



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

**CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO  
PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG  
41070**

**Jenifer Gabriela Arriaga Zúñiga**

Asesorado por el Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO  
PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG  
41070**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JENIFER GABRIELA ARRIAGA ZÚÑIGA**

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ALEJANDRO MOLINA ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG 41070**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 14 de octubre de 2015.

**Jenifer Gabriela Arriaga Zúñiga**



Guatemala, 28 de febrero de 2017

Ingeniero  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Jefe de Área de Materiales de Construcción  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

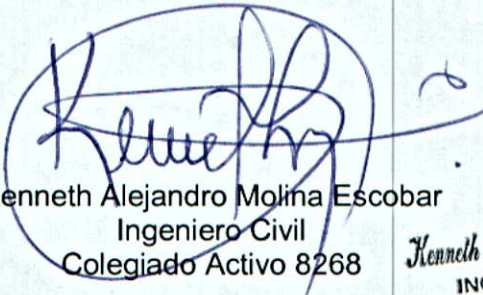
Estimado Ingeniero Ordoñez

Reciba un cordial saludo deseándoles muchos éxitos en sus labores diarias.

Por este medio, le informo que después de analizar y revisar el trabajo de graduación titulado "**CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG 41070**", presentado por la estudiante universitaria de la carrera de Ingeniería Civil Jenifer Gabriela Arriaga Zúñiga, que se identifica con carné No. 2011-14758, tengo a bien manifestar que dicho trabajo ha sido ejecutado con forme a los requisitos establecidos.

Por lo anterior, en mi calidad de asesor, me permito solicitar que continúen los trámites respectivos para su aprobación.

Agradeciendo de antemano, su atención.

  
Kenneth Alejandro Molina Escobar  
Ingeniero Civil  
Colegiado Activo 8268

*Kenneth Alejandro Molina Escobar*  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO 8268





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
 22 de marzo de 2017

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 **CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG 41070** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Jenifer Gabriela Arriaga Zúñiga quien contó con la asesoría del Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar.

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 José Gabriel Ordóñez Morales  
 Coordinador del Área de Materiales y  
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE MATERIALES Y  
 CONSTRUCCIONES CIVILES

**USAC**

/mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*





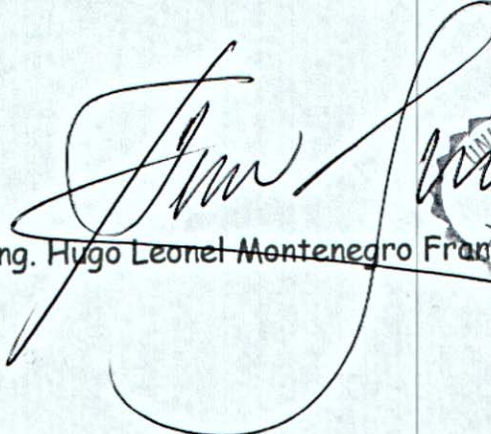
**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Jennifer Gabriela Arriaga Zúñiga **CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG 41070** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2017  
 /mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*





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: **CLASIFICACIÓN DE ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO PARA MEZCLAS DE CONCRETO DE ACUERDO A COGUANOR NTG 41070**, presentado por la estudiante universitaria: **Jenifer Gabriela Arriaga Zúñiga**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, abril de 2017

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mis padres**

Salvador Arriaga López y Lucrecia Zúñiga de Arriaga por su apoyo y amor incondicional.

**Mis amigos**

Por su aprecio y comprensión.

**USAC**

Facultad de Ingeniería.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Sika Guatemala, S.A**

Por haberme permitido llevar a cabo los ensayos de laboratorio.

**Ing. Kenneth Molina**

Por su guía, asesoría y apoyo moral en el presente trabajo de graduación.

**Esvin Ottoniel Mansilla  
Santos**

Por su apoyo brindado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Historia .....	1
1.2. Estudios realizados en Guatemala y en otros países .....	2
1.3. Necesidades de usos de aditivos .....	2
1.4. Generaciones de aditivos para concreto .....	3
1.4.1. Lignosulfonatos.....	3
1.4.2. Naftalenos y melaminas (Policondensados).....	3
1.4.3. Copolímeros de vinil .....	4
1.4.4. Policarboxilatos.....	4
2. ADITIVOS PARA EL CONCRETO .....	5
2.1. Definición.....	5
2.2. Uso de los aditivos .....	5
2.3. Tipos de aditivos.....	5
2.4. Criterio de clasificación de los aditivos .....	6
2.4.1. Reducción de agua.....	6
2.4.2. Resistencia a la compresión .....	6
2.4.3. Resistencia a la flexión .....	7

2.4.4.	Cambio de longitud .....	7
2.4.5.	Comportamiento en obra.....	7
2.5.	Clasificación según NTG 41070 (ASTM C494) .....	8
2.5.1.	Tipo A (Aditivos reductores de agua) .....	8
2.5.2.	Tipo B (Aditivos retardantes).....	8
2.5.3.	Tipo C (Aditivos aceleradores) .....	8
2.5.4.	Tipo D (Aditivos reductores de agua y retardadores).....	8
2.5.5.	Tipo E (Aditivos reductores de agua y aceleradores) .....	8
2.5.6.	Tipo F (Aditivos reductores de agua de alto rango).....	9
2.5.7.	Tipo G (Aditivos reductores de agua de alto rango, y retardadores).....	9
2.5.8.	Tipo S (Aditivos de desempeño específico).....	9
2.6.	Clasificación según NTG 41047 (ASTM C1017) .....	11
2.6.1.	Tipo I (Plastificante).....	11
2.6.2.	Tipo II (Plastificante y retardador) .....	11
3.	EFFECTO DE LOS ADITIVOS EN EL CONCRETO.....	13
3.1.	Efecto en el concreto fresco.....	13
3.1.1.	Cohesión y manejabilidad .....	13
3.1.2.	Pérdida de revenimiento.....	13
3.1.3.	Asentamiento y exudación .....	14
3.1.4.	Tiempo de fraguado .....	14
3.2.	Efectos en el concreto endurecido .....	14
3.2.1.	Resistencias mecánicas.....	14
3.2.2.	¿Por qué se aumenta la resistencia a la compresión?.....	15
3.2.3.	¿Por qué se aumenta la resistencia a la flexión? ....	15



3.2.4.	Generación de calor .....	15
3.2.5.	Reacciones expansivas del concreto.....	16
3.2.5.1.	Reacciones álcali-sílice (ASR).....	16
3.2.5.2.	Reacciones álcali-carbonato (ACR).....	16
3.2.5.3.	Ataque de sulfatos .....	17
4.	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO .....	19
4.1.	Composición del concreto .....	19
4.1.1.	Cemento .....	19
4.1.2.	Agua .....	19
4.1.3.	Agregados .....	19
4.1.4.	Aire .....	20
4.1.5.	Aditivos .....	20
4.2.	Métodos de dosificación basados en la resistencia a compresión .....	20
4.2.1.	Método A.C.I para hormigón convencional.....	20
4.2.1.1.	Resistencia .....	24
4.2.1.2.	Durabilidad.....	25
4.2.2.	Método de la Peña.....	27
4.3.	Métodos de dosificación basados en el contenido de cemento.....	33
4.3.1.	Método de Füller.....	33
4.3.1.1.	Calculo de contenido de cemento.....	34
4.3.1.2.	Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino .....	34
4.3.2.	Método de Bolomey.....	38
4.3.2.1.	Calculo de contenido de agua .....	39
4.4.	Método del volumen absoluto usando varios materiales cementantes y aditivos .....	41

4.4.1.	Método de Walker .....	41
4.4.1.1.	Ajustes de humedad y absorción .....	43
4.4.1.2.	Pesos de agregados húmedos.....	44
4.4.1.3.	Agua efectiva.....	44
4.4.2.	Método de Faury .....	44
4.4.2.1.	Radio medio de encofrado .....	45
4.4.2.2.	Determinación de volúmenes de huecos.....	49
4.4.2.3.	Contenido de agua .....	50
4.4.2.4.	Cantidad de cemento .....	51
4.4.2.5.	Proporciones de agregados .....	51
4.4.2.6.	Índices ponderales .....	53
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	59
5.1.	Caracterización de los materiales .....	59
5.1.1.	Diseño de mezcla con aditivo.....	59
5.1.2.	Tipo de cemento.....	59
5.1.3.	Agregado fino.....	59
5.1.4.	Agregado grueso.....	59
5.2.	Ensayos en concreto fresco.....	60
5.3.	Ensayos en concreto endurecido .....	62
5.3.1.	NTG 41017h1. Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de cilindros de concreto (ASTM C39) .....	62
5.3.2.	NTG 41017-h2. Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz) (ASTM C 78) .....	63

5.3.3.	NTG 41017 h12. Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración.....	65
5.3.4.	NTG 41003 h11. Método de ensayo, determinación de cambio de longitud del mortero y del concreto de cemento hidráulico, endurecido..	66
5.4.	Evaluacion estadistica de resultados.....	69
5.4.1.	Media Aritmética .....	69
5.4.2.	Desviación estándar .....	70
5.4.3.	Límite superior e inferior .....	70
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	73
6.1.	Contenido de agua (reducción) .....	73
6.2.	Resistencia a la compresión.....	74
6.3.	Resistencia a la flexión .....	75
6.4.	Tiempos de fraguados.....	76
6.5.	Cambio de longitud.....	77
	CONCLUSIONES .....	79
	RECOMENDACIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	ANEXOS .....	87



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Requisitos físicos .....	10
2.	Porcentaje de arena, en función de su módulo granulométrico y del tamaño máximo del árido.....	31
3.	Proporcionamientos de agregados. Metodo Fuller.....	36
4.	Determinación de radio medio de encofrado.....	46
5.	Dosificación grafica de agregados por Faury .....	52
6.	Índices ponderales .....	54
7.	Curva de Faury .....	55
8.	Comparación de fraguados, mezcla 1 .....	65
9.	Comparación de fraguados, mezcla 2.....	66
10.	Grafica de contracción de concreto.....	69
11.	Contenido de agua en mezclas de concreto .....	73

### TABLAS

I.	Tipos de aditivos .....	6
II.	Revenimiento de concreto según su consistencia .....	21
III.	Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenidos de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado .....	22
IV.	Contenido de agua de mezcla.....	23
V.	Relación agua/cemento o agua/materiales cementantes, resistencias a compresión.....	24

VI.	Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sujetos a exposiciones severas.....	25
VII.	Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto .....	26
VIII.	Estimación del peso del concreto .....	27
IX.	Resistencia media del concreto .....	28
X.	Determinación de k parámetro según el tipo de cemento y los agregados utilizados .....	29
XI.	Cantidad de agua en <b>dm<sup>3</sup></b> por <b>m<sup>3</sup></b> de concreto.....	29
XII.	Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento de acuerdo al tipo de hormigón y tipo de exposición .....	30
XIII.	Valores de a en función de la tipología del agregado y la consistencia del concreto.....	39
XIV.	Determinación de contenido de agua ( <b>lt/m<sup>3</sup></b> ).....	40
XV.	Porcentaje de agregado fino.....	42
XVI.	Valores de B, en función de la compactación del concreto.....	47
XVII.	Valores de A en función de la forma del agregado y los medios de compactación del concreto .....	48
XVIII.	Valores de K, en función de la tipología de los agregados y de la consistencia de la mezcla de concreto .....	50
XIX.	Valores de índices ponderales ( <b>IP</b> ) para agregados .....	53
XX.	Resultados de ensayos de concreto fresco .....	61
XXI.	Resultados de ensayos de concreto fresco .....	62
XXII.	Resistencia ultima de cilindros de concreto .....	63
XXIII.	Resistencia a flexión de vigas de concreto .....	64
XXIV.	Resultado concreto, estado fresco.....	67
XXV.	Resultados de concreto, estado endurecido .....	68
XXVI.	Datos estadístico de cilindros .....	71
XXVII.	Datos estadísticos de vigas .....	71
XXVIII.	Requerimientos físicos, resistencia a la compresión mínima.....	74

XXIX.	Resistencia última, requerimiento físico a cumplir .....	74
XXX.	Requerimientos físicos, resistencia a la flexión mínima .....	75
XXXI.	Resistencia última, requerimientos físicos a cumplir .....	75
XXXII.	Requerimientos físicos, tiempo de fraguado .....	76
XXXIII.	Tiempos de fraguados, requerimientos físicos a cumplir .....	76
XXXIV.	Cambio de longitud $\Delta L$ (%).....	77





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°C	Grados Celsius
<i>g</i>	Gramos
<i>kg</i>	Kilogramos
<i>Psi</i>	Libra por pulgada cuadrada
<i>l</i>	Litros
<i>MPa</i>	Mega pascales
<i>m</i>	Metro
<i>m<sup>3</sup></i>	Metro cúbico
<i>ml</i>	Milímetro
%	Porcentaje
<i>a/c</i>	Relación agua cemento
<i>f<sub>c</sub></i>	Resistencia del concreto



## GLOSARIO

<b>Aditivo</b>	Material distinto al agua, agregados, cemento hidráulico o fibra, empleado para modificar las propiedades del concreto o mortero.
<b>Agregados</b>	Material granular, en el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleada como un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.
<b>Asentamiento</b>	Después de la colocación del concreto y en estado de reposo, empieza un proceso natural donde los componentes más pesados (cemento y agregados) empiezan a descender gradualmente, y los componentes menos densos (agua) tienden a subir, llamándole a este proceso asentamiento.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Concreto</b>	Es una mezcla previamente dosificada, conformada por agregados (arena y grava), cemento, agua y aditivos.

**Fraguado**

Proceso debido a reacciones químicas, ocurre después de la adición del agua de mezclado, y que produce un gradual desarrollo de rigidez de una mezcla cementicia.

**Revenimiento**

El revenimiento es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto, siguiendo la norma NTG 41052.

## RESUMEN

En el ámbito mundial, el concreto es el material más utilizado en la construcción, gran parte de la infraestructura de los países está elaborada con él, por lo que su conocimiento y tecnología son básicos para el ingeniero civil encargado de alguna etapa del proceso constructivo. La demanda del concreto, cada día, va en ascenso, por lo cual surgen estudios de nuevas tecnologías, para que puedan ser aplicadas, dependiendo de la necesidad de la obra. El uso de aditivos en el concreto se ha convertido en una gran ayuda dadas las ventajas que ofrece. Por esta razón, el desarrollo de nuevos productos está en continuo avance e investigación, permitiendo obtener proyectos cada vez más grandes y novedosos.

En este estudio, se clasifica un aditivo, que se cree reductor de agua de alto rango, se verifica que cumpla con los requerimientos físicos de la norma COGUANOR 41070, siguiendo los procedimientos y especificaciones. De acuerdo con los datos obtenidos, es evidente el aporte generado por los aditivos para aportar nuevas tecnologías al concreto y construir estructuras con una mayor vida útil y menores costos de mantenimiento. De esta manera, se tendrá una construcción que participe en mayor medida en el desarrollo sustentable del país.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Clasificar un aditivo de acuerdo con las especificaciones de la norma COGUANOR NTG 41070 “Aditivos químicos para concreto. Especificaciones” (ASTM C-494).

### **Específicos**

1. Describir las generaciones y tipos de aditivos.
2. Diseñar una mezcla de concreto que permita la evaluación del aditivo de acuerdo a los requisitos físicos de la norma NTG 41070.
3. Comparar cualitativamente el efecto del aditivo en una mezcla de concreto.





## INTRODUCCIÓN

Los aditivos han sido incorporados al concreto y se puede encontrar un sinnúmero de productos en el mercado que satisfacen la mayoría de las necesidades para los usuarios. Los aditivos son productos que se adicionan al concreto en porcentajes relativos a la masa o peso del cemento, de acuerdo con el efecto deseado y su base componente. Esto se realiza antes de su producción, durante la misma o después, para modificar algunas de sus propiedades originales o el comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido.

En este trabajo se realizarán evaluaciones para clasificar un aditivo de acuerdo con los requisitos y especificaciones de la Norma COGUANOR NTG 41070 (Aditivos químicos para el concreto. Especificaciones), la cual es equivalente a la norma ASTM C494. Se diseñará una mezcla de concreto considerando las propiedades de los materiales. A esta, se le modificará la relación  $a/c$ , para determinar la reducción de agua que agrega el aditivo, así como las demás propiedades que el producto aporta. El producto por evaluar será un reductor de alto rango.



# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Historia

“Los primeros adhesivos utilizados por el ser humano fueron, asfaltos naturales y la savia de ciertos árboles que se encontraban a sus alrededores. Entre los primeros adhesivos fabricados en la historia está el pegamento animal (tendones, piel, huesos y otros tejidos de animales, ricos en colágeno similar a la gelatina.) usado por los egipcios. La savia (goma), el asfalto y el pegamento animal eran los adhesivos principales hasta que surgió el yeso y el cemento Pórtland.”<sup>1</sup>

“Los romanos fueron, probablemente, los primeros en modificar las características físicas de los morteros. Existen referencias de que entre los primeros aditivos para mejorar la trabajabilidad de los morteros fueron la sangre de animales (como el buey), la clara de huevo y las grasas. Investigaciones han demostrado que la sangre de buey es una excelente inclusor de aire. También se utilizó en E.E.U.U. el jabón *Gold Dust* (jabón no refinado, usado para lavar ropa) en el concreto como un agente inclusor de aire e impermeabilizante.”<sup>2</sup>

“Cuando surgió el cemento, se incrementaron las posibilidades de construcción debido a la adherencia y resistencia que posee el mismo. Sin embargo, el cemento requería de cambios para una fácil utilización. En el año 1850 se implementó el uso de yeso para contrarrestar el fraguado acelerado

---

<sup>1</sup> HORNBOSTEL, Caleb. *Construction materials: Types, uses, and applications*. p. 878.

<sup>2</sup> WADDELL, Joseph J., DOBROWOLSKI, Joseph A. *Manual de la construcción con concreto*. p. irregular.

que se presentaban por mezclas realizadas con cemento portland, teniendo el yeso como el primer retardante de hormigón.”<sup>3</sup>

## **1.2. Estudios realizados en Guatemala y en otros países**

En los últimos años, muchas personas se han interesado en el estudio de nuevos aditivos reductores de agua en mezclas de concreto. En la actualidad los estudios se enfocan en el uso de superplastificantes de última generación, que son poliacrilatos, poliacrilatos y los alcoholes monovinílicos, los cuales aportan plasticidad al concreto, mayor resistencia mecánica, y una mejor fluidez, aun cuando se le reduce la relación agua/cemento. De esta manera, sus propiedades reológicas adquieren una mejor permanencia en el tiempo. A pesar de esto, es muy difícil encontrar esta información porque, generalmente, forma parte de la información confidencial de las empresas que generan el conocimiento.

Entre los países que realizan más estudios de los aditivos están: Colombia, Argentina, Brasil, Costa Rica, Chile y México a nivel latinoamericano. En el resto del mundo, Alemania y Suiza van a la vanguardia de esta tecnología, ya que las grandes casas de productos están en esos países.

## **1.3. Necesidades de usos de aditivos**

La industria de los concretos se ha caracterizado por la competitividad en los precios, por lo que la eficiencia es esencial, teniendo que cumplir al mismo tiempo con altos estándares de calidad, ser amigable con el medio ambiente y seguro. Para cumplir con todos los requerimientos mencionados, la materia

---

<sup>3</sup>ARCILA LÓPEZ, Carlos, CUELLAR TRUJILLO, Gustavo. *Sika: Informaciones técnicas. Aditivos para hormigón y mortero*. p. 28.

prima se deberá seleccionar adecuadamente, se debe conocer su rendimiento y las interconexiones deseadas y no deseadas. Para lograr las características físicas del concreto es necesario utilizar componentes diferentes al agua, los agregados o al cemento, llamados aditivos.

#### **1.4. Generaciones de aditivos para concreto**

Considerando la base química de los productos, así como el desarrollo desde su primera aparición, se ha considerado clasificar los aditivos para concreto en tres generaciones:

- Primera generación: los lignosulfonatos.
- Segunda generación: los policondensados derivados de naftalenos y melaminas, así como los copolímeros de vinil.
- Tercera generación: donde entran los policarboxilatos, poliacrilatos y los alcoholes monovinílicos.

##### **1.4.1. Lignosulfonatos**

Son un subproducto de la fabricación de la pulpa de madera. Aportan una reducción de agua de aproximadamente un 10% y es una de las tecnologías más usadas de aditivos. Debido a las altas dosis necesarias para su efectividad, el concreto puede presentar un retraso en el fraguado.

##### **1.4.2. Naftalenos y melaminas (Policondensados)**

El naftaleno se obtiene de un proceso de refinado del carbón, este aporta una reducción de agua de aproximadamente un 25%. Este posee una

estructura molecular hidrofóbica, que genera espuma e introduce aire al concreto.

La melanina aporta una reducción de agua similar al naftaleno, las resistencias son más altas en edades tempranas debido a la reducción de relación agua/cemento.

#### **1.4.3. Copolímeros de vinil**

Los Copolímeros de vinil son polímeros sintéticos que poseen moléculas de mayor tamaño y aportan una mayor plasticidad y resistencia mecánica mayor en el concreto. De esta manera, se reduce un 30 %, de agua. Este tipo de aditivo es utilizado para hormigones autocompactables ya que se logra mejor manejabilidad.

#### **1.4.4. Policarboxilatos**

Pertenecen a la última generación de súper plastificantes, se basan químicamente, en copolímeros de ácido acrílico y grupos de éter de ácido acrílico. Estos aportan una reducción de agua aproximada del 40% combinado con una manejabilidad controlada y desarrollo de resistencias mecánicas tempranas.

## **2. ADITIVOS PARA EL CONCRETO**

### **2.1. Definición**

Los aditivos son componentes que se adicionan al concreto o al mortero. Son diferentes a los agregados, cemento y agua, los cuales modifican las características físicas del mismo.

### **2.2. Uso de los aditivos**

Entre las razones principales del uso de aditivos para las construcciones es la reducción de los costos en la producción de concreto, aportes de características físicas para la trabajabilidad en obra, permanencia de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, colocación y curado en las diferentes condiciones climáticas.

### **2.3. Tipos de aditivos**

Para mezclas de concreto hidráulico, de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41070, existen ocho tipos de aditivos los cuales están clasificados, por las modificaciones físicas que aportan a los concretos.

Tabla I. **Tipos de aditivos**

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>A</b>	Aditivos reductores de agua.
<b>B</b>	Aditivos retardadores.
<b>C</b>	Aditivos aceleradores.
<b>D</b>	Aditivos reductores de agua y retardadores.
<b>E</b>	Aditivos reductores de agua y aceleradores.
<b>F</b>	Aditivos reductores de agua, de alto rango.
<b>G</b>	Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores.
<b>S</b>	Aditivos de desempeño específico.

Fuente: adaptado COGUANOR NTG 41070

## **2.4. Criterio de clasificación de los aditivos**

### **2.4.1. Reducción de agua**

Los aditivos plastificantes o fluidificantes son reductores de agua que aumentan la fluidez de pastas y concretos. De esta manera se reduce la cantidad de agua en la mezcla y se obtienen concretos más dóciles y trabajables, que ayudan considerablemente en obra para la manipulación. La composición y la cantidad de dosis de los aditivos pueden ser variables y de esto depende el porcentaje de reducción que obtenga el concreto. El efecto fluidificante suele permitir una reducción de agua del orden de 5 a un 12 %.

### **2.4.2. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión de un concreto al que se le adiciona aditivo, generalmente, es mayor que la de un concreto sin aditivo. La resistencia se puede diseñar para que cumpla con una amplia variedad de propiedades



mecánicas y de durabilidad, optimizándose los requerimientos de diseño de la estructura.

#### **2.4.3. Resistencia a la flexión**

La reducción de agua, como resultado de la incorporación de estos productos al concreto, generan una matriz (cemento, finos de agregados y agua) más compacta, con mayor adherencia con los agregados gruesos del concreto. Esta adherencia, junto con la rugosidad del agregado grueso, mejora la resistencia a la flexión de los especímenes ensayados.

#### **2.4.4. Cambio de longitud**

Los cambios de longitud son evidentes en cualquier estructura de concreto, como resultado de las contracciones al evaporarse agua durante el proceso de fraguado, reactividad del cemento y otras fuerzas. En estructuras sin aditivos estos efectos generalmente son de mayor magnitud.

#### **2.4.5. Comportamiento en obra**

Generalmente, en obra se necesita un incremento en la trabajabilidad del concreto sin tener que aumentar la cantidad de agua, reduce o prolonga la velocidad de la pérdida de asentamiento de la mezcla, reduce la segregación facilita el bombeo y la colocación del mismo.

## **2.5. Clasificación según NTG 41070 (ASTM C494)**

### **2.5.1. Tipo A (Aditivos reductores de agua)**

Aditivo que se utiliza para disminuir la cantidad de agua en la mezcla para poder obtener la consistencia deseada, este aporta una reducción de aproximadamente del 5% al 12% dependiendo de la dosis.

### **2.5.2. Tipo B (Aditivos retardantes)**

Aditivo que ayuda al retraso de los tiempos de fraguado del concreto.

### **2.5.3. Tipo C (Aditivos aceleradores)**

Los aditivos aceleradores se utilizan para acelerar el fraguado del concreto y desarrollar la resistencia en edades tempranas.

### **2.5.4. Tipo D (Aditivos reductores de agua y retardadores)**

Aditivo que se utiliza para disminuir la cantidad de agua en la mezcla para poder obtener la consistencia deseada, y retrasa los tiempos de fraguado del concreto.

### **2.5.5. Tipo E (Aditivos reductores de agua y aceleradores)**

Aditivo que disminuye la cantidad de agua en la mezcla para obtener un concreto de una consistencia deseada, acelerar el fraguado del concreto y desarrollar la resistencia en edades tempranas.

### **2.5.6. Tipo F (Aditivos reductores de agua de alto rango)**

Aditivo que disminuye la cantidad de agua de la mezcla en un 12 % o más, para obtener un concreto de una consistencia deseada.

### **2.5.7. Tipo G (Aditivos reductores de agua de alto rango, y retardadores)**

Aditivo que disminuye la cantidad de agua de la mezcla en un 12 % o más, para obtener un concreto de una consistencia deseada, y ayuda al retraso de los tiempos de fraguado del concreto.

### **2.5.8. Tipo S (Aditivos de desempeño específico)**

“Un aditivo que provea las características de desempeño deseables, diferentes a la reducción del contenido de agua o a las del cambio del tiempo de fraguado o a la combinación de ambas, sin producir efectos adversos sobre las propiedades del concreto endurecido y su durabilidad, excluyendo los aditivos que se usan primariamente para la manufactura de productos de concretos moldeados en seco.”<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> COGUANOR. *Aditivos para concreto. Especificaciones*. NTG 41070. p. 9

Figura 1. Requisitos físicos

	Tipo A, Reductor de Agua	Tipo B, Retardante	Tipo C, Acelerador	Tipo D, Reductor de Agua y Retardante	Tipo E, Reductor de Agua y Acelerador	Tipo F, Reductor de Agua, de Alto Rango	Tipo G Reductor de Agua, de Alto Rango y Retardante
Contenido de agua, máx, % del de control	95	...	...	95	95	88	88
Tiempo de fraguado, desviación admisible de control, h:min:							
Inicial: al menos	...	1:00 más tarde	1:00 antes	1:00 más tarde	1:00 más tarde	...	1:00 más tarde
No más de	1:00 antes ni 1:30 más tarde	3:30 más tarde	3:30 antes	3:30 más tarde	3:30 antes	1:00 antes ni 1:30 más tarde	3:30 más tarde
Final: al menos	...	...	1:00 antes	...	1:00 antes	...	...
no más de	1:00 antes ni 1:30 mas tarde	3:30 más tarde	...	3:30 más tarde	...	1:00 antes ni 1:30 más tarde	3:30 más tarde
Resistencia a la compresión, mín, % de la de control: <sup>B</sup>							
1 día	...	...	...	...	...	140	125
3 días	110	90	125	110	125	125	125
7 días	110	90	100	110	110	115	115
28 días	110	90	100	110	110	110	110
90 días	(120) <sup>C</sup>	n/a	n/a	(117) <sup>C</sup>	n/a	(120) <sup>C</sup>	(120) <sup>C</sup>
6 meses	(117) <sup>C</sup>	90	90	100	100	(117) <sup>C</sup>	(117) <sup>C</sup>
1 año	(113) <sup>C</sup>	90	90	(113) <sup>C</sup>	100	(113) <sup>C</sup>	(113) <sup>C</sup>
100	90	90	100	100	100	100	100
Resistencia a la Flexión, mín, % de la de control: <sup>B</sup>							
3 días	100	90	110	100	110	110	110
7 días	100	90	100	100	100	100	100
28 días	100	90	90	100	100	100	100
Cambio de longitud, retracción máx (requisitos alternativos): <sup>D</sup>							
Porcentaje del de control	135	135	135	135	135	135	135
Aumento sobre el de control	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Factor de durabilidad relativa, min <sup>E</sup>	80	80	80	80	80	80	80

Los valores en la tabla incluyen la tolerancia para variación normal en los resultados de ensayo. El objeto del requisito del 90 % de resistencia a la compresión para un aditivo tipo B es requerir un nivel de comportamiento comparable a aquel del concreto de referencia. La resistencia a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo ensayo en cualquier edad de ensayo no debe ser menor del 90 % de la obtenida en cualquiera de las edades de ensayo previas. El objetivo de este límite es requerir que la resistencia a la compresión o a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo ensayo no debe decrecer con la edad. El requisito alternativo, si alguna de las resistencias relativas medidas es mayor que el requisito entre paréntesis, el aditivo debe ser considerado provisoriamente calificado hasta que los resultados de ensayo a 1 año sean obtenidos. El requisito alternativo, vea 17.1.4, % del límite de control es relevante cuando el cambio de longitud de control es 0.030 % o mayor, el incremento sobre el límite de control es relevante cuando el cambio de longitud de control es menor de 0.030 %. Este requisito es aplicable sólo cuando el aditivo va a ser usado en concreto con aire incorporado que puede ser expuesto a congelamiento y descongelamiento mientras está húmedo.

Fuente: COGUANOR NTG 41070.

## **2.6. Clasificación según NTG 41047 (ASTM C1017)**

### **2.6.1. Tipo I (Plastificante)**

Aditivo químico que se adiciona al concreto, para producir un concreto fluido sin la incorporación agua adicional, este no retarda el fraguado del mismo.

### **2.6.2. Tipo II (Plastificante y retardador)**

Aditivo químico que se adiciona al concreto para producir un concreto fluido sin la incorporación agua adicional, y retarda el fraguado del mismo.



### **3. EFECTO DE LOS ADITIVOS EN EL CONCRETO**

#### **3.1. Efecto en el concreto fresco**

El uso de aditivos en el concreto fresco ayuda a incrementar la trabajabilidad sin aumentar la cantidad de agua; reduce la velocidad de la pérdida de asentamiento, modifica la velocidad y el volumen de exudación facilitando también el bombeo del concreto.

##### **3.1.1. Cohesión y manejabilidad**

Entre las características más importantes para aportar una buena cohesión y manejabilidad en el concreto está el tipo de cemento que se utiliza debido a su finura y la composición granulométrica de los agregados. Cuando se adiciona aditivo a la mezcla de concreto adquiere la propiedad de facilitar que sus agregados y pasta de cemento puedan mantenerse en suspensión, así se evita la disgregación de los materiales y facilita la manejabilidad del concreto.

##### **3.1.2. Pérdida de revenimiento**

Cuando el revenimiento del concreto empieza a disminuir su consistencia se da la pérdida y se hace más rígido conforme pasa el tiempo. El aporte que hace en aditivo es alterar las propiedades físicas para mantener la consistencia deseada durante todo el proceso y que no se dé una pérdida gradual significativa.

### **3.1.3. Asentamiento y exudación**

El proceso asentamiento y exudación sucede cuando el concreto está en reposo. Entonces, empieza un proceso natural donde los componentes más pesados (cemento y agregados) empiezan a descender gradualmente, y los componentes menos densos (agua) tienden a subir. La concentración de agua en la parte superior crea una masa de concreto menos resistente y durable, pero como se agrega aditivo, se reduce el contenido de agua y se logra una mezcla más homogénea en todo el volumen del elemento.

### **3.1.4. Tiempo de fraguado**

Cuando el cemento y los agregados entran en contacto con el agua, se generan reacciones químicas mediante las cuales el concreto pierde fluidez y gana rigidez. Después de su endurecimiento adquiere su característica resistencia mecánica. Este es un proceso de evolución gradual, en función de la dosis de aditivo y cantidad de agua usada en la mezcla, por lo cual no puede establecerse el tiempo que dura el mismo.

## **3.2. Efectos en el concreto endurecido**

### **3.2.1. Resistencias mecánicas**

Uno de los factores de gran importancia para que el concreto logre una resistencia mecánica alta es el contenido de silicatos que posea el cemento, ya que puede considerarse que es proporcional a la composición, características y fineza del cemento.



### **3.2.2. ¿Por qué se aumenta la resistencia a la compresión?**

La mezcla de concreto deberá cumplir con los requerimientos de la resistencia especificada  $f'_c$  para la que fue diseñada. La relación a/c está altamente ligada a las propiedades del material final. Al utilizar un aditivo reductor de agua, aumenta la resistencia por la reducción del volumen del agua. Los aditivos retardantes pueden disminuir la resistencia a muy temprana edad (hasta 3 días), en tanto que los aditivos aceleradores y de fraguado neutro incrementan la resistencia temprana (24 horas). A menos que se utilicen tasas muy elevadas de aditivo, podría incrementar hasta un 25% la resistencia a compresión o más sin incrementar el contenido de cemento.

### **3.2.3. ¿Por qué se aumenta la resistencia a la flexión?**

Al utilizar un aditivo reductor de agua a una mezcla de concreto, la resistencia a flexión incrementa gradualmente, pero no son proporcionalmente amplios como los incrementos en la resistencia a la compresión.

### **3.2.4. Generación de calor**

Cuando el cemento se hidrata, se produce una reacción exotérmica, el calor que se genera no se disipa con la misma rapidez con que se produce en el concreto.

### **3.2.5. Reacciones expansivas del concreto**

#### **3.2.5.1. Reacciones álcali-sílice (ASR)**

De acuerdo con Segarra 2005, “La reacción álcali-sílice se produce cuando la disolución alcalina de los poros del hormigón y los minerales silíceos de algunos áridos reaccionan para formar un gel, que, al embeber agua, aumenta de volumen”.<sup>5</sup>

Para que exista una reacción álcali-sílice, deben de existir compuestos de sílice reactiva, álcalis sodio, potasio, y agua. Para que surjan fisuras y expansión en el concreto deberá contar con una cantidad significativa de sílice reactiva, álcalis y una fuente de agua externa.

#### **3.2.5.2. Reacciones álcali-carbonato (ACR)**

La reacción álcali-carbonato se da en los concretos que contienen rocas carbonatadas como áridos. Existen dos clases de reacciones álcali-carbonato: en la primera, las rocas carbonatadas reaccionan con los álcalis presentes en los poros del concreto produciendo expansiones y fisuras nocivas, en la segunda, los álcalis se encuentran en el contorno o perímetro de las partículas de agregados en contacto con la pasta de cemento. Se modifican, desarrollándose bordes sobresalientes entre la partícula y la pasta alterada que la rodea formando una especie de gel que origina una presión debido al crecimiento de los cristales.

---

<sup>5</sup> SEGARRA, J. *Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en el hormigón*. Disponible en Web: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3315/55864-4.pdf>. Consulta 11 de enero de 2016.

### **3.2.5.3. Ataque de sulfatos**

El ataque de sulfatos al concreto es un proceso complejo. Es difícil determinar el mecanismo mediante el cual reacciona y desarrolla la degradación del concreto. Este incremento de volumen provoca un hinchamiento diferencial en la matriz de concreto cuyas tensiones internas asociadas pueden superar la resistencia a tracción del material, causándole fisuras.



## **4. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO**

### **4.1. Composición del concreto**

#### **4.1.1. Cemento**

El cemento posee propiedades adhesivas y cohesivas. "Para formar una mezcla de concreto es importante tomar en cuenta la composición química del cemento, el tipo de cemento para el desarrollo de la resistencia mecánica, su fineza, tiempo de fraguado, grado de hidratación y la composición granulométrica de los agregados.

#### **4.1.2. Agua**

El agua que se usa en el concreto deberá ser potable, exenta de contaminación que afecte la resistencia y el desempeño y eficiencia de ciertos aditivos debido a altas concentraciones de compuestos o minerales. En una mezcla de concreto, el agua representa de un 10 a un 25% del volumen del concreto recién mezclado.

#### **4.1.3. Agregados**

Los agregados representan un 60 a 75% del volumen del concreto recién mezclado y un 70 a 85% de la masa, e influyen directamente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, los agregados pueden ser naturales o artificiales.

#### **4.1.4. Aire**

Durante la mezcla del concreto, queda aire atrapado dentro de la masa. Es importante que, cuando se coloque se compacte suficientemente, para liberar el aire atrapado y el concreto llegue los lugares más estrechos.

#### **4.1.5. Aditivos**

Un aditivo es una sustancia o material diferente al agua, agregados o cementos que se emplean para modificar sus propiedades físicas o mecánicas.

### **4.2. Métodos de dosificación basados en la resistencia a compresión**

#### **4.2.1. Método A.C.I para hormigón convencional**

El método ACI se basa en la resistencia buscada para el concreto que se diseña. Para la estimación del peso de la mezcla, es importante tomar en cuenta la relación máxima agua/cemento la cual asegure la durabilidad y la resistencia del concreto, contenidos mínimos de cemento, contenido de aire, revenimiento, tamaño máximo del agregado grueso y la resistencia.

La cantidad de agua empleada en el diseño de mezcla dependerá de la tipología de agregado que se utilizara, el tamaño máximo del agregado grueso debe ser económico y compatible con las dimensiones y características de la estructura.

De acuerdo con los requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-11), el tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor a:

- "1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado ni a
- 1/3 de la altura de la losa ni a
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos."<sup>6</sup>

Es importante conocer la humedad que poseen los agregados, para disminuir el contenido de agua que se empleara en la mezcla. De esta manera, aporta un incremento en la resistencia. El concreto debe ser bombeable para que pueda ser aplicado en secciones estrechas. Para el proceso de compactación es recomendable emplear un concreto de consistencia blanda y, si el concreto se va compactar por vibración energética, se puede utilizar consistencia seca.

Tabla II. **Revenimiento de concreto según su consistencia**

<b>Consistencia</b>	<b>Cono de Abraham (cm)</b>	<b>Tolerancia</b>
<b>Seca</b>	0 – 2	+ 1
<b>Plástica</b>	3 – 5	±1
<b>Blanda</b>	6 – 9	±2
<b>Fluida</b>	10 - 15	±3
<b>Líquida</b>	16 - 20	±4

Fuente: elaboración propia, con información de ACI 211.1

Estimación del contenido de agua y aire para un diseño de mezcla.

<sup>6</sup> ACI 318S-11, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute. [http://www.academia.edu/12170557/ACI\\_318-11\\_Espa%C3%B1ol](http://www.academia.edu/12170557/ACI_318-11_Espa%C3%B1ol). Consulta: 11 de enero de 2016.

**Tabla III. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenidos de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado**

Revenimiento (cm)	Agua, (lt/m <sup>3</sup> ) para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado.							
	9.5 mm (3/8")	12.5mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	38 mm (1 1/2 ")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
Concreto sin aire incluido								
2.5 – 5.0 (1" – 2")	209	199	190	179	166	154	130	113
7.5 – 10 (3" – 4")	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 – 17.5 (6"- 7")	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
2.5 – 5.0 (1" – 2")	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 – 10 (3" – 4")	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 – 17.5 (6"- 7")	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición.								
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	7	6	5,5	5	4,5	4

Cuando se emplean aditivos químicos reductores de agua a la mezcla de concreto, puede reducir en un 5 por ciento o más. Dichas especificaciones están en la norma (ASTM C 494 o NTG 41070). Los valores del asentamiento para concreto con agregado mayores que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo.

Las cantidades de agua que se emplean son importantes para determinar el asentamiento, estos contenidos de agua están directamente relacionados con los valores del tamaño máximo nominal de los agregados, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o NTG-41007). La norma (ASTM C 94 o NTG 41068) para concreto premezclado contiene las especificaciones las tolerancias de asentamiento, contenido de aire incorporado, muestreo y ensayo de concreto fresco, características de la mezcladora y equipo utilizado entre otras.

Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto, cuando el volumen del mortero es diferente del que se determinó en obra, es conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando en cuenta un 9% del volumen del mortero.

Fuente: adaptado de ACI 211.1

La tabla III muestra el contenido aproximado de una mezcla de concreto con sus diferentes revenimientos y tamaños de los agregados. También se



incluye el volumen aproximado de aire atrapado, en porcentaje, que están altamente ligados al grado de exposición del concreto, para que tengan un alto periodo de vida en los ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

También se puede tomar en consideración la tabla IV para la estimación de la cantidad de agua de una mezcla. Los valores de la tabla IV corresponden a una mezcla sin aire incorporado.

**Tabla IV. Contenido de agua de mezcla**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso.		Contenido de agua en el concreto, expresado en (lt/m <sup>3</sup> ), para los revenimientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm - 50mm (1" - 2")		75mm - 100mm (3" - 4")		150mm - 175mm (6" - 7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondo.	Agregado anguloso.	Agregado redondo.	Agregado anguloso.	Agregado redondo.	Agregado anguloso.
9,5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12,7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19,1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25,4	1"	163	182	178	197	197	216
38,1	1 1/2"	155	170	170	185	185	204
50,8	2"	148	163	163	178	178	197
76,2	3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: adaptado de ACI 211.1

Después de haber determinado el valor de la cantidad de agua y de aire atrapado por metro cúbico de concreto, se calcula el volumen de agua que ocupa dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$Volumen\ de\ agua(m^3) = \frac{Contenido\ de\ agua\ mezclado\ (lts/m^3)}{Peso\ especifico\ del\ agua\ (1\ 000\ kg/m^3)}$$

Selección de relación agua/cemento o agua/materiales cementantes.

Para seleccionar la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes existen dos criterios:

- Resistencia
- Durabilidad

#### 4.2.1.1. Resistencia

En Guatemala, existe una gran variedad de agregados, cementos, materiales cementantes, cuyo uso dependerá de la necesidad de los consumidores, y, aunque se utilice una misma relación agua/cemento o agua/materiales cementantes, generalmente se producen resistencias diferentes.

Tabla V. **Relación agua/cemento o agua/materiales cementantes, resistencias a compresión**

<b>Correspondencia entre la relación agua/cementos o agua/materiales cementantes y la resistencia a la compresión del concreto</b>		
Resistencia a la compresión a los 28 días en $kg/cm^2$ .	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: adaptado de ACI 211.1

#### 4.2.1.2. Durabilidad

La durabilidad de una estructura dependerá mucho del mantenimiento, de la adecuada elección de la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes. Además, de las relaciones máximas permisibles para concretos sujetos a exposiciones severas de ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Tabla VI. **Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sujetos a exposiciones severas**

<b>Relaciones agua/cemento o agua/materiales cementantes máximas permisibles para concretos sujetos a exposiciones severas.</b>		
<b>Tipo de estructuras.</b>	<b>Estructura continuamente húmeda o frecuentemente expuesta a congelamiento y deshielo.</b>	<b>Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos.</b>
Secciones delgadas (Bardas, bordillos, cornisas, y trabajos ornamentales) y secciones con menos de 5 mm de recubrimiento sobre el refuerzo.	0,45	0,40
Todas las estructuras.	0,50	0,45

Fuente: adaptado de ACI 211.1

Tabla VII. **Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volúmenes unitarios de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2,4	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8")	0,5	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

La estimación de del contenido de agregados se basan en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma (ASTM C 29 o NTG 41010h2) Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (Masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados. Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad que son adecuados para las construcciones con refuerzo común.

Para concretos menos trabajables, como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aprox.

Para concretos más trabajables, como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un10%.

Fuente: adaptado de ACI 211.1

Tabla VIII. **Estimación del peso del concreto**

Tamaño máximo nominal del agregado		Primera estimación del peso del concreto fresco en $kg/m^3$	
mm	Pulg.	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido.
9,5	3/8"	2 280	2 200
1,5	1/2"	2 310	2 230
19	3/4"	2 345	2 275
25	1"	2 380	2 290
37,5	1 1/2"	2410	2 350
50	2"	2 445	2 345
75	3"	2 490	2 405
150	6"	2 530	2 435

Fuente: adaptado de ACI 211.1

#### 4.2.2. Método de la Peña

El método de dosificación de la Peña está basado en la resistencia media a compresión de concreto estructural, en la que se considera las condiciones de trabajo como "buenas".

Se considera condiciones buenas aquellas en las cuales los componentes del cemento han sido sometidos a controles de calidad frecuentes. El volumen de los agregados ha sido cuidadosamente medido y los ajustes realizados del contenido de agua de la mezcla debido a la humedad que poseen los agregados entre otras.

Tabla IX. **Resistencia media del concreto**

Condiciones de trabajo previas a la ejecución	Coefficiente de vibración	Resistencia media necesaria en laboratorio, $f_{cm}$ en $N/mm^2$
Medias	0, 20 a 0, 25	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} + 2,0 N/mm^2$
Buenas	0, 15 a 0, 20	$f_{cm} = 1,35 f_{ck} + 1,5 N/mm^2$
Muy buenas	0, 10 a 0, 15	$f_{cm} = 1,20 f_{ck} + 1,0 N/mm^2$

Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal para Hormigones de Alta y Baja Densidad*. p.47.

Esta tabla define la resistencia media del concreto, con base en la resistencia característica, y en función de las condiciones de trabajo previas a la ejecución y el coeficiente de vibración.

Después de que se define la resistencia media, se determina la relación cemento/ agua en peso, con la siguiente ecuación:

$$Z = K f_{cm} + 0,5$$

Donde:

$Z$ : Relación cemento/agua, en peso.

$f_{cm}$ : Resistencia media del hormigón en  $N/mm^2$  a los 28 días en probeta cilíndrica normalizada de 15Ø x 30.

$K$ : Parámetro definido en la tabla X. que depende del cemento y los áridos utilizados.

Tabla X. **Determinación de k parámetro según el tipo de cemento y los agregados utilizados**

Cemento (según tipo de resistencia)	Agregado rodado	Agregado Machacado
22, 5	0, 072	0, 045
32, 5	0, 054	0, 035
42, 5	0, 045	0, 030
52, 5	0, 038	0, 026

Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal para Hormigones de Alta y Baja Densidad*. p. 48

Este método es aplicado considerando un tamaño máximo nominal del árido que corresponda a la abertura del tamiz más pequeño que retenga el 25%, del contenido más grueso del agregado.

Tabla XI. **Cantidad de agua en  $dm^3$  por  $m^3$  de concreto**

Consistencia	Revenimiento en cono de Abrams (cm)	Arena y grava natural			Arena y agregados machacado		
		80mm	40mm	20mm	80mm	40mm	20mm
Seca	0 a 2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3 a 5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6 a 9	165	185	205	185	205	225
Fluida	10 a 15	180	200	220	200	220	240

Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal para Hormigones de Alta y Baja Densidad*. p. 49.

Determinación del peso del cemento median te la ecuación:

$$P_c = V_a * Z$$

Donde:

$P_c$ : Peso del cemento

$V_a$ : Volumen de agua

Z: Concentración o relación cemento/agua

**Tabla XII. Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento de acuerdo al tipo de hormigón y tipo de exposición**

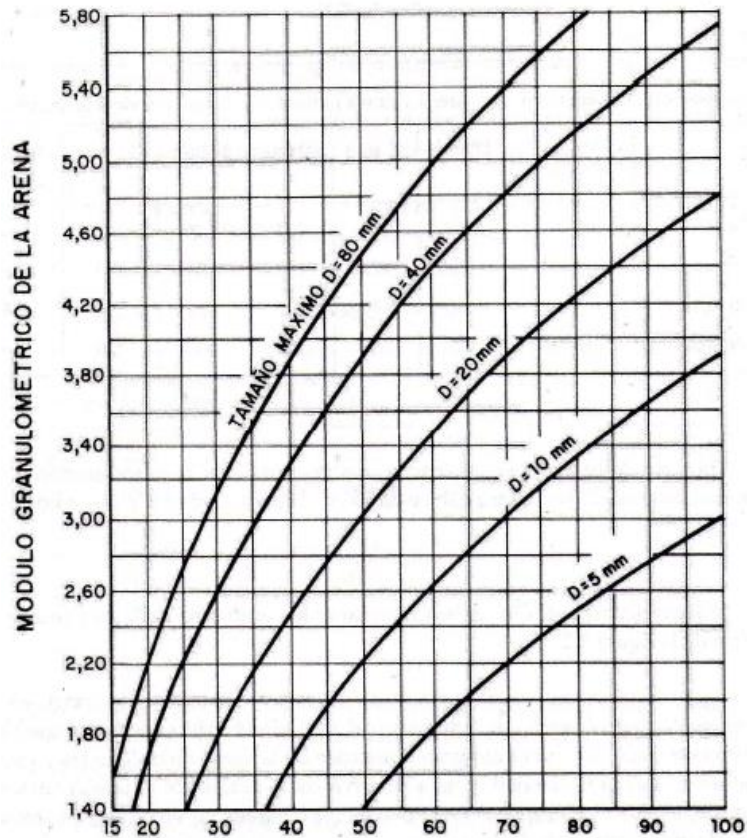
Parámetro de dosificación	Tipo de Concreto	Clase de exposición.												
		Ia	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima relación a/c	Masa	0,65							0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m3)	Masa	200							275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal para Hormigones de Alta y Baja Densidad*. p. 50.

Si los datos antes calculados, son inferiores a los de la tabla XII, se deberá utilizar los valores de dicha tabla, por ser los valores más restrictivos.



Figura 2. **Porcentaje de arena, en función de su módulo granulométrico y del tamaño máximo del árido**



Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal Para Hormigones De Alta Y Baja Densidad*. p. 51.

“Digamos que  $ta_1, ta_2, ta_3, \dots, ta_i, \dots, ta_n$  son los porcentajes de arena que resultan al considerar mezclas binarias con cada una de las fracciones de árido tomadas de menor a mayor tamaño.”<sup>7</sup>

<sup>7</sup> CORREA CAMARGO, Diana. *Dosificación Ponderal Para Hormigones De Alta Y Baja Densidad*.  
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13490/TESINA%20DEFINITIVA%20CORR%20EGIDA.pdf>. Consulta 7 de junio de 2016.

El porcentaje de arena en volumen absoluto, con respecto a la suma del volumen absoluto de todos los agregados que entran en el concreto es:

$$t_o = t_{an}$$

El porcentaje total de la mezcla corresponde a la fracción de menor tamaño la cual es:

$$t_1 = t_{an} \frac{100 - t_{a1}}{t_{a1}}$$

El porcentaje de fragmento del tamaño en segundo lugar de menor a mayor es:

$$t_2 = t_{an} \frac{100 - t_{a2}}{t_{a2}} - t_1$$

El porcentaje del fragmento que ocupa el lugar  $i$ , por su tamaño máximo es:

$$t_i = t_{an} \frac{100 - t_{ai}}{t_{ai}} - (t_1 + t_2 + \dots + t_{i-1})$$

La sumatoria de los porcentajes de los áridos deberá ser 100.

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

El volumen de la pasta, que se utilizará para una dosificación de cemento de  $300 \text{ kg/m}^3$ , será:

$$V_p = V_a + \frac{C}{D_c}$$

Donde:

$V_p$ : Volumen de la pasta por metro cúbico

$C$ : Dosificación de cemento, utilizando este método siempre será  $300 \text{ kg/m}^3$ , si el valor fuera diferente se tendrá que realizar las respectivas correcciones.

$V_a$ : Volumen de agua por metro cúbico de mezcla.

$D_c$ : Densidad del cemento, depende del tipo de cemento empleado

### **4.3. Métodos de dosificación basados en el contenido de cemento**

#### **4.3.1. Método de Füller**

El método de Füller se aplica cuando los agregados no cumplen con la Norma ASTM C33 (COGUANOR 41007). Para la dosificación se deberá utilizar más de 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto, el tamaño máximo del agregado grueso deberá estar entre 20mm (3/4") y 50mm (2").

Al aplicar el método se considera como tamaño máximo del agregado de la abertura del tamiz menor que retiene menos del 25% (pasa más del 75%), sólo el agregado de mayor tamaño (la grava), excluyéndose los grandes cantos de dimensiones anormales.

Para encontrar la relación agua/cemento se utiliza la ecuación:

$$a/c = \frac{1}{Z}; \quad Z = K_1 R_m + 0,5$$

Donde:

$K_1$ : Factor que depende de la forma de los agregados, que va de 0,0030 a 0,0045 para piedra chancada y de 0,0045 a 0,0070 para piedra redonda.

$R_m$ : Resistencia promedio requerida.

#### **4.3.1.1. Cálculo de contenido de cemento**

Una vez determinada la relación agua/cemento y el contenido de agua para el diseño de mezcla, se determina la cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto que se obtiene dividiendo la cantidad de agua por la relación agua/cemento. Debido a la diversidad y tamaño de las obras, es posible que se establezca una cantidad mínima de cemento. Este requerimiento se establece para obtener una buena trabajabilidad, calidad y economía, como un trabajo final satisfactorio.

$$\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento (kg/m}^3\text{)}}$$

#### **4.3.1.2. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino**

En el método de Füller se usa la curva granulométrica de referencia. De esta manera, se obtiene una buena compacidad y maleabilidad. A esto se le llama Parábola de Gessner, que está definida por la siguiente ecuación:

$$P_d = 100 * \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Donde:

$P_d$  = % que pasa por la malla  $d$

$d$  = Abertura de la malla de referencia

$D$  = Tamaño máximo del agregado grueso

Existen ciertos parámetros que determinan las características granulométricas de los áridos:

- El tamaño máximo de agregado.
- La compacidad del agregado. Que es la relación entre su volumen real y su volumen aparente. Cuando existe mayor compacidad en los agregados, se disminuirá la cantidad de vacíos que existen en los mismos, como también la cantidad de pasta de cemento necesaria para rellenarlos.
- El contenido de granos finos, aumenta la maleabilidad y trabajabilidad del concreto. Al usar una incorrecta proporción y una gran cantidad de finos, hace que demande más contenido de agua y cemento en los concretos.

La relación del agregado fino y el agregado grueso, el volumen absoluto, se determinan gráficamente:

- Se dibuja las curvas granulométricas de los agregados.
- En la misma tabla se dibuja la parábola de Füller (Ley de Füller).
- Se traza una vertical en la malla no. 4, en la cual se determinará 3 puntos en las curvas trazadas.



La figura no. 2 muestra un ejemplo de cómo se determinan las proporciones del agregado fino y agregado grueso en relación al volumen total de agregados por metro cúbico de concreto.

Después de tener las proporciones adecuadas para la mezcla de concreto, se pueden calcular los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  mediante las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} * 100$$

$$\beta = 100 - \alpha$$

Una vez obtenidos los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , se calcula el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto, con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Volumen total de agregados} = 1 - (\text{vol. agua} + \text{vol. aire} + \text{vol. cemento})$$

$$\text{Volumen de agregado fino}(m^3) = \frac{\alpha}{100} * \text{vol. total de agregados}(m^3)$$

$$\text{Vol. de agregado grueso}(m^3) = \frac{\beta}{100} * \text{vol. total de agregados}(m^3)$$

Se procede a calcular los pesos del agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso agregado fino}(kg/m^3) = \text{Vol. ag. fino} * \text{Peso específico del ag. fino}$$

$$\text{Peso agregado grueso}(kg/m^3) = \text{Vol. ag. grueso} * \text{Peso específico del ag. grueso}$$

#### 4.3.2. Método de Bolomey

En 1926 Bolomey, en Francia, propuso un método para la dosificación de concreto, que puede considerarse como un perfeccionamiento del método Füller. Utilizando este método se obtiene un concreto económico en cemento con base en sus resistencias, consistencia de la masa y forma de los agregados.

Se utiliza el mismo criterio que el método de Füller para determinar el tamaño máximo del árido, como también la cantidad de agua.

El siguiente paso es determinar la cantidad de cada agregado para una correcta proporción. En este punto, se realizan las modificaciones respecto al método Füller, debido a que Bolomey utiliza una curva de referencia de granulometría variable en función de la consistencia que se desea para el concreto. También se deberá tener en cuenta el tamaño máximo de árido. La curva de Bolomey está definida con la siguiente ecuación:

$$P = a + (100 - a) * \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Donde:

P= Porcentaje de material en volumen que pasara por el tamiz d.

d= Abertura en mm del tamiz empleado en el análisis granulométrico.

D= Tamaño máximo del árido en mm.

a= Coeficiente variable, en función del tipo de árido y de la consistencia del concreto de acuerdo a la tabla XIII.



Tabla XIII. **Valores de a en función de la tipología del agregado y la consistencia del concreto**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Consistencia del concreto</b>	<b>Valor de a</b>
Rodado	Seca – Plástica	10
	Blanda	11
	Fluida	12
Machacado	Seca – Plástica	12
	Blanda	13
	Fluida	14

Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal Para Hormigones De Alta Y Baja Densidad*. p. 16.

#### **4.3.2.1. Cálculo de contenido de agua**

Para determinar el contenido de agua se considera el tamaño máximo y el tipo de agregado. El tamaño máximo del agregado corresponde al tamiz más pequeño del juego de tamices utilizados que retenga menos del 25% del peso total del agregado. La cantidad de agua empleada corresponde con el tipo de agregado, tamaño y consistencia que deberá tener el concreto.

Tabla XIV. **Determinación de contenido de agua ( $lt/m^3$ )**

Consistencia del concreto	Agregado de canto rodado			Agregado de machaqueo		
	80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	135	155	175	155	175	195
Plástica	150	170	190	170	190	210
Blanda	165	185	205	185	205	225
Fluida	180	200	220	200	220	240
Líquida	195	215	235	235	235	255

Fuente: CORREA CAMARGO. *Dosificación Ponderal Para Hormigones De Alta Y Baja Densidad. p. 17*

A continuación, se calcula el volumen relativo de las partículas del árido que se incorporara al concreto. Para ello, se parte de la base de que 1 000 l de concreto endurecido suponen 1 025 l de concreto fresco.

$$1\ 025 = A + V_c + V_a$$

Donde:

$A$  =Volumen de agua extraído de la tabla XIV.

$V_c = C/\rho_c =$  Volumen relativo del cemento,  $C =$  dosificación de cemento ( $kg/m^3$ ).

$V_a =$ Volumen total relativo de agregado.

En el método de Füller consiste en repartir  $V_a$  proporcionalmente a los porcentajes obtenidos después de los ajustes de la parábola de Gessner. En cambio, el método Bolomey considera al cemento como un agregado más, por lo tanto, el volumen por reparar se determina con la siguiente ecuación:

$$V_c + V_a = 1025 - A$$

#### **4.4. Método del volumen absoluto usando varios materiales cementantes y aditivos**

##### **4.4.1. Método de Walker**

Método elaborado por Walker. En él se proporciona una tabla (Tabla XV) que permite determinar el porcentaje aproximado de agregado fino en función del volumen total de agregados, con relación al módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el contenido de cemento en la unidad cubica de concreto.

El método de Walker requiere estudios previos de los materiales empleados en la construcción entre los cuales están:

- Determinación de peso específico
- Absorción
- Contenido de humedad
- Módulo de finura
- Tamaño máximo nominal
- Peso seco compactado
- Perfil de los agregados
- Peso específico del cemento
- Calidad del agua

Tabla XV. **Porcentaje de agregado fino**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Agregado de canto rodado				Agregado de canto machaqueo			
		Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico				Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico			
mm	Pulg.	5	6	7	8	5	6	7	8
Agregado Fino-Módulo de fineza de 2.3 a 2.4									
10	3/8	60	57	54	51	69	65	61	58
12.5	½	49	46	43	40	57	54	51	48
20	¾	41	38	35	33	48	45	43	41
25	1	40	37	34	32	47	44	42	40
40	1 ½	37	34	32	30	44	41	39	37
50	2	36	33	31	29	43	40	38	36
70	3	34	32	30	28	41	38	36	34
Agregado fino-Módulo de fineza de 2.6 a 2.7									
10	3/8	66	62	59	56	75	71	67	64
12.5	½	53	50	47	44	61	58	55	53
20	¾	44	41	38	36	51	48	46	44
25	1	42	39	37	35	49	46	44	42
40	1 ½	40	37	35	33	47	44	42	40
50	2	37	35	33	32	45	42	40	38
70	3	55	33	31	30	43	40	38	36
Agregado fino-Módulo de fineza de 3 a 3.1									
10	3/8	74	70	66	62	84	80	76	73
12.5	½	59	56	53	50	70	66	62	59
20	¾	49	46	43	40	57	54	51	48
25	1	47	44	41	38	55	52	49	46
40	1 ½	44	41	38	36	52	49	46	44
50	2	42	38	36	34	49	46	44	42
70	3	39	36	34	32	46	43	41	39

Fuente: elaboración propia.

Los valores de la tabla XV corresponden a porcentajes del agregado fino con relación al volumen absoluto total de agregado, como también al agregado grueso angular en concretos de peso normal sin aire incorporado.

Se obtienen los valores de  $\alpha$  de la tabla XV (porcentaje de agregado fino), por consiguiente se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\text{Volumen total de agregados} = 1 - (\text{vol. agua} + \text{vol. aire} + \text{vol. cemento})$$

$$\text{Volumen de agregado fino}(m^3) = \frac{\alpha}{100} * \text{vol. total de agregados}(m^3)$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. de agregado grueso}(m^3) \\ = \text{vol. total de agregados} - \text{vol. agregado fino}(m^3) \end{aligned}$$

Los pesos de los agregados en metro cúbico de concreto son:

$$\text{Peso del gregado fino}(kg/m^3) = \text{vol. AF} * \text{peso específico AF}$$

$$\text{Peso del gregado grueso}(kg/m^3) = \text{vol. AG} * \text{peso específico AG}$$

#### **4.4.1.1. Ajustes de humedad y absorción**

Se deberá sacar el contenido de humedad de los agregados porque afecta directamente la mezcla. Dependiendo del estado del material respecto a su humedad y finura demandara más o menos contenido de agua.

Si:

$$\text{Agregado Grueso} = \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado fino} = \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ absorción} = \%a_f \end{cases}$$

#### 4.4.1.2. Pesos de agregados húmedos

$$\text{Peso A. grueso humedo}(kg) = (\text{Peso A. grueso seco}) * \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino humedo}(kg) = (\text{Peso A. fino seco}) * \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

#### 4.4.1.3. Agua efectiva

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) * \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) * \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva (lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

#### 4.4.2. Método de Faury

En el año de 1942 fue propuesto el método de Faury, como resultado de estudios relacionados con el concreto realizados por Caquot. Faury propone una nueva ley granulométrica de tipo continuo que depende de la raíz quinta del tamaño del agregado ( $\sqrt[5]{d}$ ). Este método es aplicable en concretos en masa o

armados, es decir en concretos densamente armados y en estructuras prefabricadas.

El tamaño máximo del agregado según el método de Faury, es el que representa la mayor abertura de tamiz por el cual pasa todo el agregado, y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) * \frac{x}{y}$$

Donde:

$D$  =Tamaño máximo del agregado, superior a  $d_1$ .

$d_1$  =Tamiz de mayor abertura en el que queda retenido algo del agregado más grueso.

$d_2$  =Tamiz inmediatamente menor.

$x$  =Peso del agregado retenidos en  $d_1$ .

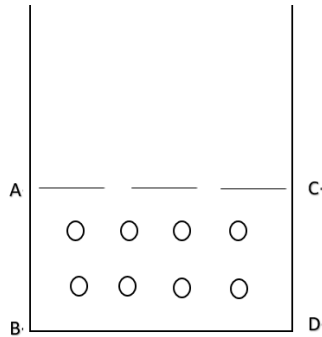
$y$  =Peso del agregado retenidos en  $d_2$  y que pasan por  $d_1$ .

#### 4.4.2.1. Radio medio de encofrado

Este definido por la relación entre el volumen del molde a su superficie. En este caso, no se considera el volumen de todo el molde sino de la zona donde se encuentre muy densa en su armadura. Y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V}{S} = \frac{(AB)(BC)(Largo) - V_{Varillas}}{(AB) + (BD) + (DC) + S_{Varillas}}$$

Figura 4. **Determinación de radio medio de encofrado**



Fuente: elaboración propia.

Después de determinar el radio medio del encofrado “ $R$ ” y el tamaño máximo del agregado “ $D$ ” se calcula la relación  $D/R$  conocido como el efecto pared. Debido al efecto pared el tamaño máximo de agregado “ $D$ ” que se empleará para la fundición de cierta pieza deberá cumplir:

$$0.8 < \frac{D}{R} < 1.0$$

Esta relación significa que los agregados utilizados en el concreto armado su tamaño máximo empleado estará entre 20 y 25 mm ( $3/4$ ” y 1”). Cuando el concreto se coloca en estructuras masivas se puede asumir dicha relación como  $D/R = 0$ .

El método de Faury hace referencia a la curva granulométrica ideal que conduce a la compacidad máxima del agregado (mínimo de huecos) a una función constituida por dos rectas con diferente pendiente. Una corresponde a la mezcla de finos y de tamaño regular desde 0 a  $D/2$  y la otra corresponde al agregado grueso desde  $D/2$  a  $D$ . El punto de intersección entre las dos rectas



corresponde a un valor de abscisas de  $D/2$  y el valor de las ordenadas "y" será en relación del valor de  $D$ , de la forma de los agregados, del defecto pared y de la potencia de la compactación, y se define con la siguiente ecuación:

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75}$$

Donde:

$D$  =Tamaño máximo del agregado en mm.

$R$  =Radio medio de la pieza en mm.

$A$  =Coeficiente que depende de la forma del agregado y los medios de compactación del concreto cuyo valor se indica en la Tabla XVII.

$B$  =Coeficiente que depende de la compactación del concreto cuyo valor se indica en la Tabla XVI.

Tabla XVI. **Valores de B, en función de la compactación del concreto**

Compactación del concreto	Valores de B
Vibración normal	1,5
Vibración potente	1,0

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XVII. Valores de A en función de la forma del agregado y los medios de compactación del concreto**

Condiciones en la colocación del concreto en obra	Revenimiento	Valores de A		
		Arenas y gravas rodadas	Arena rodada y agregados gruesos de machaqueo	agregado fino y grueso de machaqueo
Consistencia muy fluida, puesta en obra sin compactar	>15	≥32	≥34	≥38
Consistencia muy fluida, compactación débil	10 - 15	30 - 32	32 - 34	36 - 38
Consistencia blanda, compactación media	5 - 10	28 - 30	30 - 32	34 - 36
Consistencia seca, alta compactación	2 - 5	26 - 28	28 - 30	32 - 34
Consistencia muy seca, compactación potente	0,5 - 2	24 - 26	26 - 28	30 - 32
Consistencia de tierra húmeda, compactación muy potente	0	22 - 24	24 - 26	28 - 30
Compactación Excepcionalmente potente	-	≤ 22	≤ 24	≤ 28

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2.2. Determinación de volúmenes de huecos

Se ha determinado, experimentalmente, que el origen del volumen de huecos que se presenta en la mezcla de concreto depende de la consistencia de la mezcla, naturaleza de los agregados, grado de compactación y el tamaño máximo del agregado y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_h = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75}$$

Donde:

$D$  =Tamaño máximo del agregado en mm.

$V_h$  =Volumen de huecos.

$K$  =Coeficiente que depende de la consistencia del concreto, la naturaleza de los agregados y el grado de compactación, sus valores están indicados en la tabla XVIII.

$K'$  =Coeficiente que depende del grado de compactación y que toma el valor de 0.003 para compactaciones normales y de 0,002 para compactaciones muy enérgicas.

Tabla XVIII. **Valores de K, en función de la tipología de los agregados y de la consistencia de la mezcla de concreto**

Puesto en obra	Valores de K		
	Arenas y grava rodadas	Arenas rodadas y agregado grueso de machaqueo	agregado fino y grueso de machaqueo
Consistencia muy fluida puesta en obra sin compactar	0,370	≥ 0,405	≥ 0,405
Consistencia blanda, compactación media	0,35 – 0,37	0,375 – 0,405	0,43 – 0,46
Consistencia seco plástica, compactación muy cuidada	0,33 – 0,35	0,355 – 0,385	0,40 – 0,43
Consistencia tierra húmeda, compactación muy potente.	0,25 – 0,33	0,33 – 0,35	0,35 – 0,37
Compactación excepcionalmente potente	≤ 0,25	≤ 0,33	≤ 0,35

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2.3. Contenido de agua

El contenido de agua  $V_a$  que se aplicara para la mezcla de concreto, se obtiene multiplicando la proporción de huecos encontrada por 1 000. En caso de aplicar inclusores de aire se debe restar el aire incorporado, al volumen de huecos.

$$\text{Peso de agua} = A = 1\ 000 * (V_h - V_a)$$

#### 4.4.2.4. Cantidad de cemento

Se determina mediante la siguiente ecuación el porcentaje en volumen absoluto de cemento con respecto al volumen absoluto de los sólidos en el concreto.

$$\%C = \frac{C}{1\,000 * P_c * (1 - H)}$$

Donde:

$\%C$  =Porcentaje en volumen absoluto de cemento

$C$  =Dosificación del cemento en  $kg/m^3$

$P_c$  =Densidad relativa del cemento en  $kg/dm^3$

$H$  =Volumen de huecos en  $l/dm^3$

#### 4.4.2.5. Proporciones de agregados

Para manejar el método por tanteo requiere de práctica y experiencia. Es bastante cómodo y rápido obtener la mezcla que mejor se adapte a la curva de referencia.

El método gráfico es muy útil y preciso en el cual se guía por las curvas granulométricas de los agregados. Las proporciones de cada agregado se obtiene levantando verticalmente en las zonas de frontera de agregados consecutivos, en los puntos donde estas verticales cortan a la curva de referencia se lee en el eje de las ordenadas los porcentajes de los materiales.

Para determinar las proporciones de una mezcla con diferentes tamaños de agregados, se supone un tipo de arena, dos tipos de agregados y se determina la siguiente ecuación:

$$c + a + g_1 + g_2 = 1$$

Donde:

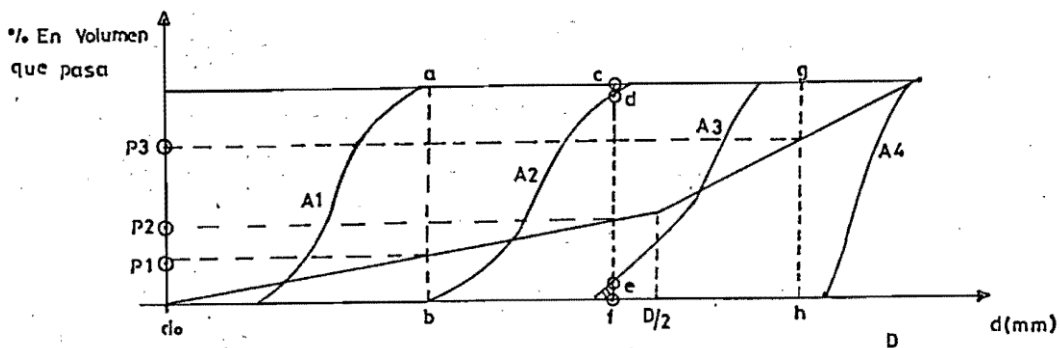
$c$  = Proporción de cemento

$a$  = Proporción de arena

$g_1$  = Proporción de agregado medio

$g_2$  = Proporción de agregado grueso

Figura 5. **Dosificación grafica de agregados por Faury**



Fuente: ORLANDO GIRALDO BOLÍVAR. *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón.*  
p. 162.

En el caso de los agregados A1 Y A2 no hay duda de la dimensión frontera de ambos. Se traza la vertical ab y se lee en el eje de las ordenadas el porcentaje  $P_1$ .

“Para los agregados A2 y A3 que se traslapan, la dimensión frontera es aquella donde  $cd$  es igual a  $ef$ . Se traza la línea  $ef$  y se lee el porcentaje  $P_2$ . Finalmente, para los agregados A3 y A4 la dimensión frontera puede considerarse como la abertura de tamiz correspondiente a la media de las abscisas extremas de la frontera de los agregados, trazando la línea de  $gh$  leemos %  $P_3$ .”<sup>8</sup>

#### 4.4.2.6. Índices ponderales

Los índices ponderales se refieren a un procedimiento matemático. Este es igual a la suma de los productos obtenidos multiplicando la proporción en volumen absoluto de cada tamaño por el índice ponderal correspondiente. Cada tamaño de áridos existe un índice ponderal como se muestran en la tabla XIX.

Tabla XIX. Valores de índices ponderales ( $I_p$ ) para agregados

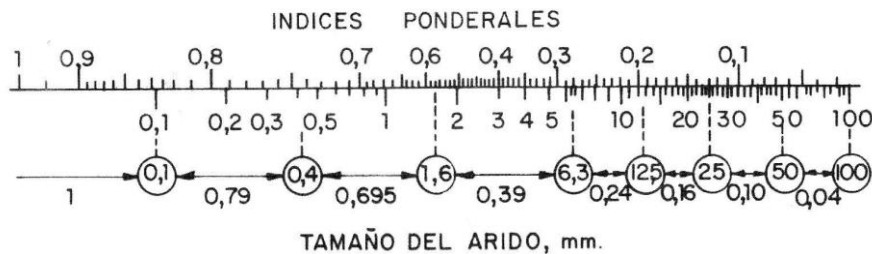
Tipo de agregado	Tamaño de partículas en (mm)	Índice ponderal
Lodos y cemento	< 0,1	1000
Arena fina	0,1 – 0,4	0,790
Arena media	0,4 – 1,6	0,695
Arena gruesa	1,6 – 6,3	0,390
Grava fina	6,3 – 12,5	0,240
Grava media	12,5 – 25,0	0,160
Grava gruesa	25,0 – 50,0	0,100
Piedras	50,0 – 100,0	0,040

Fuente: elaboración propia.

<sup>8</sup> GIRALDO BOLÍVAR, Orlando. *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón* <http://www.bdigital.unal.edu.co/40215/1/3352874.19873.pdf>. Consulta 8 de noviembre de 2016.

Si en la tabla XIX no se encontrara el índice ponderal de ciertos áridos cuyos límites de tamaño no se encuentran, se utiliza la siguiente figura

Figura 6. **Índices ponderales**



Fuente: ORLANDO GIRALDO BOLÍVAR. *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón*. p. 164.

La escala inferior representa los tamaños en mm. De las partículas de los agregados y la escala superior, representa los valores de los índices ponderales. Utilizando la Figura 5. El índice se determina encontrando el punto medio entre los límites del tamaño del agregado (en la parte inferior de la escala) y leyendo el índice correspondiente a dicho punto (en la parte superior de esta). Se tiene que, si  $f$ ,  $F$ ,  $M$  y  $G$  son proporciones de "Filler", arena fina, media y gruesa respectivamente, contenido en la arena disponible, el índice ponderal en conjunto granos inferiores de 6,3 mm es lo siguiente:

$$(c + af) * 1 + aF * 0,79 + aM * 0,695 + aG * 0,39 = c + a(f + 0,79 * F + 0,695M + 0,39G)$$

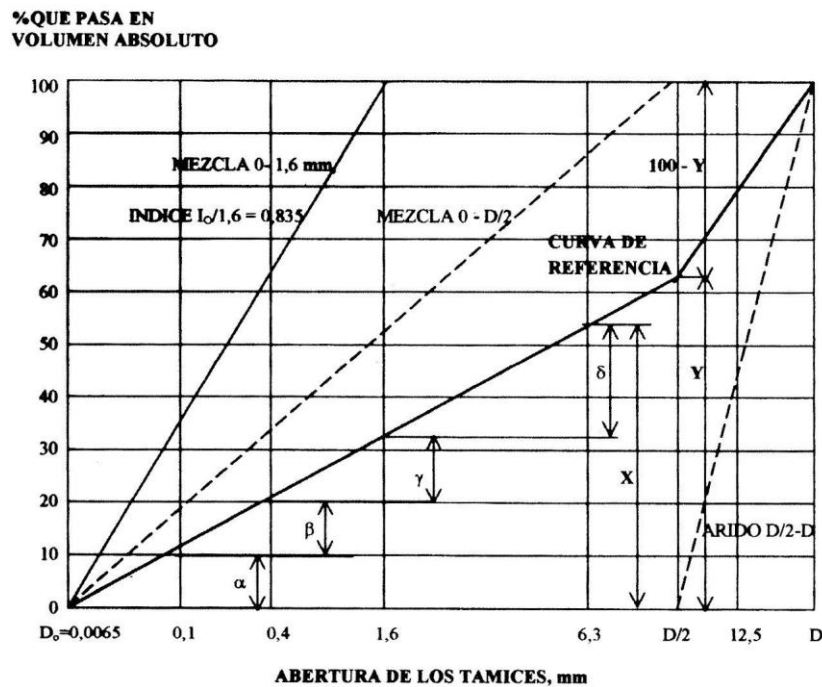
Este índice ponderal ha de ser igual al del conjunto de granos menores a 6,3mm del concreto de referencia, que se obtiene midiendo las ordenadas correspondientes en dicha curva y calculando el índice ponderal. En la gráfica de la Figura 6 se define el caso particular de tres agregados.



Así pues, se tiene que el índice del anterior conjunto viene dado por la siguiente expresión:

$$\frac{\alpha}{100} * 1 + \frac{\beta}{100} * 0,79 + \frac{\gamma}{100} * 0,695 + \frac{\delta}{100} * 0,39$$

Figura 7. **Curva de Faury**



Fuente: ORLANDO GIRALDO BOLÍVAR. *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón.* p. 165.

Se utiliza la curva de referencia, y x es el porcentaje de granos menos de 6,3 mm, el índice ponderal a utilizar incluye en la siguiente expresión:

$$\frac{x}{100} * I_0/6,3$$

Con la anterior expresión se obtiene la segunda ecuación:

$$c + a + I'_a + g_1 + I'_{g1} + g_2 + I'_{g2} = \frac{x}{100} * I'_0/6,3$$

Donde:

$c, a, g_1$  y  $g_2$  = Definidos anteriormente.

$I'_a$  = Índice ponderal de los granos de arena de tamaño inferior a 6,3 mm

$I'_{g1}$  = Índice ponderal de los granos de agregado fino de tamaño inferior a 6,3 mm

$I'_{g2}$  = Índice ponderal de los granos de agregado grueso de tamaño inferior a 6,3 mm

$I'_0$  = Índice ponderal del mortero de referencia, (del concreto formado por la mezcla de granos de tamaño inferior a 6,3 mm)

La tercera ecuación se obtiene teniendo en cuenta que el índice ponderal del concreto diseñado y el de referencia es el mismo. El procedimiento de análisis es igual al anterior, se debe calcular primero el índice de cada agregado y, luego, sumándolos se halla el del conjunto, y se finaliza igualando al índice del concreto de referencia.

$$c + a + I_a + g_1 + I_{g1} + g_2 + I_{g2} = I_0$$

Donde:

$c, a, g_1$  y  $g_2$  = Definidos anteriormente

$I_a$  = Índice ponderal de la arena

$I_{g1}$  = Índice ponderal del agregado medio

$I_{g2}$  = Índice ponderal del agregado grueso

$I_0$  = Índice ponderal del concreto de referencia

El concreto de referencia está compuesto por una mezcla de granos de 0 a  $D/2$  en proporción de  $Y\%$  y de granos de  $D/2$  a  $D$  en proporción  $(100-Y)\%$ . Después de realizar este procedimiento, se obtienen tres ecuaciones en las cuales tenemos tres incógnitas  $a$ ,  $g_1$  y  $g_2$  se procede a resolver el sistema de ecuaciones y se obtiene las proporciones de los agregados.



## **5. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **5.1. Caracterización de los materiales**

#### **5.1.1. Diseño de mezcla con aditivo**

Se realizó una mezcla de concreto utilizando un aditivo que, se cree, es tipo F, el cual es un aditivo reductor de agua de alto rango, de acuerdo con su ficha técnica el producto cumple con la norma ASTM C-494 o COCUANOR NTG 41070(ver anexo 2).

#### **5.1.2. Tipo de cemento**

Se utilizó un cemento mezclado tipo ARI (alta resistencia inicial), de acuerdo con la información que presenta el saco, el fabricante cumple con la norma para cementos hidráulicos ASTM C-1157 y COGUANOR NGO 41095.

#### **5.1.3. Agregado fino**

El agregado fino empleado en la mezcla de concreto es arena caliza de cero a cuatro milímetros (0-4 mm) de tamaño máximo de grano. Se realizaron los ensayos pertinentes (ver anexo 2).

#### **5.1.4. Agregado grueso**

Se emplearon dos agregados calizas trituradas, que cumplen con curvas 5 y 8, de la norma ASTM C33 (COGUANOR 41007), para cumplir con los

estándares de calidad del producto. Se realizaron los ensayos pertinentes (ver anexo 2).

## **5.2. Ensayos en concreto fresco**

Se realizaron las pruebas respectivas de acuerdo con la norma establecida para la estandarización de calidad del producto final, entre las cuales están:

- NTG 41053. Método de ensayo estándar para la medición de temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado (ASTM C1064)
- NTG 41052. Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico (ASTM C143)
- NTG 41057. Practica estándar para el muestreo de concreto recién mezclado (ASTM C172)
- NTG 41017h5. Método de ensayo estándar para determinar por medio del método gravimétrico el peso unitario, volumen producido y contenido de aire del concreto (ASTM C138)
- NTG 41017h7. Método de ensayo estándar para determinar por el método de presión, el contenido de aire del concreto recién mezclado (ASTM C231)
- NTG 41061. Practica estándar para la fabricación y curado en campo de especímenes de concreto para su ensayo (ASTM C31)

Se realizó una mezcla testigo con una relación a/c de 0,57 la cual debía presentar un revenimiento de  $6'' \pm \frac{1}{4}''$  de pulgada ( $16,0 \pm 0,5$  cm) y una mezcla utilizando aditivo con una dosis de  $2,75 \text{ ml/kg}$  de cemento, buscando una reducción del 12% de agua y el mismo revenimiento. El diseño de mezcla es para un concreto con un  $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$  (3 000 psi). La mezcla sin aditivo fue identificada como “Testigo” y la mezcla con aditivo “SVF-50”.

Tabla XX. **Resultados de ensayos de concreto fresco**

Resultados concretos, estado fresco					
Parámetros		Mezcla 1		Mezcla 2	
		Testigo	SVF-50	Testigo	SVF-50
Temperatura °C	Ambiente	22,5°C	23,4°C	23,8°C	23,4°C
	Mezcla	22,3°C	23,1°C	24°C	24°C
Cantidad de agua utilizada en la mezcla (l)		15,59	13,72	16,17	14,24
Asentamiento (cm)		15,9	15,2	15,2	15,2
Masa unitaria en ( $\text{kg/cm}^3$ )		2 399	2 405	2 381	2 398
Contenido de aire (%)		1	2,1	1,1	1,4
Tiempos de fraguado (min)	Inicial (lectura de 35 $\text{kg/cm}^2$ )	520	535	353	270
	Final (lectura de 480 $\text{kg/cm}^2$ )	680	602	463	365

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Resultados de ensayos de concreto fresco**

Resultados concretos, estado fresco							
Parámetros		Mezcla 3		Mezcla 4		Mezcla 5	
		Testigo	SVF-50	Testigo	SVF-50	Testigo	SVF-50
Temperatura °C	Ambiente	22,5°C	23,4°C	25,2°C	26,7°C	22°C	23°C
	Mezcla	22,5°C	23,4°C	24,1°C	24,5°C	22°C	23°C
Cantidad de agua utilizada en la mezcla (l)		15,48	13,62	16,17	14,24	15,52	13,66
Revenimiento (cm)		15,9	13,99	16	16	15,9	15,9
Masa unitaria en (kg/cm <sup>3</sup> )		2 399	2 404	2 315	2 308	2 408	2 433
Contenido de aire (%)		1	2.1	1	1.5	1	2

Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Ensayos en concreto endurecido

#### 5.3.1. NTG 41017h1. Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de cilindros de concreto (ASTM C39)

El objetivo principal de este ensayo es determinar la máxima resistencia a compresión de un cilindro de muestra de un concreto frente a una carga aplicada axialmente. Se aplica una carga a una velocidad dentro del rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área cuadrada de la sección transversal del espécimen (ver apéndice 2) y se determina con la siguiente ecuación:



$$R_{ultima} = \frac{P_{max}}{S}$$

Donde:

$R_{ultima}$  = Resistencia ultima

$P_{max}$  =Carga máxima aplicada

$S$  =Sección transversal del cilindro

Tabla XXII. Resistencia ultima de cilindros de concreto

No.	Identificación	Resistencia Teórica (Psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Psi)
1	Testigo	4 000	Cilindro	100	200	7 854	1	88,28	11	1 630
	SVF-50	4 000	Cilindro	100	200	7 854	1	110,31	14	2 040
2	Testigo	4 000	Cilindro	100	200	7 854	3	160,46	20	2 960
	SVF-50	4 000	Cilindro	100	200	7 854	3	205,85	26	3 800
3	Testigo	4 000	Cilindro	100	200	7 854	7	200,83	26	3 710
	SVF-50	4 000	Cilindro	100	200	7 854	7	247,78	32	4 580
4	Testigo	4 000	Cilindro	100	200	7 854	28	246,87	31	4 560
	SVF-50	4 000	Cilindro	100	200	7 854	28	306,91	39	5 670

Fuente: elaboración propia

### 5.3.2. NTG 41017-h2. Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz) (ASTM C 78)

La resistencia a flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Según la norma NTG 41017-h2 el método de ensayo cubre la

determinación del esfuerzo a flexión del concreto con una viga simplemente apoyada, no reforzada de 6" x 6" x 21" que soporta cargas en los tercios medios de la luz.

La fractura de la viga se inicia en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la luz o longitud separado entre apoyos, y se calcula el módulo de ruptura con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

$R$  = Módulo de ruptura, Mpa o psi

$P$  = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N o lbf

$L$  = Longitud de la separación de los apoyos, mm o pulg.

$b$  = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm o pulg.

$d$  = Espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm o pulg.

Tabla XXIII. **Resistencia a flexión de vigas de concreto**

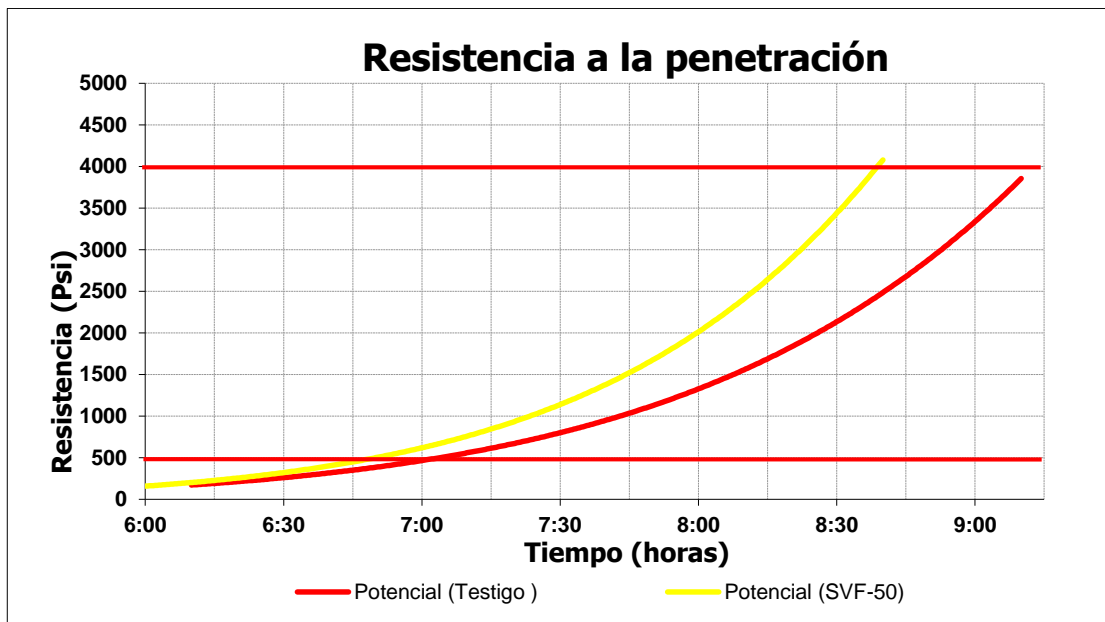
No.	Identificación	Distancia al apoyo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Edad (días)	Ubicación de la falla respecto al tercio medio	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Testigo	457,2	152,4	152,4	23225,8	3	DENTRO	26,7	3,5	35,0
	SVF-50	457,2	152,4	152,4	23225,8	3	DENTRO	29,4	3,8	38,5
2	Testigo	457,2	152,4	152,4	23225,8	7	DENTRO	31,0	4,0	41,0
	SVF-50	457,2	152,4	152,4	23225,8	7	DENTRO	34,4	4,4	45,5
3	Testigo	457,2	152,4	152,4	23225,8	28	DENTRO	37,3	4,8	49,0
	SVF-50	457,2	152,4	152,4	23225,8	28	DENTRO	41,6	5,4	55,0

Fuente: elaboración propia.

**5.3.3. NTG 41017 h12. Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración**

El objetivo principal del ensayo es la determinación de fraguado inicial y final de un concreto, con un asentamiento mayor a cero, por medio de las mediciones de resistencia a la penetración de mortero tamizado de la mezcla de concreto.

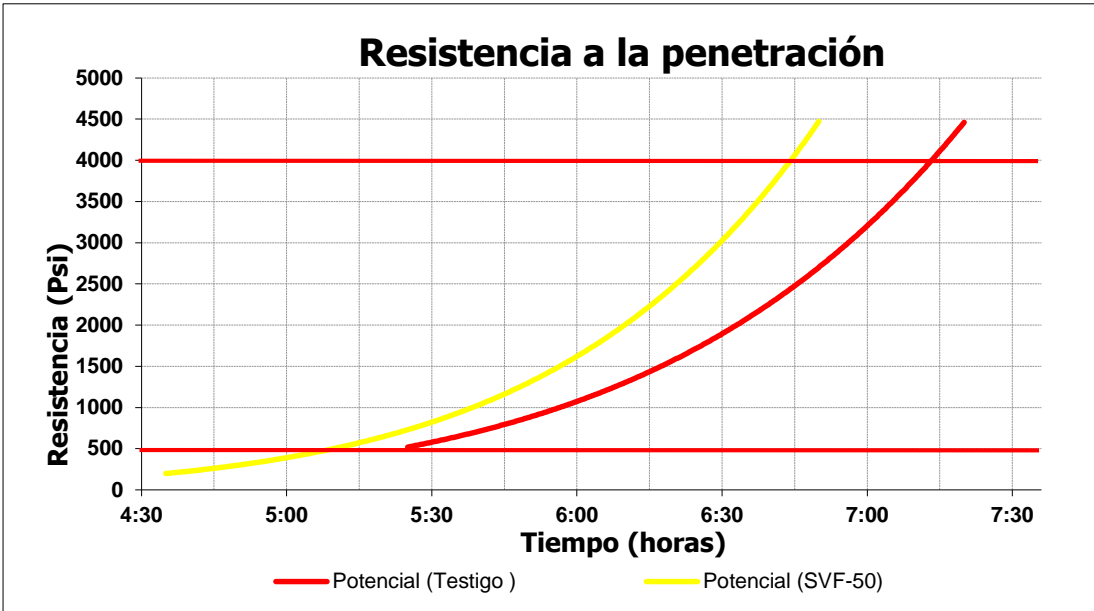
Figura 8. Comparación de fraguados, mezcla 1



Tiempo de Fraguado	Testigo	SFV-50
Inicial (hh:mm)	7:05	6:53
Final (hh:mm)	9:14	8:43

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Comparación de fraguados, mezcla 2



Tiempo de Fraguado	Testigo	SFV-50
Inicial (hh:mm)	5:23	5:10
Final (hh:mm)	7:13	6:44

Fuente: elaboración propia.

**5.3.4. NTG 41003 h11. Método de ensayo, determinación de cambio de longitud del mortero y del concreto de cemento hidráulico, endurecido**

El objetivo principal de este ensayo es la determinación del aumento o disminución de la longitud de un espécimen de ensayo, causada por cualquier cambio o factor diferente a las fuerzas aplicadas y a los cambios de temperatura en el ambiente, la sección transversal cuadrada de 100 mm (4") de

lado y de longitud aproximada de 285 mm (11 ¼"). Se determina el cambio de longitud de cualquier espécimen de edad con la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \frac{CRD - CRD_{inicial}}{G} * 100$$

Donde:

$\Delta L$  = Cambio de longitud del espécimen a cualquier edad, en %.

$CRD$  = Promedio de las diferencias entre las lecturas de comparador del espécimen a cualquier edad.

$CRD_{inicial}$  = La lectura de comparador de la barra de referencia el primer día de lecturas.

$G$  = La longitud de calibración 254 mm (10")

Tabla XXIV. **Resultado concreto, estado fresco**

<b>Resultado concreto, estado fresco</b>			
<b>Parámetros</b>		<b>Mezcla</b>	
		<b>Testigo</b>	<b>SVF-50</b>
<b>Temperatura °C</b>	<b>Ambiente</b>	23,4°C	23,9°C
	<b>Mezcla</b>	22,5°C	22,5°C
<b>Cantidad de agua utilizada en la mezcla (l)</b>		6,69	5,89
<b>Asentamiento (cm)</b>		15,25	15,25
<b>Masa unitaria en (kg/cm<sup>3</sup>)</b>		2 394	2 443
<b>Contenido de aire (%)</b>		1	1,1

Fuente: elaboración propia.

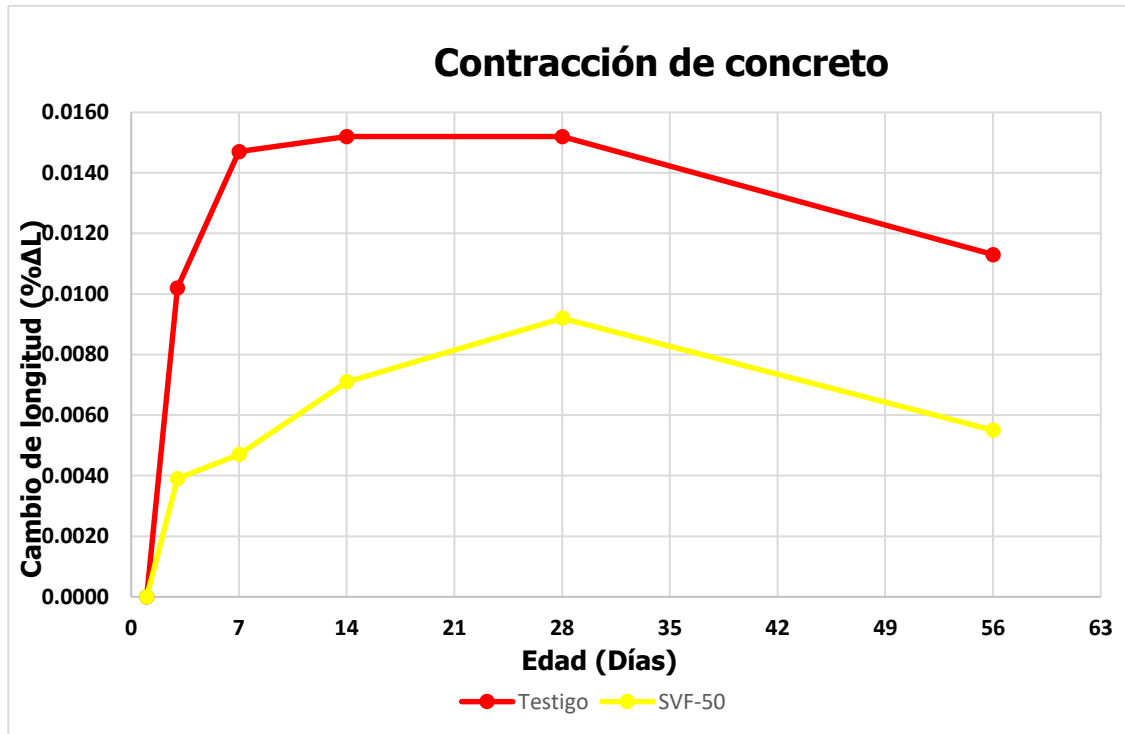
Tabla XXV. **Resultados de concreto, estado endurecido**

Las condiciones de almacenaje y curado de las vigas de contracción fueron las mismas utilizadas anteriormente en los cilindros y vigas para flexión. De esta manera se establece una relación entre los mismos.

Medición de contracciones en concretos								
Datos de concreto			Edad y fechas de medición (mm)					
Fecha hechura	Muestra	No. Muestra	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días
16-nov	Testigo		17-nov	19-nov	24-nov	1-dic	14-dic	11-ene
		1	-2,148	-2,11	-2,098	-2,112	-2,112	-2,132
		2	-2,164	-2,136	-2,132	-2,128	-2,128	-2,13
		3	-1,546	-1,534	-1,516	-1,502	-1,502	-1,51
16-nov	SVF-50		17-nov	19-nov	24-nov	1-dic	14-dic	11-ene
		4	-2,86	-2,848	-2,846	-2,842	-2,834	-2,846
		5	-3,2	-3,18	-3,176	-3,168	-3,166	-3,174
		6	-2,78	-2,782	-2,782	-2,776	-2,77	-2,778

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Grafica de contracción de concreto



Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Evaluación estadística de resultados

##### 5.4.1. Media Aritmética

Es el valor promedio de las muestras. Se simboliza como  $\mu$  y se encuentra solo para variables cuantitativas. Se realiza sumando todos los valores y dividiendo por el número total de datos.

$$\mu = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{n}$$

### 5.4.2. Desviación estándar

La desviación estándar, también llamada desviación típica, es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto a la media aritmética. Se suele representar por una S o con la letra sigma  $\sigma$ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \mu)^2}{n}}$$

Donde:

$x$  = Datos de la muestra

$\mu$  = Media Aritmética

$n$  = Cantidad de muestras

### 5.4.3. Límite superior e inferior

Son los valores mínimos y máximo de una distribución o grupo de datos de muestras representativas.



Tabla XXVI. Datos estadístico de cilindros

<b>Testigo (Cilindros )</b>				
<b>Datos estadístico (Psi)</b>	<b>1 día</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
Media aritmética	1 630	2 960	37 010	4 560
Desviación Estándar	147,83	343,84	318,24	374,28
Límite inferior	1 430	2 520	3 310	4 000
Límite superior	1 830	3 430	3 310	5 180
<b>SVF-50 (Cilindros )</b>				
<b>Datos estadístico (Psi)</b>	<b>1 día</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
Media aritmética	2 040	3 800	4 580	5 670
Desviación Estándar	211,41	432,97	628,81	950,14
Límite inferior	1 770	3 410	3 800	4 100
Límite superior	2 390	4 500	5 700	6 830

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Datos estadísticos de vigas

<b>Testigo (Vigas)</b>			
<b>Datos estadístico (<math>kg/cm^2</math>)</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
Media aritmética	35	41,0	49,0
Desviación Estándar	1,79	3,70	1,39
Límite inferior	33	37,5	47,5
Límite superior	37	46,5	51
<b>SVF-50 (Vigas)</b>			
<b>Datos estadístico (<math>kg/cm^2</math>)</b>	<b>3 días</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
Media aritmética	38,5	45,5	55,0
Desviación Estándar	1,52	2,66	7,67
Límite inferior	36,5	42	48
Límite superior	40,5	48,5	65

Fuente: elaboración propia.

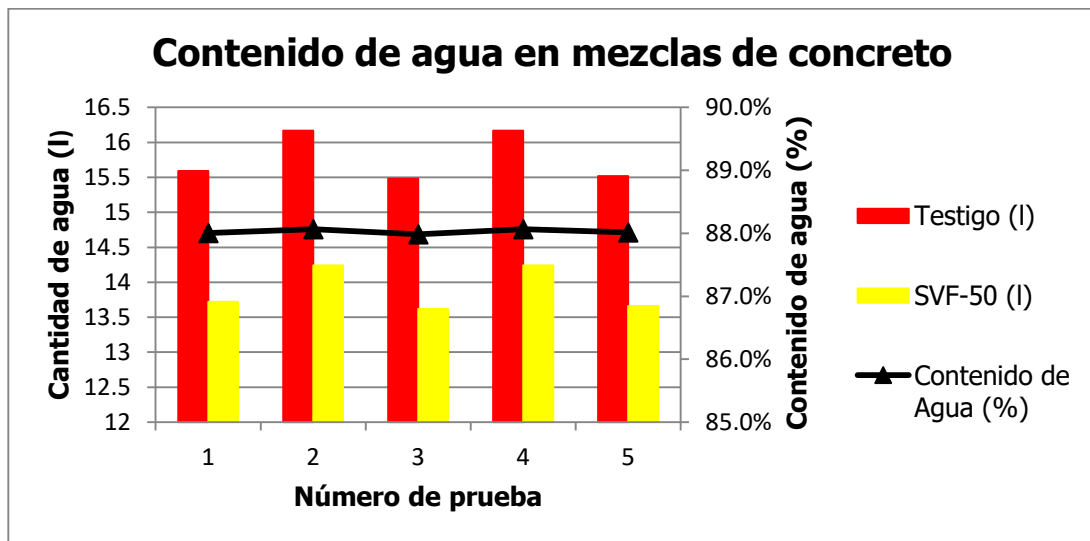


## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Contenido de agua (reducción)

Como puede observarse, en la siguiente figura, en todas las pruebas se usó un 88 % del agua usada en la mezcla testigo.

Figura 11. Contenido de agua en mezclas de concreto



Identificación	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Testigo (l)	15,59	16,17	15,48	16,17	15,52
SVF-50 (l)	13,72	14,24	13,62	14,24	13,66
Contenido de Agua (%)	88,0%	88,1%	88,0%	88,1%	88,0%

Fuente: elaboración propia.

## 6.2. Resistencia a la compresión

El desarrollo de las resistencias a compresión de las mezclas, en las edades de 3, 7, 28 días, cumplió con los porcentajes que se especifican en la Figura 1 (requisitos físicos). Para la edad de un día, no se cumplió con el requisito establecido, por lo que es necesario el aumento de dosis para una mayor reducción de agua, lo que aumentará la resistencia.

Tabla XXVIII. **Requerimientos físicos, resistencia a la compresión mínima**

Requerimientos físicos, Resistencia a la compresión, mínima (%)	
Tipo de aditivo	Tipo F Reductor de Agua, de Alto Rango
1 día	140
3 días	125
7 días	115
28 días	110

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Resistencia última, requerimiento físico a cumplir**

No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Edad (días)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Psi)	Requerimientos físicos (%)	Si cumple o No cumple
1	Testigo	4 000	Cilindro	1	88,28	11	1 630	125	NO
	SVF-50	4 000	Cilindro	1	110,31	14	2 040		
2	Testigo	4 000	Cilindro	3	160,46	20	2 960	128	SI
	SVF-50	4 000	Cilindro	3	205,85	26	3 800		
3	Testigo	4 000	Cilindro	7	200,83	26	3 710	123	SI
	SVF-50	4 000	Cilindro	7	247,78	32	4 580		
4	Testigo	4 000	Cilindro	28	246,87	31	4 560	124	SI
	SVF-50	4 000	Cilindro	28	306,91	39	5 670		

Fuente: elaboración propia.

### 6.3. Resistencia a la flexión

El desarrollo de las resistencias a la flexión de las mezclas, en las edades de 3, 7, 28 días, cumplió con los porcentajes de la resistencia que se especifican en la Figura 1 (requisitos físicos).

Tabla XXX. **Requerimientos físicos, resistencia a la flexión mínima**

Requerimientos físicos, Resistencia a la flexión, mínima (%)	
Tipo de aditivo	Tipo F Reductor de Agua, de Alto Rango
3 días	110
7 días	100
28 días	100

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Resistencia ultima, requerimientos físicos a cumplir**

No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Edad (días)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Requerimientos físicos (%)	Si cumple o No cumple
1	Testigo	457,2	3	26,7	3,5	35,0	110	SI
	SVF-50	457,2	3	29,4	3,8	38,5		
2	Testigo	457,2	7	31,0	4,0	41,0	111	SI
	SVF-50	457,2	7	34,4	4,4	45,5		
3	Testigo	457,2	28	37,3	4,8	49,0	112	SI
	SVF-50	457,2	28	41,6	5,4	55,0		

Fuente: elaboración propia.

#### 6.4. Tiempos de fraguados

El desarrollo de la resistencia de penetración de mortero tamizado de la mezcla de concreto cumplió con los requerimientos físicos de la Figura 1. Esto indica la diferencia que puede haber entre los tiempos de fraguado inicial y final.

Tabla XXXII. **Requerimientos físicos, tiempo de fraguado**

<b>Requerimientos físicos, tiempo de fraguado, desviación admisible de control, horas mínima (hh:mm)</b>	
<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Tipo F Reductor de Agua, de Alto Rango</b>
No más de	1:00 antes ni 1:30 más tarde
Final: al menos, no más de	1:00 antes ni 1:30 más tarde

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Tiempos de fraguados, requerimientos físicos a cumplir**

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>Mezcla 1</b>		<b>Si cumple o no cumple</b>	<b>Mezcla 2</b>		<b>Si cumple o no cumple</b>
	<b>Testigo</b>	<b>SFV-50</b>		<b>Testigo</b>	<b>SFV-50</b>	
<b>Tiempo de Fraguado</b>						
Inicial (hh:mm)	7:03	6:53	SI	5:23	5:10	SI
Final (hh:mm)	9:10	8:43	SI	7:13	6:44	SI

Fuente: elaboración propia.

## 6.5. Cambio de longitud

El desarrollo de las contracciones en las vigas de concreto, cumplió con los requerimientos físicos de la Figura 1, en la evaluación los mayores cambios de longitud fueron de 0,0152 y 0,0092 para la mezcla 1 y mezcla 2 respectivamente, dados a los 28 días en ambos casos. Las gráficas muestran el aumento y la reducción del cambio de longitud, cuando la gráfica muestra un estado constante se asume que llegó a su máximo cambio de longitud.

Tabla XXXIV. **Cambio de longitud  $\Delta L$  (%)**

<b>Cambio de longitud en <math>\Delta L</math> (%)</b>						
<b>Edad</b>	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días
<b>Testigo</b>	0,0000	0,0102	0,0147	0,0152	0,0152	0,0113
<b>SVF-50</b>	0,0000	0,0039	0,0047	0,0071	0,0092	0,0055

Fuente: elaboración propia.





## CONCLUSIONES

1. El aditivo cumple con la reducción de agua especificada, evaluado en la dosis propuesta.
2. El producto, evaluado en la mezcla propuesta, cumple los requisitos de resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días. A 1 día no cumplió con el requisito mínimo.
3. El producto, evaluado en la mezcla propuesta cumple con los requisitos de resistencia a la flexión a las edades solicitadas.
4. El aditivo no tiene un efecto mayor a los especificados, en los tiempos de fraguados tanto inicial como final.
5. El cambio de longitud en la mezcla de concreto preparada con el aditivo estuvo por debajo del máximo especificado en los requisitos del tipo de producto, mientras que en la mezcla control, el cambio de longitud fue mayor.
6. El aditivo evaluado, en la mezcla y dosis propuestas, no cumple completamente con los requisitos para ser considerado como Tipo F de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41070.



## RECOMENDACIONES

1. Evaluar el aditivo en una dosis mayor a la usada, hasta encontrar la cantidad mínima que permita cumplir con el requisito de resistencia a la compresión a un día.
2. Analizar el efecto del aditivo en la mezcla de concreto de un proyecto, principalmente el impacto en la relación costo-beneficio.
3. Evaluar las variaciones que pueden tenerse con el aditivo al ser usado con los distintos tipos de cemento presentes en el mercado local.
4. Evaluar en diferentes climas, el desempeño del producto estudiado.
5. Realizar pruebas preliminares para obtener un diseño de mezcla adecuado, de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.
6. Evaluar el calor de hidratación durante el fraguado de una mezcla de concreto con aditivo y una mezcla sin aditivo, al utilizar un cemento de alta resistencia inicial.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 211.1, *Proporciónamiento de mezclas, concreto normal, pesado o masivo*, Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A.C. 2004. p. 56, ISBN: 968-464-142-7.
2. ACI 318S-11, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute. <[http://www.academia.edu/12170557/ACI\\_318-11\\_Espa%C3%B1ol](http://www.academia.edu/12170557/ACI_318-11_Espa%C3%B1ol)>. Consulta: 11 de enero de 2016
3. ARCILA LÓPEZ, Carlos, CUELLAR TRUJILLO, Gustavo. *Sika: Informaciones técnicas. Aditivos para hormigón y mortero*. Bogotá, D.C.: Publicidad Sika Andina S. A., p.28.
4. COGUANOR. *Aditivos para concreto. Especificaciones*. NTG 41070. Guatemala: COGUANOR, 2005. p. 24
5. COGUANOR. *Aditivos para concreto. Especificaciones*. NTG 41047. Guatemala: COGUANOR, p. 23.
6. COGUANOR. *Terminología referente al concreto y agregados para concreto. Especificaciones*. NTG 41006. Guatemala: COGUANOR, 2005. p.15.
7. CORREA CAMARGO, Diana. *Dosificación Ponderal Para Hormigones de Alta y Baja Densidad*. [en línea]. Tesis de master. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2011.

⟨<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13490/TESINA%20DEFINITIVA%20CORREGIDA.pdf>⟩.

Consulta: 7 de junio de 2016.

8. GIRALDO BOLÍVAR, Orlando. *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón* [En línea].  
⟨<http://www.bdigital.unal.edu.co/40215/1/3352874.19873.pdf>⟩  
Consulta: 8 de noviembre de 2015.
9. GRANIZO, Luis. *Sika: Generaciones de aditivos superplastificantes*. [en línea].  
⟨[http://www.concretonline.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=883&Itemid=36](http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=883&Itemid=36)⟩. Consulta: 16 de noviembre de 2016.
10. HORNBOSTEL, Caleb. *Construction materials: Types, uses, and applications*. New York: Editor John Wiley, 1978. 878 p. A Wiley-Interscience Publication. ISBN: 0-471-40940-5.
11. HUANCA, Samuel Laura. *Diseño de mezclas de concreto*. [en línea].  
⟨<http://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>⟩. Consulta: 16 de noviembre 2016.
12. SEGARRA, J. *Capítulo 2. Las reacciones expansivas. Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en el hormigón* [en línea]. Tesina. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2005.  
⟨<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3315/55864-4.pdf>⟩. Consulta: 11 de enero de 2016.

13. WADDELL, Joseph J., DOBROWOLSKI, Joseph A. *Manual de la construcción con concreto*. Pérez Castellanos, Hernán (trad.). México: McGraw-Hill, 1997. p. 169. ISBN: 970-10-1253-4 tomo I.





## ANEXOS

### Anexo 1. Ensayos de laboratorio



Fuente: empresa Sika Guatemala, S.A.



Fuente: empresa Mixto Listo.

Continuación de anexo 1.



Fuente: empresa Mixto Listo.



Fuente: empresa Mixto Listo.

Continuación de anexo 1.



Fuente: empresa Sika Guatemala, S.A.



Fuente: empresa Sika Guatemala, S.A.



Continuación de anexo 1.




Fuente: empresa Sika Guatemala, S.A.



Fuente: empresa Sika Guatemala, S.A.

## Anexo 2. Informes de laboratorio.

 <b>DISEÑO Y AJUSTE DE UNA MUESTRA DE CONCRETO</b>		VN / ICCI 06.06.07																																																																																																										
No. Prueba:	16.09.001	Fecha: Septiembre 27 de 2016																																																																																																										
		Laboratorista: Esvin Mansilla																																																																																																										
Título: Caracterización SFV-50																																																																																																												
Objetivos: Evaluación de diseño estándar																																																																																																												
Especificaciones	Datos Materias Primas	δ abs hum AG/AF Proporción																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>f<sub>c</sub></td><td>280</td><td>kg/cm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>w/(c+p)</td><td>0.57</td><td></td></tr> <tr><td>TMA</td><td>31.75</td><td>mm</td></tr> <tr><td>% aire</td><td>2.00</td><td>%</td></tr> <tr><td>Max Cemento</td><td>7.53</td><td>Sacos/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>M.Ruptura</td><td></td><td>kg/cm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Res. Sulfatos</td><td></td><td></td></tr> </table>	f <sub>c</sub>	280	kg/cm <sup>2</sup>	w/(c+p)	0.57		TMA	31.75	mm	% aire	2.00	%	Max Cemento	7.53	Sacos/m <sup>3</sup>	M.Ruptura		kg/cm <sup>2</sup>	Res. Sulfatos			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Cemento</td><td>CFB</td><td>3.06</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Cementante</td><td></td><td>1.00</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Agua</td><td></td><td>1.00</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>AG1</td><td>1"</td><td>2.69</td><td>0.59</td><td>0.57</td><td rowspan="2">68% Gruesos</td></tr> <tr><td>AG2</td><td>3/8"</td><td>2.64</td><td>1.21</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>AF1</td><td>Arena triturada</td><td>2.72</td><td>0.74</td><td>0.32</td><td rowspan="2">32% Finos</td></tr> <tr><td>AF2</td><td></td><td>0.00</td><td>0.00</td><td></td></tr> </table>	Cemento	CFB	3.06				Cementante		1.00				Agua		1.00				AG1	1"	2.69	0.59	0.57	68% Gruesos	AG2	3/8"	2.64	1.21	0.20	AF1	Arena triturada	2.72	0.74	0.32	32% Finos	AF2		0.00	0.00		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>286.98</td></tr> <tr><td>341.042</td></tr> </table>	286.98	341.042																																											
f <sub>c</sub>	280	kg/cm <sup>2</sup>																																																																																																										
w/(c+p)	0.57																																																																																																											
TMA	31.75	mm																																																																																																										
% aire	2.00	%																																																																																																										
Max Cemento	7.53	Sacos/m <sup>3</sup>																																																																																																										
M.Ruptura		kg/cm <sup>2</sup>																																																																																																										
Res. Sulfatos																																																																																																												
Cemento	CFB	3.06																																																																																																										
Cementante		1.00																																																																																																										
Agua		1.00																																																																																																										
AG1	1"	2.69	0.59	0.57	68% Gruesos																																																																																																							
AG2	3/8"	2.64	1.21	0.20																																																																																																								
AF1	Arena triturada	2.72	0.74	0.32	32% Finos																																																																																																							
AF2		0.00	0.00																																																																																																									
286.98																																																																																																												
341.042																																																																																																												
Diseño Teórico	Bache Práctico	Datos Concreto Fresco																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>kg/m<sup>3</sup></th><th>lt/m<sup>3</sup></th></tr> <tr><td>Cemento</td><td>320</td><td>104.58</td></tr> <tr><td>Cementante</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>Agua</td><td>182</td><td>182.40</td></tr> <tr><td>AG1</td><td>670</td><td>251.35</td></tr> <tr><td>AG2</td><td>594</td><td>222.89</td></tr> <tr><td>AF1</td><td>595</td><td>218.78</td></tr> <tr><td>AF2</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>Vacios</td><td>2.0%</td><td>20.00</td></tr> <tr><td>Total</td><td>2362</td><td>1000.00</td></tr> <tr><td>Solo agua</td><td>0.00</td><td>ml/kg</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>ml/kg</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>ml/kg</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>ml/kg</td></tr> </table>	kg/m <sup>3</sup>	lt/m <sup>3</sup>	Cemento	320	104.58	Cementante	0	0.00	Agua	182	182.40	AG1	670	251.35	AG2	594	222.89	AF1	595	218.78	AF2	0	0.00	Vacios	2.0%	20.00	Total	2362	1000.00	Solo agua	0.00	ml/kg			ml/kg			ml/kg			ml/kg	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>kg</th><th>0.070</th></tr> <tr><td>Cemento</td><td>(kg) 22.40</td></tr> <tr><td>Cementante</td><td>(kg) 0.00</td></tr> <tr><td>Agua</td><td>(kg) 13.37</td></tr> <tr><td>AG1</td><td>(kg) 46.91</td></tr> <tr><td>AG2</td><td>(kg) 41.18</td></tr> <tr><td>AF1</td><td>(kg) 41.48</td></tr> <tr><td>AF2</td><td>(kg) 0.00</td></tr> <tr><td>Total</td><td>165.35</td></tr> <tr><td>Solo agua</td><td>(ml) 0.00</td></tr> <tr><td>0</td><td>(ml) 0.00</td></tr> <tr><td>0</td><td>(ml) 0.00</td></tr> <tr><td>0</td><td>(ml) 0.00</td></tr> </table>	kg	0.070	Cemento	(kg) 22.40	Cementante	(kg) 0.00	Agua	(kg) 13.37	AG1	(kg) 46.91	AG2	(kg) 41.18	AF1	(kg) 41.48	AF2	(kg) 0.00	Total	165.35	Solo agua	(ml) 0.00	0	(ml) 0.00	0	(ml) 0.00	0	(ml) 0.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Asentamiento</td><td>6</td><td>plg.</td></tr> <tr><td>Peso Unitario</td><td>2,381</td><td>kg/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Aire</td><td>1.1</td><td>%</td></tr> <tr><td>Extensibilidad</td><td></td><td>cm</td></tr> <tr><td>Flujo Cono inv.</td><td></td><td>cm</td></tr> <tr><td>Agua adicional</td><td>2.8</td><td>lt</td></tr> <tr><td>Peso Real</td><td>2402</td><td>kg/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Volumen Real</td><td>70.62</td><td>lt</td></tr> <tr><td>Rendimiento</td><td>1.009</td><td></td></tr> <tr><td>w/(c+p) real</td><td>0.699</td><td></td></tr> <tr><td>Exudación</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Apariencia</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Plasticidad</td><td></td><td></td></tr> </table>	Asentamiento	6	plg.	Peso Unitario	2,381	kg/m <sup>3</sup>	Aire	1.1	%	Extensibilidad		cm	Flujo Cono inv.		cm	Agua adicional	2.8	lt	Peso Real	2402	kg/m <sup>3</sup>	Volumen Real	70.62	lt	Rendimiento	1.009		w/(c+p) real	0.699		Exudación			Apariencia			Plasticidad		
kg/m <sup>3</sup>	lt/m <sup>3</sup>																																																																																																											
Cemento	320	104.58																																																																																																										
Cementante	0	0.00																																																																																																										
Agua	182	182.40																																																																																																										
AG1	670	251.35																																																																																																										
AG2	594	222.89																																																																																																										
AF1	595	218.78																																																																																																										
AF2	0	0.00																																																																																																										
Vacios	2.0%	20.00																																																																																																										
Total	2362	1000.00																																																																																																										
Solo agua	0.00	ml/kg																																																																																																										
		ml/kg																																																																																																										
		ml/kg																																																																																																										
		ml/kg																																																																																																										
kg	0.070																																																																																																											
Cemento	(kg) 22.40																																																																																																											
Cementante	(kg) 0.00																																																																																																											
Agua	(kg) 13.37																																																																																																											
AG1	(kg) 46.91																																																																																																											
AG2	(kg) 41.18																																																																																																											
AF1	(kg) 41.48																																																																																																											
AF2	(kg) 0.00																																																																																																											
Total	165.35																																																																																																											
Solo agua	(ml) 0.00																																																																																																											
0	(ml) 0.00																																																																																																											
0	(ml) 0.00																																																																																																											
0	(ml) 0.00																																																																																																											
Asentamiento	6	plg.																																																																																																										
Peso Unitario	2,381	kg/m <sup>3</sup>																																																																																																										
Aire	1.1	%																																																																																																										
Extensibilidad		cm																																																																																																										
Flujo Cono inv.		cm																																																																																																										
Agua adicional	2.8	lt																																																																																																										
Peso Real	2402	kg/m <sup>3</sup>																																																																																																										
Volumen Real	70.62	lt																																																																																																										
Rendimiento	1.009																																																																																																											
w/(c+p) real	0.699																																																																																																											
Exudación																																																																																																												
Apariencia																																																																																																												
Plasticidad																																																																																																												
Corrección	Tabla de resultados	Datos de temperatura																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>m<sup>3</sup></th><th>kg/m<sup>3</sup></th><th>Its</th></tr> <tr><td>Cemento</td><td>317</td><td>103.59</td></tr> <tr><td>Cementante</td><td>0</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>Agua</td><td>221</td><td>221.44</td></tr> <tr><td>AG1</td><td>664</td><td>246.89</td></tr> <tr><td>AG2</td><td>589</td><td>223.09</td></tr> <tr><td>AF1</td><td>589</td><td>216.72</td></tr> <tr><td>AF2</td><td>0</td><td>#IDIV/0!</td></tr> <tr><td>Aire</td><td>0</td><td>#IDIV/0!</td></tr> <tr><td>Total</td><td>2381</td><td>#IDIV/0!</td></tr> <tr><td>Solo agua</td><td>0.00</td><td>ml/kg</td></tr> <tr><td>0</td><td>0.00</td><td>ml/kg</td></tr> <tr><td>0</td><td>0.00</td><td>ml/kg</td></tr> <tr><td>0</td><td>0.00</td><td>ml/kg</td></tr> </table>	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	Its	Cemento	317	103.59	Cementante	0	0.00	Agua	221	221.44	AG1	664	246.89	AG2	589	223.09	AF1	589	216.72	AF2	0	#IDIV/0!	Aire	0	#IDIV/0!	Total	2381	#IDIV/0!	Solo agua	0.00	ml/kg	0	0.00	ml/kg	0	0.00	ml/kg	0	0.00	ml/kg	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>f<sub>c</sub> (psi)</th></tr> <tr><td>C1</td><td>3 días</td></tr> <tr><td>C2</td><td>3 días</td></tr> <tr><td>C3</td><td>7 días</td></tr> <tr><td>C4</td><td>7 días</td></tr> <tr><td>C5</td><td>28 días</td></tr> <tr><td>C6</td><td>28 días</td></tr> <tr><td>V1</td><td></td></tr> <tr><td>V2</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2" style="background-color: yellow;">Pérdida de revenimiento</td></tr> <tr><td>30 minutos</td><td></td></tr> <tr><td>60 minutos</td><td></td></tr> <tr><td>90 minutos</td><td></td></tr> <tr><td>120 minutos</td><td></td></tr> </table>	f <sub>c</sub> (psi)	C1	3 días	C2	3 días	C3	7 días	C4	7 días	C5	28 días	C6	28 días	V1		V2		Pérdida de revenimiento		30 minutos		60 minutos		90 minutos		120 minutos		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CFB</td><td>3/8"</td><td></td></tr> <tr><td>0</td><td>Arena triturada</td><td></td></tr> <tr><td>Agua</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td>Concreto:</td><td>24 °</td></tr> </table>	CFB	3/8"		0	Arena triturada		Agua	0		1"	Concreto:	24 °																									
m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	Its																																																																																																										
Cemento	317	103.59																																																																																																										
Cementante	0	0.00																																																																																																										
Agua	221	221.44																																																																																																										
AG1	664	246.89																																																																																																										
AG2	589	223.09																																																																																																										
AF1	589	216.72																																																																																																										
AF2	0	#IDIV/0!																																																																																																										
Aire	0	#IDIV/0!																																																																																																										
Total	2381	#IDIV/0!																																																																																																										
Solo agua	0.00	ml/kg																																																																																																										
0	0.00	ml/kg																																																																																																										
0	0.00	ml/kg																																																																																																										
0	0.00	ml/kg																																																																																																										
f <sub>c</sub> (psi)																																																																																																												
C1	3 días																																																																																																											
C2	3 días																																																																																																											
C3	7 días																																																																																																											
C4	7 días																																																																																																											
C5	28 días																																																																																																											
C6	28 días																																																																																																											
V1																																																																																																												
V2																																																																																																												
Pérdida de revenimiento																																																																																																												
30 minutos																																																																																																												
60 minutos																																																																																																												
90 minutos																																																																																																												
120 minutos																																																																																																												
CFB	3/8"																																																																																																											
0	Arena triturada																																																																																																											
Agua	0																																																																																																											
1"	Concreto:	24 °																																																																																																										
		Fecha Ensayo a Compresión																																																																																																										
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>C1</td><td>Viernes 30 de Septiembre de 2016</td></tr> <tr><td>C2</td><td>Viernes 30 de Septiembre de 2016</td></tr> <tr><td>C3</td><td>Martes 4 de Octubre de 2016</td></tr> <tr><td>C4</td><td>Martes 4 de Octubre de 2016</td></tr> <tr><td>C5</td><td>Martes 25 de Octubre de 2016</td></tr> <tr><td>C6</td><td>Martes 25 de Octubre de 2016</td></tr> <tr><td>V1</td><td>Martes 27 de Septiembre de 2016</td></tr> </table>	C1	Viernes 30 de Septiembre de 2016	C2	Viernes 30 de Septiembre de 2016	C3	Martes 4 de Octubre de 2016	C4	Martes 4 de Octubre de 2016	C5	Martes 25 de Octubre de 2016	C6	Martes 25 de Octubre de 2016	V1	Martes 27 de Septiembre de 2016																																																																																												
C1	Viernes 30 de Septiembre de 2016																																																																																																											
C2	Viernes 30 de Septiembre de 2016																																																																																																											
C3	Martes 4 de Octubre de 2016																																																																																																											
C4	Martes 4 de Octubre de 2016																																																																																																											
C5	Martes 25 de Octubre de 2016																																																																																																											
C6	Martes 25 de Octubre de 2016																																																																																																											
V1	Martes 27 de Septiembre de 2016																																																																																																											

Observación:

Temperatura Ambiente: 23.8°C; Humedad Relativa 75.%

f)   
Ing. Kenneth Molina  
Jefe de Laboratorio

f)   
Esvin Mansilla  
Laboratorista

 **LABORATORIO DE CONCRETO**  
SIKA GUATEMALA, S.A.

CONSTRUCCIÓN

Continuación de anexo 2.

**DISEÑO Y AJUSTE DE UNA MUESTRA DE CONCRETO**

No. Prueba: 16.09.001      Fecha: Septiembre 27 de 2016      Laboratorista: Esvin Mansilla

Título: Caracterización SFV-50  
Objetivos: Evaluación de diseño estándar

**Especificaciones      Datos Materias Primas      δ      abs      hum      AG/AF      Proporción**

f'c	280	kg/cm <sup>2</sup>
w/(c+p)	0.57	
TMA	31.75	mm
% aire	2.00	%
Max Cemento	7.53	Sacos/m <sup>3</sup>
M.Ruptura		kg/cm <sup>2</sup>
Res. Sulfatos		

Cemento	CFB	3.06					
Cementante		1.00					
Agua		1.00					
AG1	1"	2.69	0.59	0.57	68% Gruesos	53%	
AG2	3/8"	2.64	1.21	0.20		47%	
AF1	Arena triturada	2.72	0.74	0.32	32% Finos	100%	
AF2		0.00	0.00			0%	

286.98  
341.042

**Diseño Teórico      kg/m<sup>3</sup>      lt/m<sup>3</sup>**

Cemento	320	104.58
Cementante	0	0.00
Agua	182	182.40
AG1	670	251.35
AG2	594	222.89
AF1	595	218.78
AF2	0	0.00
Vacios	2.0%	20.00
Total	2362	1000.00
Viscoflow 50	2.75	ml/kg
		ml/kg
		ml/kg
		ml/kg

**Bache Práctico      0.070**

Cemento	(kg)	22.40
Cementante	(kg)	0.00
Agua	(kg)	13.37
AG1	(kg)	46.91
AG2	(kg)	41.18
AF1	(kg)	41.48
AF2	(kg)	0.00
Total		165.35
Viscoflow 50	(ml)	61.60
0	(ml)	0.00
0	(ml)	0.00
0	(ml)	0.00

**Datos Concreto Fresco**

Asentamiento	6	plg.
Peso Unitario	2,398	kg/m <sup>3</sup>
Aire	1.4	%
Extensibilidad		cm
Flujo Cono inv.		cm
Agua adicional	0.86	lt
Peso Real	2374	kg/m <sup>3</sup>
Volumen Real	69.31	lt
Rendimiento	0.990	
w/(c+p) real	0.611	
Exudación		
Apariencia		
Plasticidad		

**Corrección m<sup>3</sup>      kg/m<sup>3</sup>      lts**

Cemento	323	105.56
Cementante	0	0.00
Agua	197	197.28
AG1	677	251.72
AG2	600	227.30
AF1	601	220.78
AF2	0	#IDIV/0!
Aire	0	#IDIV/0!
Total	2398	#IDIV/0!
Viscoflow 50	2.75	ml/kg
0	0.00	ml/kg
0	0.00	ml/kg
0	0.00	ml/kg

**Tabla de resultados      f'c (psi)**

C1	3 días	
C2	3 días	
C3	7 días	
C4	7 días	
C5	28 días	
C6	28 días	
V1		
V2		
<b>Pérdida de revenimiento</b>		
30 minutos		
60 minutos		
90 minutos		
120 minutos		

**Datos de temperatura**


CFB	3/8"	
0	Arena triturada	
Agua	0	
1"	Concreto:	24 °

**Fecha Ensayo a Compresión**

C1	Viernes 30 de Septiembre de 2016
C2	Viernes 30 de Septiembre de 2016
C3	Martes 4 de Octubre de 2016
C4	Martes 4 de Octubre de 2016
C5	Martes 25 de Octubre de 2016
C6	Martes 25 de Octubre de 2016
V1	Martes 27 de Septiembre de 2016

Observación:      Temperatura Ambiente: 23.4°C; Humedad Relativa 72%

f)  Ing. Kenneth Molina  
Jefe de Laboratorio

f)  Esvin Mansilla  
Laboratorista



CONSTRUCCIÓN



Continuación de anexo 2.


**TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO**

GUATEMALA

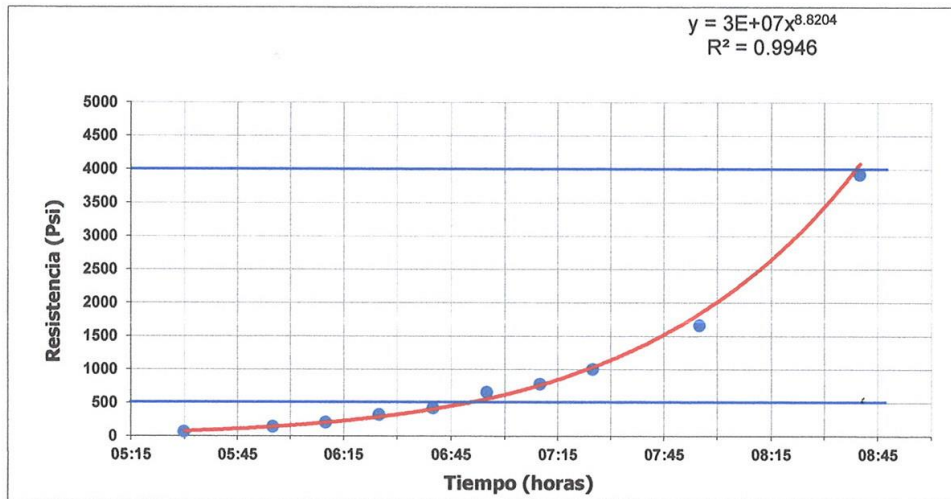
JN / ICCI 04.06.16

**C403 Método Estandar para Tiempo de Fraguado en Mezclas de Concreto por Resistencia a la Penetración**

No. Prueba: Objetivos: <b>Rangos de uso SFV-50</b> Hora de Inicio: <b>11:15</b> Documento Referencia:	Laboratorista: <b>Esvin Mansilla</b> Fecha: <b>20/09/2016</b> Aditivo: <b>SFV-50</b> Dosis: <b>2.75 ml/kg</b>
--	--

#	Hora:	Tiempo Real	Área de aguja (in <sup>2</sup> )	Carga (Lbs)	Resistencia Penetración (psi)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	16:45	05:30	1.000	64	64	23.5	72
2	17:10	05:55	1.000	140	140	23.6	70
3	17:25	06:10	0.500	102	204	23.6	70
4	17:40	06:25	0.500	160	320	23.7	70
5	17:55	06:40	0.250	104	416	23.6	70
6	18:10	06:55	0.250	164	656	23.6	71
7	18:25	07:10	0.100	78	780	23.5	72
8	18:40	07:25	0.100	100	1000	23.5	72
9	19:10	07:55	0.100	166	1660	23.2	73
12	19:55	08:40	0.025	98	3920	23.0	73

CONFIDENCIAL



F. Inicial	06:53
F. Final	08:43



Ing. Kenneth Molina  
Jefe de Laboratorio



Esvin Mansilla  
Laboratorista


**LABORATORIO DE CONCRETO**  
 SIKI GUATEMALA, S.A.

Continuación de anexo 2.



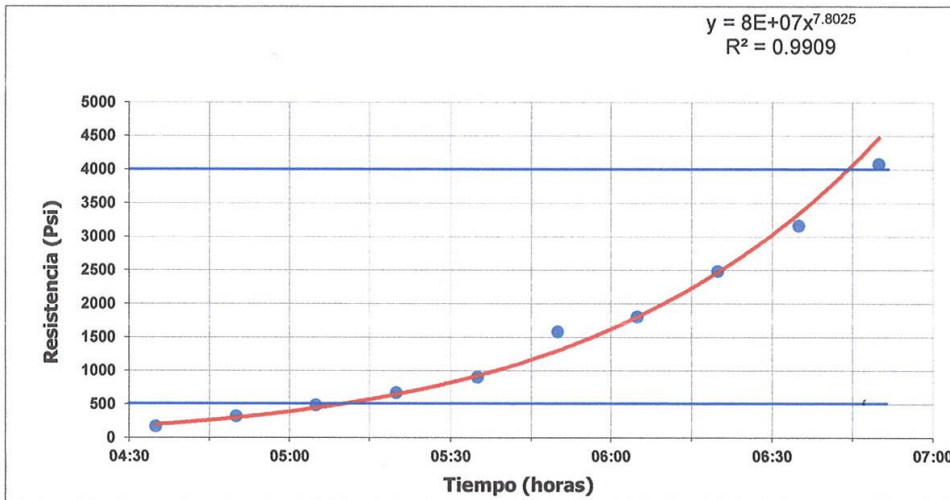
## TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO

JN / ICCI 04.06.16

**C403 Método Estandar para Tiempo de Fraguado en Mezclas de Concreto por Resistencia a la Penetración**

No. Prueba: Objetivos: <b>Rangos de uso SFV-50</b> Hora de Inicio: <b>12:40</b> Documento Referencia:	Laboratorista: <b>Esvin Mansilla</b> Fecha: <b>24/09/2016</b> Aditivo: <b>SFV-50</b> Dosis: <b>2.75 ml/kg</b>
--	--

#	Hora:	Tiempo Real	Área de aguja (in <sup>2</sup> )	Carga (Lbs)	Resistencia Penetración (psi)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	17:15	04:35	1.000	166	166	22.1	65
2	17:30	04:50	0.500	158	316	22.2	65
3	17:45	05:05	0.250	120	480	22.1	65
4	18:00	05:20	0.250	166	664	22.0	65
5	18:15	05:35	0.100	90	900	21.9	67
6	18:30	05:50	0.100	158	1580	21.8	67
7	18:45	06:05	0.050	90	1800	21.7	68
8	19:00	06:20	0.050	124	2480	21.6	68
9	19:15	06:35	0.050	158	3160	21.6	68
10	19:30	06:50	0.025	102	4080	21.5	68



F. Inicial	05:10
F. Final	06:44

  
 Ing. Kenneth Molina  
 Jefe de Laboratorio

  
 Esvin Mansilla  
 Laboratorista



CONFIDENCIAL



Continuación de anexo 2.

**TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO**



JN / ICCI 04.06.16

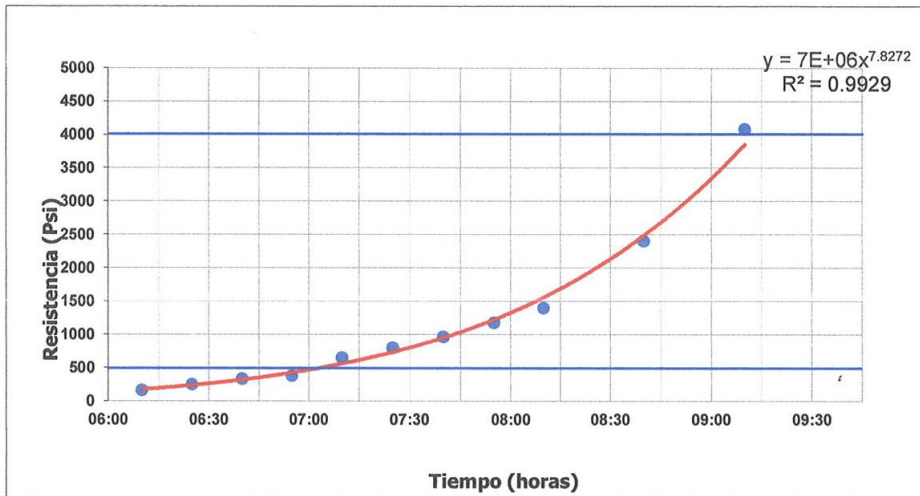
**C403 Método Estandar para Tiempo de Fraguado en Mezclas de Concreto por Resistencia a la Penetración**

No. Prueba:  
 Objetivos: **Rangos de uso SFV-50**  
 Hora de Inicio: **09:40**  
 Documento Referencia:

Laboratorista: **Esvin Mansilla**  
 Fecha: **20/09/2016**  
 Aditivo: **Solo agua**  
 Dosis:

#	Hora:	Tiempo Real	Área de aguja (in <sup>2</sup> )	Carga (Lbs)	Resistencia Penetración (psi)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	15:50	06:10	1.000	162	162	23.0	72
2	16:05	06:25	0.500	124	248	23.1	72
3	16:20	06:40	0.500	164	328	23.1	72
4	16:35	06:55	0.250	94	376	23.3	72
5	16:50	07:10	0.250	162	648	23.5	71
6	17:05	07:25	0.100	80	800	23.5	71
7	17:20	07:40	0.100	96	960	23.6	70
8	17:35	07:55	0.100	118	1180	23.6	70
9	17:50	08:10	0.100	140	1400	23.6	70
11	18:20	08:40	0.050	120	2400	23.5	71
13	18:50	09:10	0.025	102	4080	23.5	72

CONFIDENCIAL



F. Inicial	07:05
F. Final	09:14

Ing. Kenneth Molina  
 Jefe de Laboratorio

Esvin Mansilla  
 Laboratorista



Continuación de anexo 2.



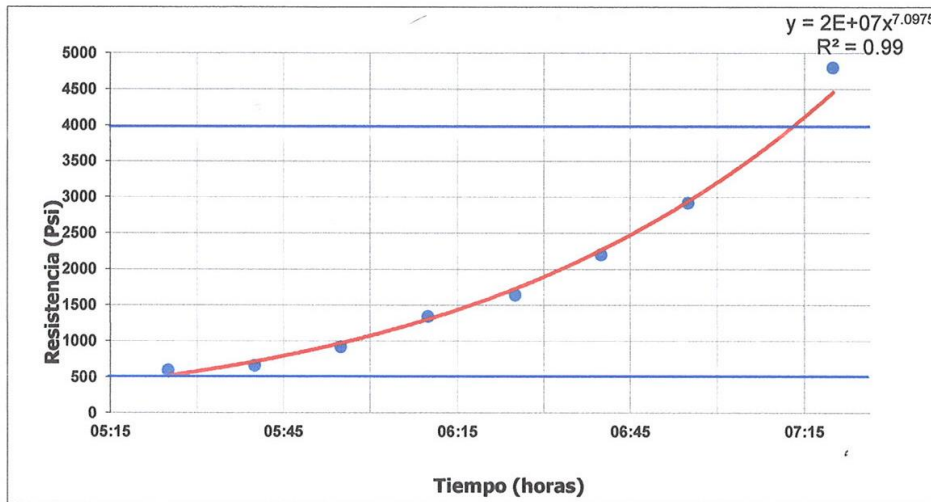
## TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO

JN / ICCI 04.06.16

**C403 Método Estandar para Tiempo de Fraguado en Mezclas de Concreto por Resistencia a la Penetración**

No. Prueba: Objetivos: <b>Rangos de uso SFV-50</b> Hora de Inicio: <b>11:30</b> Documento Referencia:	Laboratorista: <b>Esvin Mansilla</b> Fecha: <b>24/09/2016</b> Aditivo: <b>Solo agua</b> Dosis:
--	---

#	Hora:	Tiempo Real	Área de aguja (in²)	Carga (Lbs)	Resistencia Penetración (psi)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	16:55	05:25	0.250	148	592	21.0	65
2	17:10	05:40	0.250	164	656	22.0	65
3	17:25	05:55	0.100	92	920	22.1	65
4	17:40	06:10	0.100	134	1340	22.1	65
5	17:55	06:25	0.100	164	1640	22.0	65
6	18:10	06:40	0.050	110	2200	22.0	66
7	18:25	06:55	0.050	146	2920	21.8	67
9	18:50	07:20	0.025	120	4800	21.6	68



F. Inicial	05:23
F. Final	07:13

  
 Ing. Kenneth Molina  
 Jefe de Laboratorio



**LABORATORIO DE CONCRETO**  
 SIKI GUATEMALA, S.A.

  
 Esvin Mansilla  
 Laboratorista

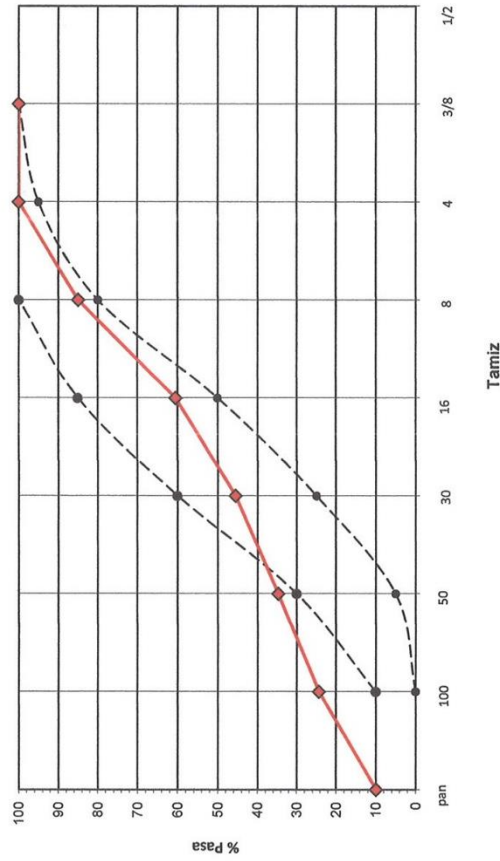
CONFIDENCIAL

Continuación de anexo 2.



### ANÁLISIS FÍSICO DE AGREGADO FINO

INFORME No. \_\_\_\_\_ MATERIAL Calizo triturado de La Roca 0-6 mm  
 FECHA: Lunes, 05 de Septiembre de 2016 PROYECTO Rangos SFV-50



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO	
Peso Específico	2.72
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1668
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1936
Porcentaje de Absorción	0.74
% Pasa Tamiz 200	9.90
Módulo de Finura	2.50

Tamiz No.	3/8	4"	8	16	30	50	100	Pan
% Pasa	100.00	100.00	84.94	60.46	45.54	34.68	24.38	9.90
% Retenido Acum	0.00	0.00	15.06	39.54	54.46	65.32	75.62	90.10

Ing. Kenneth Molina  
 JEFE DE LABORATORIO DE CONCRETO

Esvin Mansilla  
 ANALISTA

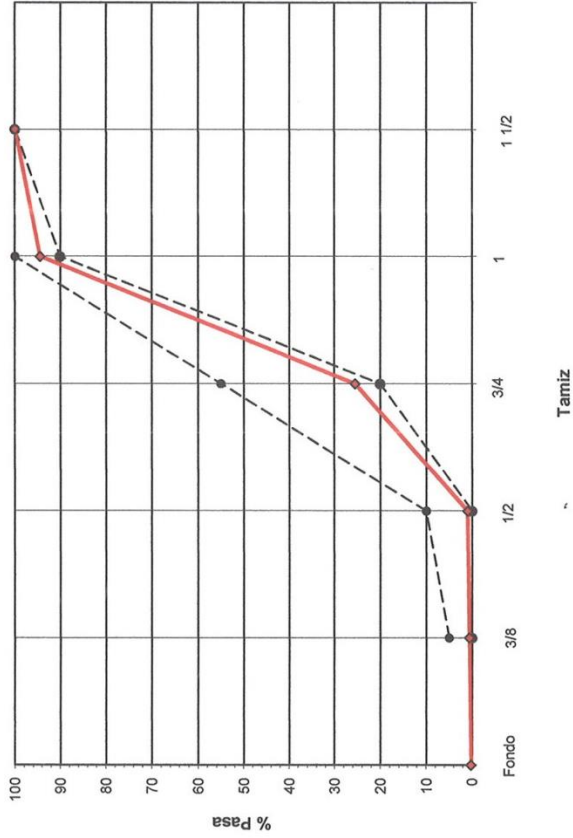


Continuación de anexo 2.



**ANÁLISIS FÍSICO DE AGREGADO GRUESO (Curva 5)**

INFORME No. \_\_\_\_\_ MATERIAL Calizo triturado de La Roca 1"  
 PROYECTO Rangos SFV-50  
 FECHA: Lunes, 05 de Septiembre de 2016



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO	
Peso Especifico	2.69
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1480
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1568
Porcentaje de Absorción	0.59
Pasa Tamiz 200	0.21
Módulo de Finura	7.74

Tamiz No.	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	fondo
% Pasa	100.00	94.50	25.53	1.02	0.60	0.21
% Retenido Acumulado	0.00	5.50	74.47	98.98	99.40	99.79

Ing. Kenneth Molina

Esvin Mansilla

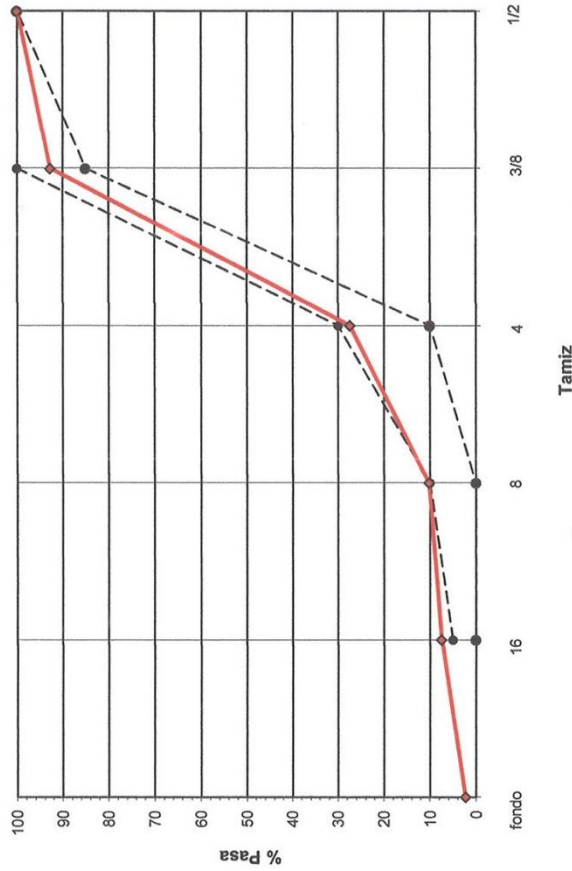


Continuación de anexo 2.



**ANÁLISIS FÍSICO DE AGREGADO GRUESO (Curva 8)**

INFORME No. \_\_\_\_\_ MATERIAL Calizo triturado de La Roca 3/8"  
 FECHA: Lunes, 05 de Septiembre de 2016 PROYECTO Rangos SFV-50



Peso Específico	2.64
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1525.57
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1806.82
Porcentaje de Absorción	1.21
Pasa Tamiz 200	2.27
Módulo de Finura	5.62

Tamiz No.	1/2	3/8	4	8	16	fondo
% Pasa	100.00	92.75	27.41	10.21	7.46	2.27
% Retenido	0.00	7.25	72.59	89.79	92.54	97.73



Ing. Kenneth Molina



Esvin Mansilla



Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO											
Cliente: Sika Guatemala, S.A.		No. De Bachada: 1											
Proyecto: Rangos SVF-50													
No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Peso (kg)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (psi)
1	Testigo #1	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	1	21/09/2016	3.99	87	11.1	1610
2	Testigo #2	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	1	21/09/2016	4.00	79.8	10.2	1470
3	Testigo #3	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	3	23/09/2016	3.97	158.148	20.1	2920
4	Testigo #4	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	3	23/09/2016	4.01	147.15	18.7	2720
5	Testigo #5	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	7	27/09/2016	4.00	202.648	25.8	3740
6	Testigo #6	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	7	27/09/2016	4.00	195.35	24.9	3610
7	Testigo #7	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	28	18/10/2016	4.02	242.68	30.9	4480
8	Testigo #8	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	28	18/10/2016	4.01	252.15	32.1	4660
9	SVF-50 #9	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	1	21/09/2016	3.99	95.781	12.2	1770
10	SVF-50 #10	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	1	21/09/2016	4.00	98.731	12.6	1820
11	SVF-50 #11	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	3	23/09/2016	3.99	184.843	23.5	3410
12	SVF-50 #12	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	3	23/09/2016	4.00	187.399	23.9	3460
13	SVF-50 #13	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	7	27/09/2016	4.03	228.74	29.1	4220
14	SVF-50 #14	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	7	27/09/2016	4.04	223.275	28.4	4120
15	SVF-50 #15	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	28	18/10/2016	4.00	276.502	35.2	4480
16	SVF-50 #16	4000	Cilindro	100	200	7854	20/09/2016	28	18/10/2016	4.02	273.611	34.8	4660
Observaciones:													
													
													



Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO											
Cliente: Sika Guatemala, S.A.		No. De Bchada: 2											
Proyecto: Rangos SVF-50													
No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Peso (kg)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (psi)
1	Testigo #1	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	1	28/09/2016	3.87	79	10.1	1460
2	Testigo #2	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	1	28/09/2016	3.92	77.469	9.9	1430
3	Testigo #3	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	3	30/09/2016	3.92	144.876	18.4	2680
4	Testigo #4	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	3	30/09/2016	3.95	145.082	18.5	2680
5	Testigo #5	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	7	4/10/2016	3.92	182.397	23.2	3370
6	Testigo #6	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	7	4/10/2016	3.95	189.696	24.2	3500
7	Testigo #7	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	28	25/10/2016	3.93	229.355	29.2	4240
8	Testigo #8	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	1	28/09/2016	3.94	216.524	27.6	4000
9	SVF-50 #9	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	1	28/09/2016	3.95	110.995	14.1	2050
10	SVF-50 #10	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	1	28/09/2016	3.96	107.486	13.7	1980
11	SVF-50 #11	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	3	30/09/2016	3.99	187.252	23.8	3460
12	SVF-50 #12	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	3	30/09/2016	3.99	191.898	24.4	3540
13	SVF-50 #13	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	7	4/10/2016	3.95	221.895	28.3	4100
14	SVF-50 #14	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	7	4/10/2016	4.01	235.602	30.0	4350
15	SVF-50 #15	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	28	25/10/2016	3.96	287.15	36.6	4100
16	SVF-50 #16	4000	Cilindro	100	200	7854	27/09/2016	28	25/10/2016	3.97	283.159	36.1	4350
		Observaciones:											



BUILDING TRUST



SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO

Fecha

Revisa



LABORATORIO DE CONCRETO SIKASIKA GUATEMALA, S.A.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO											
Cliente: Sika Guatemala, S.A.		No. De Bachada: 3											
Proyecto: Rangos SVF-50													
No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Dímetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Retura	Peso (kg)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (psi)
1	Testigo #1	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	1	6/09/2016	3.94	94	12.0	1740
2	Testigo #2	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	1	6/09/2016	3.91	93.746	11.9	1730
3	Testigo #3	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	3	8/09/2016	3.99	136.606	17.4	2520
4	Testigo #4	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	3	8/09/2016	3.98	150.401	19.1	2780
5	Testigo #5	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	7	12/09/2016	4.01	184.17	23.4	3400
6	Testigo #6	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	7	12/09/2016	3.98	179.074	22.8	3310
7	Testigo #7	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	28	3/10/2016	4.03	234.894	29.9	4340
8	Testigo #8	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	28	3/10/2016	3.97	227.621	29.0	4200
9	SVF-50 #9	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	1	6/09/2016	3.96	114.561	14.6	2120
10	SVF-50 #10	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	1	6/09/2016	3.95	109.053	13.9	2010
11	SVF-50 #11	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	3	8/09/2016	3.99	188.65	24.0	3480
12	SVF-50 #12	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	3	8/09/2016	4.02	189.789	24.2	3500
13	SVF-50 #13	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	7	12/09/2016	3.99	206.026	26.2	3800
14	SVF-50 #14	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	7	12/09/2016	4.01	223.144	28.4	4120
15	SVF-50 #15	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	28	3/10/2016	4.00	284.073	36.2	5250
16	SVF-50 #16	4000	Cilindro	100	200	7854	5/09/2016	28	3/10/2016	4.01	289.034	36.8	5340
Observaciones:		 											





Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO											
Cliente		Sika Guatemala, S.A.											
Proyecto:		Rangos SVF-50											
		No. De Bachada											
		4											
No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Peso (kg)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (psi)
1	Testigo #1	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	1	13/10/2016	4.01	85	10.9	1570
2	Testigo #2	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	1	13/10/2016	4.03	88.389	11.3	1630
3	Testigo #3	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	3	15/10/2016	4.04	185.533	23.6	3430
4	Testigo #4	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	3	15/10/2016	4.05	185.776	23.7	3430
5	Testigo #5	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	7	19/10/2016	4.07	216.244	27.5	3990
6	Testigo #6	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	7	19/10/2016	4.01	214.006	27.2	3950
7	Testigo #7	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	28	9/11/2016	4.03	256.863	32.7	4740
8	Testigo #8	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	28	9/11/2016	4.02	257.497	32.8	4760
9	SVF-50 #9	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	1	13/10/2016	4.07	106.235	13.5	1960
10	SVF-50 #10	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	1	13/10/2016	4.08	101.979	13.0	1880
11	SVF-50 #11	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	3	15/10/2016	4.11	220.441	28.1	4070
12	SVF-50 #12	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	3	15/10/2016	4.09	243.436	31.0	4500
13	SVF-50 #13	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	7	19/10/2016	4.11	275.178	35.0	5080
14	SVF-50 #14	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	7	19/10/2016	4.09	308.43	39.3	5700
15	SVF-50 #15	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	28	9/11/2016	4.06	335.11	42.7	6190
16	SVF-50 #16	4000	Cilindro	100	200	7854	12/10/2016	28	9/11/2016	4.09	369.955	47.1	6830
Observaciones													




BUILDING TRUST

SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO



LABORATORIO DE CONCRETO SIKAS GUATEMALA, S.A.

Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO											
Cliente		Sika Guatemala, S.A.					No. De Bachada					5	
Proyecto:		Rangos SVF-50											
No.	Identificación	Resistencia Teórica (psi)	Elemento Fundido o Ubicación	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Peso (kg)	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (psi)
1	Testigo #1	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	1	25/10/2016	3.98	99	12.6	1830
2	Testigo #2	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	1	25/10/2016	4.01	98.376	12.5	1820
3	Testigo #3	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	3	27/10/2016	4.04	180.68	23.0	3340
4	Testigo #4	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	3	27/10/2016	4.06	170.338	21.7	3150
5	Testigo #5	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	7	31/10/2016	4.05	215.871	27.5	3990
6	Testigo #6	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	7	31/10/2016	4.08	228.852	29.1	4230
7	Testigo #7	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	28	21/11/2016	4.03	270.794	34.5	5000
8	Testigo #8	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	28	21/11/2016	4.08	280.362	35.7	5180
9	SVF-50 #9	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	1	25/10/2016	4.02	129.083	16.4	2380
10	SVF-50 #10	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	1	25/10/2016	4.02	129.196	16.4	2390
11	SVF-50 #11	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	3	27/10/2016	4.07	233.533	29.7	4310
12	SVF-50 #12	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	3	27/10/2016	4.07	231.276	29.4	4270
13	SVF-50 #13	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	7	31/10/2016	4.02	275.08	35.0	5080
14	SVF-50 #14	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	7	31/10/2016	4.09	280.399	35.7	5180
15	SVF-50 #15	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	28	21/11/2016	4.08	331.107	42.2	6110
16	SVF-50 #16	4000	Cilindro	100	200	7854	24/10/2016	28	21/11/2016	4.08	339.444	43.2	6270
Observaciones													
													



Continuación de anexo 2.



INFORME DE RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO												
Cliente		Sika Guatemala, S.A.					Contacto							
Proyecto:		Clasificación SVF-50 Primera Corrida					Dirección							
No.	Identificación	Elemento Fundido o Ubicación	Distancia al apoyo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Ubicación de la falla respecto al tercio medio	Distancia de falla a apoyo mas cercano	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Testigo #1	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	20/09/2016	3	23/09/2016	DENTRO		26.451	3.4	35
2	SVF-50 (1) #4	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	20/09/2016	3	23/09/2016	DENTRO		29.438	3.8	39
3	Testigo #2	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	20/09/2016	7	27/09/2016	DENTRO		29.344	3.8	38.5
4	SVF-50 (1) #5	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	20/09/2016	7	27/09/2016	DENTRO		33.844	4.4	44.5
5	Testigo #3	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	20/09/2016	28	18/10/2016	DENTRO		37.596	4.9	49.5
6	SVF-50 (1) #6	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	20/09/2016	28	18/10/2016	DENTRO		37.596	4.9	49.5
10	Observaciones													



*[Handwritten signature]*



Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO												
Cliente		Sika Guatemala, S.A.					Contacto							
Proyecto:		Clasificación SVF-50 Segunda Corrida					Dirección							
No.	Identificación	Elemento Fundido o Ubicación	Distancia al apoyo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Ubicación de la falla respecto al tercio medio	Distancia de falla a apoyo mas cercano	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Testigo #1	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	27/09/2016	3	30/09/2016	DENTRO		27.963	3.6	37
2	SVF-50 (2) #4	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	27/09/2016	3	30/09/2016	DENTRO		28.87	3.7	38
3	Testigo #2	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	27/09/2016	7	4/10/2016	DENTRO		32.35	4.2	42.5
4	SVF-50 (2) #5	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	27/09/2016	7	4/10/2016	DENTRO		33.396	4.3	44
5	Testigo #3	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	27/09/2016	28	25/10/2016	DENTRO		36.4	4.7	48
6	SVF-50 (2) #6	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	27/09/2016	28	25/10/2016	DENTRO		36.43	4.7	48
10	Observaciones													
														
														



Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO												
Cliente		Sika Guatemala, S.A.					Contacto							
Proyecto:		Clasificación SVF-50 Tercera Corrida					Dirección							
No.	Identificación	Elemento Fundido o Ubicación	Distancia al apoyo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Ubicación de la falla respecto al tercio medio	Distancia de falla a apoyo mas cercano	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Testigo #1	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	5/10/2016	3	8/10/2016	DENTRO		25.948	3.4	34
2	SVF-50 (3) #4	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	5/10/2016	3	8/10/2016	DENTRO		27.814	3.6	36.5
3	Testigo #2	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	5/10/2016	7	12/10/2016	DENTRO		28.486	3.7	37.5
4	SVF-50 (3) #5	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	5/10/2016	7	12/10/2016	DENTRO		32.051	4.1	42
5	Testigo #3	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	5/10/2016	28	2/11/2016	DENTRO		37.502	4.8	49.5
6	SVF-50 (3) #6	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	5/10/2016	28	2/11/2016	DENTRO		38.154	4.9	50.5
7														
Observaciones														




*[Handwritten signature]*




LABORATORIO DE CONCRETO  
SIKA GUATEMALA, S.A.



Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO												
Cliente		Sika Guatemala, S.A.												
Proyecto:		Clasificación SVF-50 Cuarta Corrida					Contacto							
		Dirección												
No.	Identificación	Elemento Fundido o Ubicación	Distancia al apoyo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Rotura	Ubicación de la falla respecto al tercio medio	Distancia de falla a apoyo mas cercano	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Testigo #1	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	12/10/2016	3	15/10/2016	DENTRO		25.051	3.2	33
2	SVF-50 (4) #4	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	12/10/2016	3	15/10/2016	DENTRO		30.726	4.0	40.5
3	Testigo #2	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	12/10/2016	7	19/10/2016	DENTRO		29.569	3.8	39
4	SVF-50 (4) #5	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	12/10/2016	7	19/10/2016	DENTRO		35.953	4.6	47.5
5	Testigo #3	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	12/10/2016	28	9/11/2016	DENTRO		36.196	4.7	47.5
6	SVF-50 (4) #6	Prueba	457.2	152.4	152.4	23226	12/10/2016	28	9/11/2016	DENTRO		49.393	6.4	65
7														
Observaciones														
														
														
														

Continuación de anexo 2.

INFORME DE RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN		SIKA GUATEMALA, S.A. LABORATORIO DE CONCRETO											
Cliente		Sika Guatemala, S.A.											
Proyecto:		Clasificación SVF-50 Quinta Corrida											
Identificación		Contacto Dirección											
No.	Elemento Fundido o Ubicación	Distancia al apoyo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fecha de hechura	Edad (días)	Fecha de Robura	Ubicación de la falla respecto al tercio medio	Distancia de falla a apoyo mas cercano	Carga Máxima (kN)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Testigo #1	457.2	152.4	152.4	23226	24/10/2016	3	27/10/2016	DENTRO		28.187	3.6	37.0
2	SVF-50 (5) #4	457.2	152.4	152.4	23226	24/10/2016	3	27/10/2016	DENTRO		29.924	3.9	39.5
3	Testigo #2	457.2	152.4	152.4	23226	24/10/2016	7	31/10/2016	DENTRO		35.225	4.5	46.5
4	SVF-50 (5) #5	457.2	152.4	152.4	23226	24/10/2016	7	31/10/2016	DENTRO		36.826	4.8	48.5
5	Testigo #3	457.2	152.4	152.4	23226	24/10/2016	28	21/11/2016	DENTRO		38.678	5.0	51
6	SVF-50 (5) #6	457.2	152.4	152.4	23226	24/10/2016	28	21/11/2016	DENTRO		46.313	6.0	61
7													
Observaciones													
													



Fuente: laboratorio de concreto SIKA Guatemala S. A.

