboración propia.

- Ventaja del azufre
 - El saco de azufre es más económico, rinde más, ya que este se puede reutilizar no más de 5 veces, nivelando aproximadamente 580 cilindros estándar (6" de diámetro, 12" de altura) con reutilización indicada.

- Desventaja del azufre
 - Hay que tomar en cuenta que es necesario tener campana para extracción de olores, olla de derretimiento y consumir cierta cantidad de energía, considerando que es una inversión inicial y que con el debido mantenimiento y uso correcto, será una inversión a largo plazo.

- Ventaja de almohadilla no adherida de neopreno
 - Es menos costoso el uso de tapa no adherida de neopreno, porque no es necesario consumir energía eléctrica ni utilizar el extractor de olores por lo que no contamina el medio ambiente.

- Desventaja de almohadilla no adherida de neopreno
 - Se necesita inversión de mantenimiento de calibración y mecánica de la máquina hidráulica para los ensayos a compresión.

4.4. Gráficas y tablas resumen

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de los cilindros de concreto ensayados a nivel laboratorio, tanto al utilizar el método de nivelación de azufre de la Norma NTG 41064 (ASTM C-617) como almohadillas no adheridas de neopreno la Norma NTG 41067 (ASTM C-1231) se muestran a continuación:

Tabla XXXVI. **Resultados de ensayos cilindros de concreto de f'c 3000 psi**

Resultados de ensayos de especímenes cilindricos de concreto f'c 3 000 psi					
No. Cilindros	Edad en días	Método de Nivelación	Resistencia lb/plg²	Promedio	Tipo de fractura
1	3	Neopreno	2 321	2 584	B
2			3 146		B
3			2 374		B
4			2 495		B
5	3	Azufre	3 476	3 036	E
6			3 058		E
7			2 441		E
8			3 167		B
9	7	Neopreno	3 865	3 824	B
10			4 002		B
11			3 550		B
12			3 879		B
13	7	Azufre	3 074	3 402	B
14			3 663		E
15			4 010		B
16			2 861		A
17	28	Neopreno	3 738	4 160	B
18			3 925		B
19			3 952		A
20			5 026		B
21	28	Azufre	4 593	4 102	E
22			4 189		E
23			3 899		E
24			3 728		E

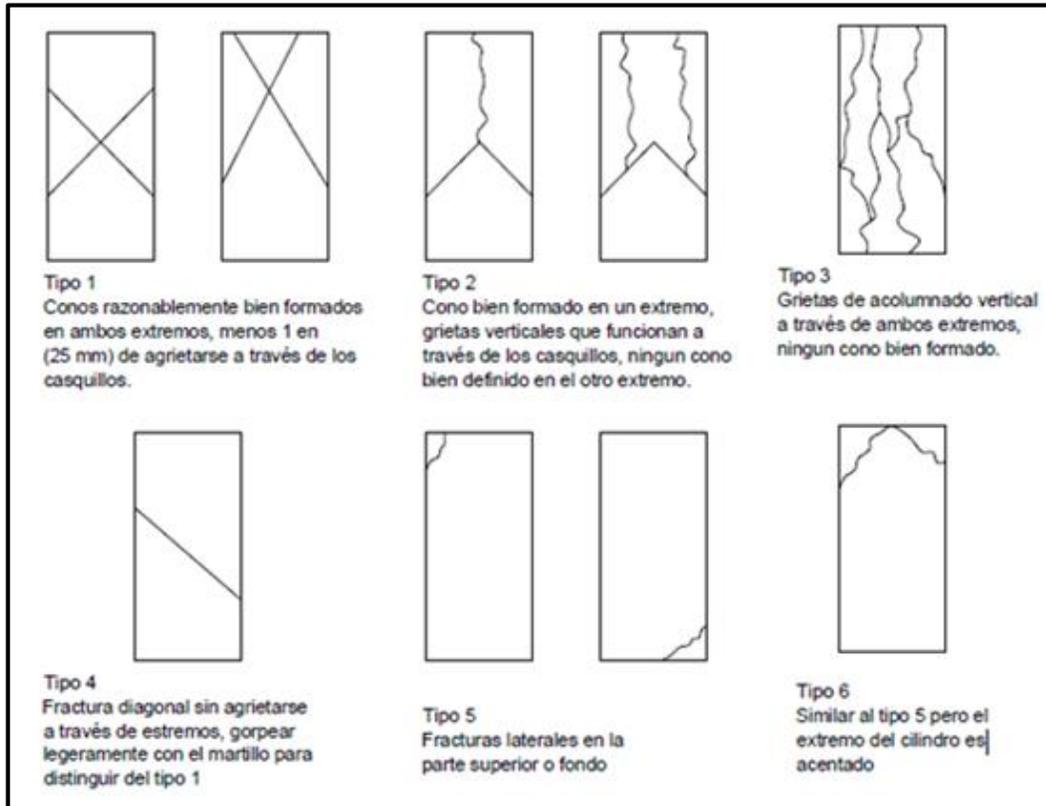
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resultados de ensayos cilindros de concreto de f'c 4000 psi**

Resultados de ensayos de especímenes cilindricos de concreto f'c 4 000 psi					
No. Cilindros	Edad en días	Método de Nivelación	Resistencia lb/plg²	Promedio	Tipo de fractura
1	3	Neopreno	3 277	2 959	B
2			2 741		B
3			2 741		B
4			3 078		C
5	3	Azufre	3 080	3 061	B
6			3 060		B
7			2 669		B
8			3 436		C
9	7	Neopreno	3 842	3 720	D
10			3 839		D
11			3 612		D
12			3 589		D
13	7	Azufre	3 385	3 731	E
14			3 839		E
15			3 919		E
16			3 779		E
17	28	Neopreno	4 583	4 765	C
18			4 653		C
19			4 876		C
20			4 949		C
21	28	Azufre	4 700	4 472	E
22			4 276		E
23			4 755		E
24			4 158		E

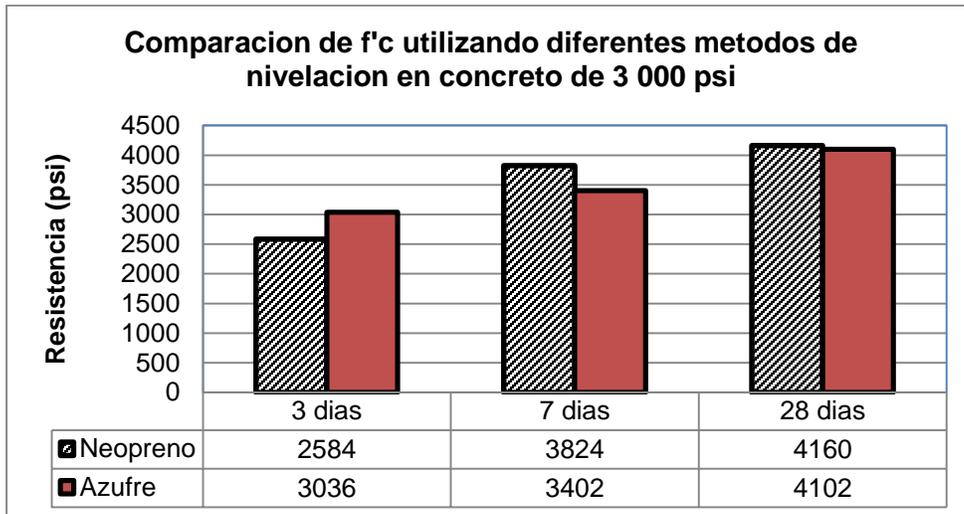
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Bosquejo de tipos de fracturas**



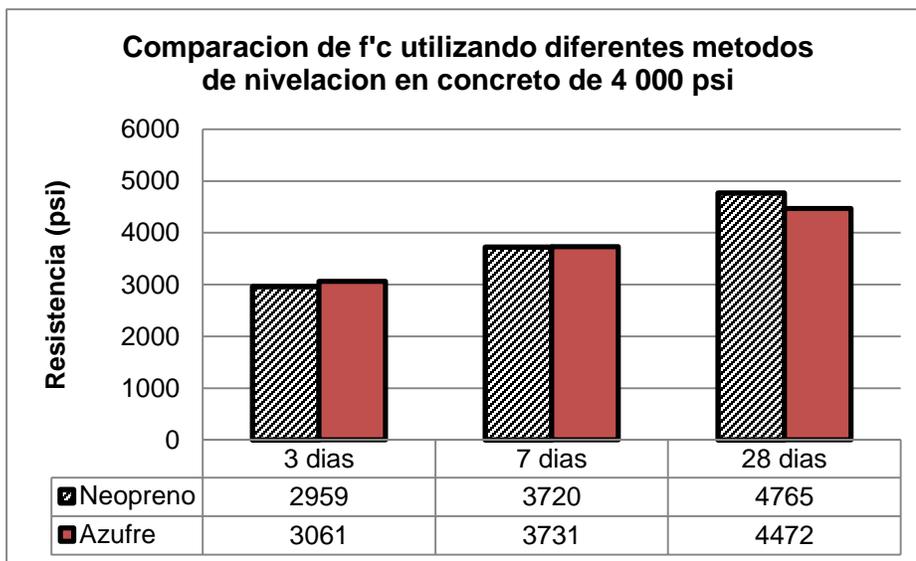
Fuente: Norma ASTM C 39.

Figura 17. **Gráfica de resistencia a compresión de 3 000 psi**



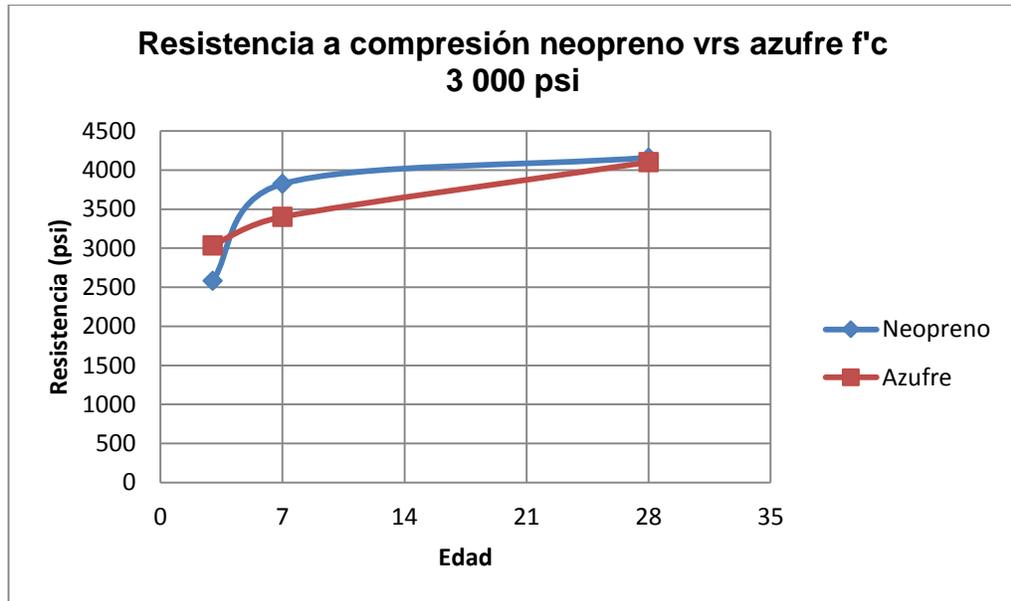
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Gráfica de resistencia a compresión de 4 000 psi**



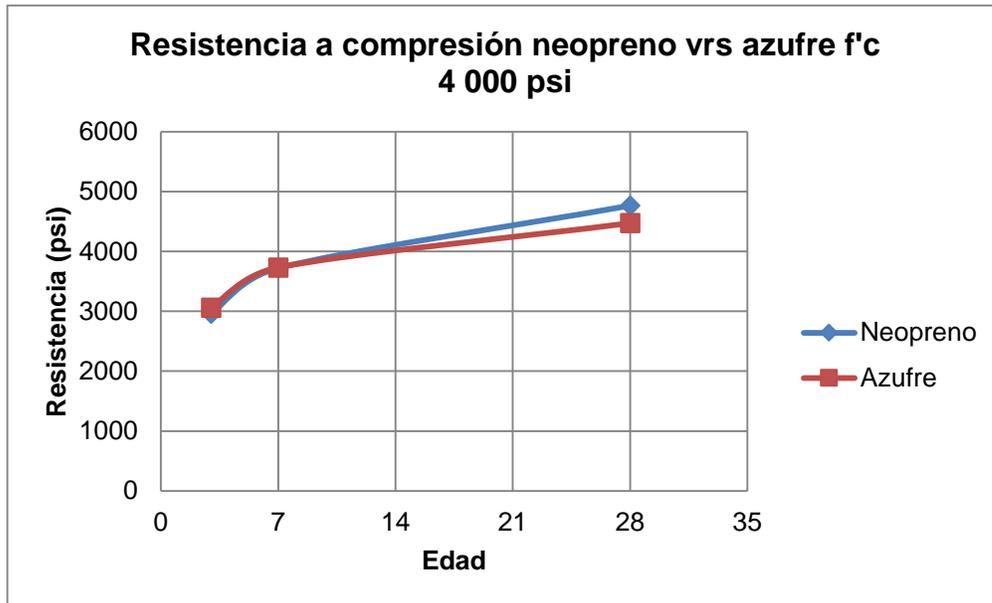
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Gráfica neopreno versus azufre de 3 000 psi



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Gráfica neopreno versus azufre de 4 000 psi**



Fuente: elaboración propia

Como puede observarse, las gráficas comparativas de los 2 sistemas de nivelación de neopreno y azufre, se obtiene una diferencia de $f'c$, que se observa a la primera edad (3 días), sin embargo, al utilizar neopreno se puede determinar que $f'c$ aumenta, en la siguientes edades (7y 28 días) alcanzando la $f'c$ de diseño.

CONCLUSIONES

1. El uso de almohadillas de neopreno en la determinación de la resistencia del concreto, son accesibles por su manipulación y colocación del sistema, lo que hace que se reduzca el tiempo de ensayo.
2. Comúnmente se utiliza la práctica estándar para cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto según ASTM C-617 con el fin de aplicar una distribución uniforme de la carga. Pero esta práctica genera contaminación ambiental debido a los vapores y gases que produce el azufre, además la salud puede ser afectada.
3. Como puede observarse en las gráficas comparativas de los dos sistemas de nivelación el método de azufre y de neopreno se determinó que a mayor resistencia del concreto alcanza mejores resultados al momento de ser ensayados, el resultado es más seguro ya que se debe tomar en cuenta que el mortero de azufre aplica una carga al cilindro en la primera edad (3 días), sin embargo al utilizar neopreno puede determinarse que $f'c$ aumenta, en las siguientes edades (7 y 28 días o más) alcanzando la $f'c$ de diseño.
4. El rendimiento del azufre para la nivelación de cilindros de concreto es de 580 cilindros por saco, con una inversión del sistema de Q 18 229,29 mientras las almohadillas de neopreno rinde para 100 ensayos, cada par de almohadillas, con costo total de Q 3 114,00. Incluyendo equipo mecánico, equipo de seguridad, insumos y accesorios.

5. El ensayo a compresión de cilindros de concreto, debe cumplir con las especificaciones de Norma ASTM C31/C31M (trabajabilidad y muestreo) en su fundición, para poder aplicar la carga uniforme y determinar su resistencia, de no ser así no se podrá realizar el ensayo.

6. El tipo de falla al utilizar el cabeceo de almohadillas no adheridas de neopreno, provoca una ruptura brusca en el espécimen cilíndrico y un brusco golpe en el sistema hidráulico de la maquina a compresión.

RECOMENDACIONES

1. Se debe utilizar el cabeceo no adherido de almohadillas de neopreno cuando la demanda de ensayos excede la capacidad del personal técnico.
2. En el azufre se debe esperar dos horas para ensayar el cilindro debido a que en el azufre inicialmente se debe diluir hasta una consistencia líquida para cabecear y después esperar un tiempo para que el azufre alcance la solidificación y resistencia especificada.
3. Utilizar neopreno para altas resistencias de concreto estructural, proporciona mejores resultados.
4. No deben exceder los 5 reúsos del azufre, porque pierde propiedades de resistencia, debido al constante calentamiento y las almohadillas de neopreno después de los 100 ensayos, presentan fisuras y disminuye la dureza que especifica la norma.
5. Previo al ensayo, se debe verificar las condiciones de cada espécimen para determinar el método más adecuado de nivelación entre azufre y almohadillas de neopreno ya que ningún extremo del cilindro debe desviarse de la perpendicularidad al eje por más de 0,5 grados centígrados (3 mm en 300 mm). Para poder garantizar su resistencia de diseño.

6. Al utilizar neopreno, se recomienda un mejor control para verificación de fuerza y calibración de la máquina hidráulica, según especifica la Norma ASTM E-4 y E-74, por el brusco golpe hidráulico de falla en el cilindro.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Material. *Especificación normalizada de agregados para concreto*. Norma ASTM C-33, 2004. 9 p.
2. _____. *Método de ensayo para resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Norma ASTM C39/C39M, 2004. 4 p.
3. _____. *Práctica estándar para uso de cabezales adherido en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido*. Norma ASTM C617, 2004. 4 p.
4. _____. *Práctica estándar para uso de cabezales no adheridos en la determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto endurecido*, Norma ASTM C1231/C1231M, 2004. 3 p.
5. _____. *Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto*. Norma ASTM C-31/C31M, 2006. 4 p.
6. *Azufre*, <html.rincondelvago.com/azufre.html> [Consulta: 22 de abril de 2013].
7. Certificación ACI. *Proporcionamiento de mezclas. Concreto normal, pesado y masivo*. Instituto del cemento y del concreto, Capitulo ACI 211.1- Guatemala: ACI, noviembre 2004. 28 p.

8. _____ . *Refrentado de especímenes cilíndricos de concreto*. [en línea]. Sección N°1, resumen ASTM C617. 73-78 089 <civilgeeks.com/2011/04/09/refrentado-de-especimenes-cilindricos-de-concreto-resumen-astm-c-617/> [Consulta: 24 de abril de 2013].
9. _____ . *Técnico para ensayos de residencia del concreto*. Instituto del cemento y del concreto de Guatemala Capitulo ACI-Guatemala: ACI, noviembre 2011. 40 p.
10. _____ . *Uso de almohadillas de refrentado en la determinación de esfuerzo de compresión de cilindros de concreto endurecido*. [en línea]. Sección N°1, resumen ASTM C 1231. 73-78 089 <civilgeeks.com/2011/04/09/resumen-astm-c-1231/> [Consulta: 24 de abril de 2013].
11. KOSMATKA, Steven H. y otros. *Diseño y control de mezclas de concreto*. 5a ed. Skokie, Illinois EE.UU.;; Portland Cement Association, 2004. 468 p. ISBN: 0893122335.
12. METHA, Kumar; MONTEIRO, Paulo. *Concreto, estructura, propiedades y materiales*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto - IMCYC-, 1998. 381 p. ISBN: 9684640838.
13. NEVILLE, A. M. *Tecnología del concreto*. México: Trillas, 1998. 329 p. ISBN: 968240614.
14. COGUANOR, Norma Técnica Guatemalteca. *Práctica para el cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto*. NTG-41064. Edificio

Centro Nacional de Metrología Calzada de Atanasio Azul 27-32, zona12. Adoptada Consejo Nacional de Normalización 15 p.

15. _____ . *Práctica para el uso de tapas no adheridas en la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido*. NTG-41067. Edificio Centro Nacional de Metrología Calzada de Atanasio Azul 27-32, zona12. Adoptada Consejo Nacional de Normalización 14p.

16. VALENCIA, Julián Vidal. *Uso de refrentado no adherido en ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón*. [en línea]. Revista Universitaria EAFIT Vol. 40. No. 135. 2004. pp. 73-78 089 <bdigital.eafit.edu.co/ARTICULO/HRU0380400135200407/135-7.pdf> [Consulta: 30 de abril de 2013].

APÉNDICE

1. Equipo utilizado para ensayos de cubos de azufre



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

2. Ensayos de cubos de azufre ASTM C-617



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

3. Mezcla de concreto



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

4. Prueba de temperatura ASTM C-1064



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

5. Peso unitario ASTM C-1238



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

6. Contenido de aire ASTM C-231



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

7. Ensayo de cono de Abrams



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

8. Llenado del cono de Abrams



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

9. Prueba de asentamiento



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

10. Cámara de curado de los especímenes



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

11. Probetas recién moldeadas de concreto fresco



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

12. Ensayo a compresión de especímenes de azufre



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

13. Cilindros fracturados a compresión con azufre



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

14. Ensayo a compresión de especímenes de neopreno



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

15. Cilindro fracturado a compresión con neopreno



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería. USAC. T-5.

ANEXOS

INFORMES



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-39
INFORME No. S.C. - 230
HOJA 1/2

O.T. No **29501**

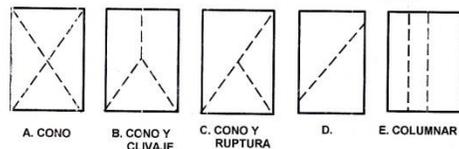
INTERESADO: Wanda Nohemí Régil Monroy Carné No.200630435
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinar, ventajas y desventajas, en el uso de azufre y almohadillas de neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión."
DIRECCIÓN: Ciudad
FECHA: 7 de mayo de 2012

Nº. CILINDRO OBRA	Nº. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	14-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12.815	15.143	30.500	64,793	163.18	2320.93	B
2	15-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12.780	15.170	30.620	88,129	221.17	3145.76	B
3	16-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12.743	15.200	30.480	66,779	166.93	2374.27	B
4	17-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12.779	15.153	30.370	69,758	175.45	2495.49	B
5	18-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12.920	15.200	30.320	108,701	271.72	3864.77	B
6	19-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12.830	15.203	30.380	112,615	281.38	4002.18	B
7	20-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12.940	15.167	30.620	99,405	249.58	3549.81	B
8	21-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12.880	15.207	30.650	109,190	272.71	3878.76	B
9	22-5	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12.860	15.140	30.200	104,297	262.78	3737.64	B
10	23-5	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12.940	15.117	30.500	109,190	275.96	3925.08	B
11	24-5	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12.910	15.233	30.240	111,637	277.84	3951.81	A
12	25-9	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12.960	15.077	30.490	139,075	353.36	5025.93	B

OBSERVACIONES :

- Se utilizo bolsas de concreto premezclado Maxipasta
- Asentamiento de mezcla de concreto: **8.9** cms.
- Cantidad de agua utilizada 17.5 litros por 3 sacos de concreto premezclado.
- Cilindros nivelados Planchas de Neopreno.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

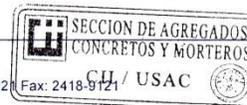


Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Digna Yariel 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 86220
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



PRUEBAS A CONCRETO FRESCO

INFORME No. S.C. - 230

O.T. No. **29501**

Hoja 2/2

INTERESADO: Wanda Nohemí Régil Monroy Carné No.200630435

PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Determinar, ventajas y desventajas, en el uso de azufre y almohadillas de neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión."

FECHA: 7 de mayo de 2012

RESULTADOS:

ENSAYO	RESULTADO
Temperatura ASTM C-1064	22.5 °C
Peso Unitario ASTM C-138	2373.049 kg/m ³
Contenido de Aire ASTM C-231	2.5%

OBSERVACIONES:

- a) Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio.
- b) El diseño teórico de la mezcla la proporciona el interesado.

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Mirales
Directora CII/USAC



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





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



**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-39
INFORME No. S.C. - 244
HOJA 1/2**

O.T. No. **29502**

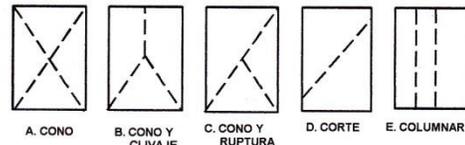
INTERESADO: Wanda Nohemí Régil Monroy Carné No.200630435
PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Determinar, ventajas y desventajas, en el uso de azufre y almohadillas de neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión."
DIRECCIÓN: Ciudad
FECHA: 9 de mayo de 2012

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 kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	14-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12,680	15,137	30,560	96 958	244,40	3476,17	E
2	15-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12,724	15,123	30,580	85 150	215,02	3058,21	E
3	16-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12,623	15,267	30,550	69 262	171,63	2441,09	E
4	17-5	17/02/2012	20/02/2012	3	Premezclado de 3000 PSI	12,806	15,033	30,550	87 136	222,67	3167,12	B
5	18-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12,860	15,260	30,280	87 136	216,11	3073,73	B
6	19-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12,940	15,113	30,560	101 851	257,53	3662,88	E
7	20-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12,920	15,123	30,760	111 637	281,90	4009,50	B
8	21-5	17/02/2012	24/02/2012	7	Premezclado de 3000 PSI	12,870	15,127	30,300	79 689	201,14	2860,81	A
9	22-5	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12,830	15,190	30,410	129 025	322,95	4593,42	E
10	23-5	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	13,570	15,403	30,870	120 986	294,50	4188,74	E
11	24-5	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12,900	15,167	30,300	109 190	274,15	3899,24	E
12	25-9	17/02/2012	16/03/2012	28	Premezclado de 3000 PSI	12,860	15,160	30,290	104 297	262,09	3727,79	E

OBSERVACIONES :

- Se utilizo bolsas de concreto premezclado Maxipasta
- Asentamiento de mezcla de concreto: **8.9** cms.
- Cantidad de agua utilizada 17.5 litros por 3 sacos de concreto premezclado.
- Cilindros nivelados con azufre.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA

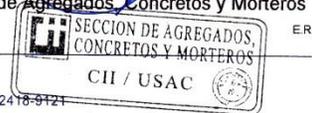


Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morán
Directora CIUSAC



Inga. Dilma Yaret 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



PRUEBAS A CONCRETO FRESCO

INFORME No. S.C. - 250

O.T. No. **29502**

Hoja 2/2

INTERESADO: Wanda Nohemí Régil Monroy Carné No.200630435

PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Determinar, ventajas y desventajas, en el uso de azufre y almohadillas de neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión."

FECHA: 10 de Mayo de 2012

RESULTADOS:

ENSAYO	RESULTADO
Temperatura ASTM C-1064	22.5 °C
Peso Unitario ASTM C-138	2373.049 kg/m ³
Contenido de Aire ASTM C-231	2,5%

OBSERVACIONES:

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio.
- El diseño teórico de la mezcla la proporciono el interesado.

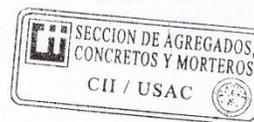
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



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



E.R.



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



**RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO
NORMA ASTM C-39
INFORME No. S.C. - 218
HOJA 1/2**

O.T. No. **29503**

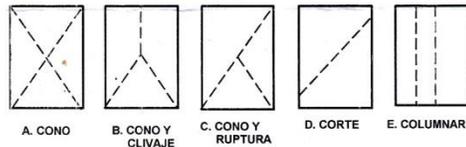
INTERESADO: Wanda Nohemí Régil Monroy Carné No.200630435
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinar, ventajas y desventajas, en el uso de azufre y almohadillas de neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión."
DIRECCIÓN: Ciudad
FECHA: 2 de mayo de 2012

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 kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	28-3	21/02/2012	24/02/2012	3	Premezclado de 4000 PSI	13.070	15.157	30.320	86,143	216.57	3080.28	B
2	29-3	21/02/2012	24/02/2012	3	Premezclado de 4000 PSI	12.880	15.207	29.980	86,143	215.15	3060.06	B
3	30-3	21/02/2012	24/02/2012	3	Premezclado de 4000 PSI	13.540	15.367	30.590	76,710	187.62	2668.52	B
4	31-3	21/02/2012	24/02/2012	3	Premezclado de 4000 PSI	13.020	15.110	30.380	95,490	241.55	3435.63	B
5	32-3	21/02/2012	28/02/2012	7	Premezclado de 4000 PSI	13.067	15.377	30.500	97,447	238.03	3385.49	C
6	33-3	21/02/2012	28/02/2012	7	Premezclado de 4000 PSI	12.997	15.113	30.480	106,744	269.90	3838.85	E
7	33-4	21/02/2012	28/02/2012	7	Premezclado de 4000 PSI	12.957	15.197	30.340	110,169	275.51	3918.69	E
8	33-5	21/02/2012	28/02/2012	7	Premezclado de 4000 PSI	12.900	15.197	30.320	106,254	265.72	3779.43	E
9	33-6	21/02/2012	20/03/2012	28	Premezclado de 4000 PSI	13.056	15.307	30.780	134,050	330.43	4699.84	E
10	33-7	21/02/2012	20/03/2012	28	Premezclado de 4000 PSI	12.990	15.150	30.890	119,478	300.64	4276.03	E
11	33-8	21/02/2012	20/03/2012	28	Premezclado de 4000 PSI	13.021	15.303	30.670	135,557	334.30	4754.75	E
12	33-9	21/02/2012	20/03/2012	28	Premezclado de 4000 PSI	13.067	15.523	30.450	121,991	292.37	4158.49	E

OBSERVACIONES :

- Se utilizó bolsas de concreto premezclado Maxipasta
- Asentamiento de mezcla de concreto: 8 cms.
- Cantidad de agua utilizada 17 litros por 3 sacos de concreto premezclado.
- Cilindros nivelados con azufre.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



SECRETARÍA DE INGENIERIA
 ATENTAMENTE,

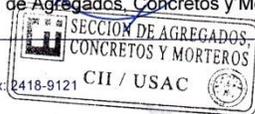
Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Ceballos Morales
 Directora CII/USAC



[Firma manuscrita]
 Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jo

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



PRUEBAS A CONCRETO FRESCO

INFORME No. S.C. - 218

O.T. No. **29503**

Hoja 2/2

INTERESADO: Wanda Nohemí Régil Monroy Carné No.200630435

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinar, ventajas y desventajas, en el uso de azufre y almohadillas de neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión."

FECHA: 2 de mayo de 2012

RESULTADOS:

ENSAYO	RESULTADO
Temperatura ASTM C-1064	23.5 °C
Peso Unitario ASTM C-138	2329.08 kg/m ³
Contenido de Aire ASTM C-231	2.6%

OBSERVACIONES:

- Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio.
- El diseño teórico de la mezcla la proporciono el interesado.

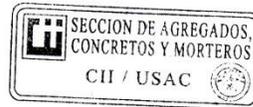
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Carrero Morales
Directora CII/USAC



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





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



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

NORMA ASTM C-39

INFORME No. S.C. - 217

O.T. No. 29504

HOJA 1/2

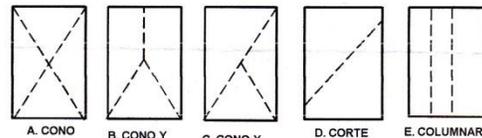
INTERESADO: Wanda Nohemi Régil Monroy, Carné No. 200630435
PROYECTO: Trabajo de graduación "Determinar, ventajas y desventajas en el uso de Azufre y Almohadillas de Neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión"
FECHA: 26 de abril de 2,012

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIAMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	00-03	21/02/2012	24/02/2012	3	Concreto 4000 PSI	12.950	15.070	30.340	90,598	230.39	3276.95	B
2	00-03	21/02/2012	24/02/2012	3	Concreto 4000 PSI	13.020	15.163	30.570	76,710	192.68	2740.57	B
3	00-03	21/02/2012	24/02/2012	3	Concreto 4000 PSI	12.880	15.240	30.500	90,108	224.06	3186.92	B
4	00-03	21/02/2012	24/02/2012	3	Concreto 4000 PSI	12.950	15.250	30.260	87,136	216.39	3077.77	C
5	00-03	21/02/2012	28/02/2012	7	Concreto 4000 PSI	12.977	15.280	30.480	109,190	270.09	3841.61	D
6	00-03	21/02/2012	28/02/2012	7	Concreto 4000 PSI	13.035	15.217	30.530	108,212	269.91	3838.96	D
7	00-03	21/02/2012	28/02/2012	7	Concreto 4000 PSI	13.050	15.293	30.430	102,830	253.92	3611.55	D
8	00-03	21/02/2012	28/02/2012	7	Concreto 4000 PSI	12.979	15.157	30.500	100,383	252.37	3589.47	D
9	00-03	21/02/2012	20/03/2012	28	Concreto 4000 PSI	12.967	15.237	30.560	129,528	322.23	4583.12	C
10	00-03	21/02/2012	20/03/2012	28	Concreto 4000 PSI	13.075	15.670	30.240	139,075	327.11	4652.52	C
11	00-03	21/02/2012	20/03/2012	28	Concreto 4000 PSI	12.970	15.417	30.340	141,085	342.83	4876.16	C
12	00-03	21/02/2012	20/03/2012	28	Concreto 4000 PSI	12.982	15.330	30.250	141,587	347.95	4948.99	C

OBSERVACIONES :

- Se utilizó bolsas de Concreto Premezclado Maxipasta.
- Asentamiento de mezcla de concreto: **8 cms.**
- Cantidad de agua utilizada: **17 litros**, por 3 bolsas de concreto premezclado
- Cilindros nivelados con almohadillas de **Neopreno**

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



A. CONO

B. CONO Y CLIVAJE

C. CONO Y RUPTURA

D. CORTE

E. COLUMNAR

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CI/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



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



PRUEBAS A CONCRETO FRESCO

INFORME No. S.C. - 217

O.T. No. 29504

HOJA 2/2

INTERESADO: Wanda Nohemi Régil Monroy, Carné No. 200630435
PROYECTO: Trabajo de graduación "Determinar, ventajas y desventajas en el uso de Azufre y Almohadillas de Neopreno para ensayos de cilindros de concreto a compresión"
FECHA: 26 de abril de 2,012

RESULTADOS:

ENSAYO	RESULTADO
Temperatura ASTM C-1064	23,5 °C
Peso Unitario ASTM C-138	2329,08 kg/m³
Contenido de Aire ASTM C-231	2,6 %

OBSERVACIONES :

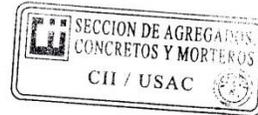
- a) Mezcla realizada bajo condiciones de laboratorio.
- b) La dosificación de la mezcla fue proporcionada por el interesado.

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cepeda Morales
Directora USAC



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



EMG

1. Prueba para el concreto con aire incluido de consistencia media y revenimiento. (Unidades métricas)

Relación agua-cemento, kg por kg	Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Contenido de aire, %	Agua, kg por m ³ de concreto	Cemento, kg por m ³ de concreto	Con arena fina, módulo de finura = 2.50			Con arena gruesa, módulo de finura = 2.90		
					Agregado fino, % con relación a la masa total de agregado	Agregado fino, kg por m ³ de concreto	Agregado grueso, kg por m ³ de concreto	Agregado fino, % con relación a la masa total de agregado	Agregado fino, kg por m ³ de concreto	Agregado grueso, kg por m ³ de concreto
0.40	9.5	7.5	202	505	50	744	750	54	809	684
	12.5	7.5	194	485	41	630	904	46	702	833
	19.0	6	178	446	35	577	1071	39	648	1000
	25.0	6	169	424	32	534	1151	36	599	1086
	37.5	5	158	395	29	518	1255	33	589	1184
0.45	9.5	7.5	202	450	51	791	750	56	858	684
	12.5	7.5	194	387	43	678	904	47	750	833
	19.0	6	178	395	37	619	1071	41	690	1000
	25.0	6	169	377	33	576	1151	37	641	1086
	37.5	5	158	351	31	553	1225	35	625	1184
0.50	9.5	7.5	202	406	53	833	750	57	898	684
	12.5	7.5	194	387	44	714	904	49	785	833
	19.0	6	178	357	38	654	1071	42	726	1000
	25.0	6	169	338	34	605	1151	38	670	1086
	37.5	5	158	315	32	583	1225	36	654	1184
0.55	9.5	7.5	202	369	54	862	750	58	928	684
	12.5	7.5	194	351	45	744	904	49	815	833
	19.0	6	178	324	39	678	1071	43	750	1000
	25.0	6	169	309	35	629	1151	39	694	1086
	37.5	5	158	286	33	613	1225	37	684	1184
0.60	9.5	7.5	202	336	54	886	750	58	952	684
	12.5	7.5	194	321	46	768	904	50	839	833
	19.0	6	178	298	40	702	1071	44	773	1000
	25.0	6	169	282	36	653	1151	40	718	1086
	37.5	5	158	262	33	631	1225	37	702	1184
0.65	9.5	7.5	202	312	55	910	750	59	976	684
	12.5	7.5	194	298	47	791	904	51	863	833
	19.0	6	178	274	40	720	1071	44	791	1000
	25.0	6	169	261	37	670	1151	40	736	1086
	37.5	5	158	244	34	649	1225	38	720	1184
0.70	9.5	7.5	202	288	55	928	750	59	994	684
	12.5	7.5	194	277	47	809	904	51	880	833
	19.0	6	178	256	41	738	1071	45	809	1000
	25.0	6	169	240	37	688	1151	41	753	1086
	37.5	5	158	226	34	660	1225	38	732	1184

2. Prueba para el concreto con aire incluido de consistencia media y revenimiento. (Unidades pulgadas-libras)

Relación agua-cemento lb por lb	Tamaño máximo nominal del agregado, plug.	Con-tenido de aire, %	Agua, lb por yarda cúbica de concreto	Cemento, lb por yarda cúbica de concreto	Con arena fina, módulo de finura = 2.50			Con arena gruesa, módulo de finura = 2.90		
					Agregado fino, % con relación a la masa total de agregado	Agregado fino, lb por yarda cúbica de concreto	Agregado grueso, lb por yarda cúbica de concreto	Agregado fino, % con relación a la masa total de agregado	Agregado fino, lb por yarda cúbica de concreto	Agregado grueso, lb por yarda cúbica de concreto
0.40	%	7.5	340	850	50	1250	1260	54	1360	1150
	½	7.5	325	815	41	1060	1520	46	1180	1400
	¾	6	300	750	35	970	1800	39	1090	1680
	1	6	285	715	32	900	1940	36	1010	1830
0.45	1½	5	265	665	29	870	2110	33	990	1990
	%	7.5	340	755	51	1330	1260	56	1440	1150
	½	7.5	325	720	43	1140	1520	47	1260	1400
	¾	6	300	665	37	1040	1800	41	1160	1680
0.50	1	6	285	635	33	970	1940	37	1080	1830
	1½	5	265	590	31	930	2110	35	1050	1990
	%	7.5	340	680	53	1400	1260	57	1510	1150
	½	7.5	325	650	44	1200	1520	49	1320	1400
0.55	¾	6	300	600	38	1100	1800	42	1220	1680
	1	6	285	570	34	1020	1940	38	1130	1830
	1½	5	265	530	32	980	2110	36	1100	1990
	%	7.5	340	620	54	1450	1260	58	1560	1150
0.60	½	7.5	325	590	45	1250	1520	49	1370	1400
	¾	6	300	545	39	1140	1800	43	1260	1680
	1	6	285	520	35	1060	1940	39	1170	1830
	1½	5	265	480	33	1030	2110	37	1150	1990
0.65	%	7.5	340	565	54	1490	1260	58	1600	1150
	½	7.5	325	540	46	1290	1520	50	1410	1400
	¾	6	300	500	40	1180	1800	44	1300	1680
	1	6	285	475	36	1100	1940	40	1210	1830
0.70	1½	5	265	440	33	1060	2110	37	1180	1990
	%	7.5	340	525	55	1530	1260	59	1640	1150
	½	7.5	325	500	47	1330	1520	51	1450	1400
	¾	6	300	460	40	1210	1800	44	1330	1680
0.75	1	6	285	440	37	1130	1940	40	1240	1830
	1½	5	265	410	34	1090	2110	38	1210	1990
	%	7.5	340	485	55	1560	1260	59	1670	1150
	½	7.5	325	465	47	1360	1520	51	1480	1400
0.80	¾	6	300	430	41	1240	1800	45	1360	1680
	1	6	285	405	37	1160	1940	41	1270	1830
	1½	5	265	380	34	1110	2110	38	1230	1990
	%	7.5	340	465	55	1560	1260	59	1670	1150