



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONCRETO AUTOCOMPACTADO EXPERIMENTACIÓN EN  
GUATEMALA**

**RUDY ARTEMIO CHUTÁN MUÑOZ**  
**Asesorado por Ing. Francisco Javier Quiñónez De la Cruz**

**Guatemala, noviembre de 2004**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONCRETO AUTOCOMPACTADO EXPERIMENTACIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RUDY ARTEMIO CHUTÁN MUÑOZ**

ASESORADO POR ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herberth René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Ricardo Arturo Rodas Romero
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **CONCRETO AUTOCOMPACTADO EXPERIMENTACIÓN EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de mayo de 2003.

Rudy Artemio Chután Muñoz

## **AGRADECIMIENTOS A:**

Dios todopoderoso  
y a nuestra madre la Virgen María

Por ser guía de mi vida

Mi asesor

Ing. Francisco Javier Quiñónez, por  
favorecer y apoyar la investigación en  
el área de la ingeniería

Mis patrocinadores

Cementos Progreso S. A.  
Ing. Emilio Beltranena, por su apoyo  
incondicional y su visión al futuro

Al Sr. Mario Sierra y personal  
del laboratorio del CETEC

Por su colaboración en la realización  
de los ensayos

A la Universidad de San Carlos  
y a la Facultad de Ingeniería

Por mi formación académica

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Felipe de J. Chután Mijangos  
Marta Luz Muñoz de Chután  
Por su incondicional apoyo y en  
recompensa a sus esfuerzos

### **Mi esposa**

Marcy Lorena Andrade de Chután  
Con mucho amor

### **Mis hermanos**

Lenin Alexánder (†), Astrid Nineth y  
Alexis Mauricio, con mucho cariño

### **Mis amigos**

Con mucho aprecio

### **Toda mi familia**



1.6	Aplicaciones del concreto autocompactado.....	14
1.6.1	Factores que influyen en la aplicación.....	16
1.7	Ventajas del concreto autocompactado.....	17
1.7.1	Ventajas para el constructor.....	17
1.7.2	Ventajas para el trabajador de la construcción.....	18
1.7.3	Ventajas para el propietario de la construcción.....	19
<b>2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ENSAYOS.....</b>	<b>21</b>
2.5.	La mesa de extensibilidad.....	21
2.6.	La caja tipo “L”.....	22
2.7.	<i>Slump-flow</i> .....	23
2.8.	Resistencia a la compresión.....	24
<b>3.</b>	<b>REALIZACIÓN DE MEZCLAS.....</b>	<b>27</b>
3.9.	Descripción de los ensayos sobre los agregados.....	27
3.9.1.	Peso específico.....	27
3.9.2.	Granulometría.....	30
3.9.3.	Peso unitario compactado y suelto.....	34
3.9.4.	Materia orgánica.....	35
3.9.5.	Absorción y contenido de humedad.....	36
3.10.	Elaboración de mezclas.....	37
3.11.	Ensayo de la mesa de extensibilidad.....	48
3.12.	Ensayo de la caja tipo “L”.....	49
3.13.	Ensayo de <i>slump-flow</i> .....	50
3.14.	Elaboración de probetas.....	53
<b>4.</b>	<b>ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....</b>	<b>55</b>
4.15.	Análisis comparativo.....	55

**CONCLUSIONES.....59**  
**RECOMENDACIONES.....61**  
**BIBLIOGRAFÍA.....63**  
**ANEXOS.....65**



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Granulometría de las arenas usadas	32
2	Granulometría del pedrín de 3/8"	33
3	Mesa de extensibilidad usada en ensayos	49
4	Vistas de caja tipo "L" después de ser ensayada la mezcla	50
5	Ensayos de <i>slump-flow</i> con el cono de Abrams	51
6	Concreto ensayado, muestra que no existe segregación	51
7	Secuencia del ensayo de <i>slump-flow</i> en el embudo	52
8	Vista frontal del embudo usado en ensayo	52
9	Llenado de cilindros	54
10	Evolución de la resistencia del concreto	57
11	Precio unitario 1	65
12	Precio unitario 2	66
13	Precio unitario 3	67
14	Precio unitario 4	68
15	Precio unitario 5	69
16	Equipo para ensayo de mesa de extensibilidad	70
17	Caja tipo "L"	71
18	Equipo para ensayo <i>slump-flow</i>	72

## TABLAS

I	Comparación de precios unitarios	5
II	Peso específico de la arena	28
III	Peso específico del piedrín	29
IV	Granulometría de las arenas usadas	31
V	Granulometría del piedrín de 3/8"	33
VI	Peso unitario compactado y suelto	34
VII	Contenido de materia orgánica	35
VIII	Porcentaje de absorción y contenido de humedad en la arena	36
IX	Porcentaje de absorción y contenido de humedad en el piedrín	37
X	Asentamientos recomendados para concreto	39
XI	Relaciones agua/cemento para distintas resistencias	41
XII	Cantidad de agua de mezcla aproximada y contenido de aire atrapado para diferentes asentamientos y tamaños nominales máximos de agregado	42
XIII	Porcentaje de agregado fino sobre agregado total	43
XIV	Resultados de diseño de mezcla 1	45
XV	Resultados de diseño de mezcla 2	47
XVI	Resultados de diseño de mezcla 3	48
XVII	Resultados de ensayos en la caja tipo "L"	49
XVIII	Resultados de ensayos <i>slump-flow</i> en el cono de Abrams	50
XIX	Resultados de ensayos <i>slump-flow</i> en el embudo	51
XX	Características de las mezclas en estado plástico	53
XXI	Tolerancias permisibles para las edades de los cilindros sometidos a prueba de compresión	55
XXII	Resultados de los ensayos de resistencia a compresión	56

## GLOSARIO

<b>Aditivo</b>	Compuesto químico que se agrega al concreto al momento del mezclado, para mejorar sus características y cualidades
<b>Caliza</b>	Roca sedimentaria de precipitación química, formada por calcita, la cual está compuesta de carbonato de calcio, brillo vítreo y birrefringencia muy fuerte. Es usada para obtener agregado fino y grueso para el concreto
<b>Espécimen</b>	Porción de concreto que se considera para mostrar las cualidades de la mezcla
<b>Granulometría</b>	Graduación del tamaño de las piedras o granos que constituyen los agregados fino y grueso. Método para determinar dicho graduación
<b>Hormigonado</b>	Colocación del concreto dentro de una formaleta. Sinónimo de fundición y de colado de concreto
<b>Mezcladora</b>	Máquina con motor eléctrico o de combustible, formado por un tambor para mezclar los componentes de concreto
<b>Oquedad</b>	Espacio vacío dentro del concreto. También se le llama ratonera

<b>Probeta</b>	Tubo o vaso de cristal o plástico, generalmente graduado y con pie, utilizado para contener y medir líquidos
<b>Revenimiento</b>	Es el asentamiento del concreto cuando se ensaya en el cono de Abrams
<b>Sangrado</b>	Relación entre la cantidad de agua que aparece en la superficie de una muestra y la cantidad total contenida en el concreto colocado
<b>Segregación</b>	Es la separación en mortero y agregado grueso, causada por el asentamiento de dicho agregado
<b>Viscosidad</b>	Propiedad del concreto para adherirse sus agregados entre si.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación consta de una investigación bibliográfica en la cual se presenta la historia del concreto autocompactado hasta la descripción de los ensayos que se le practica en estado fresco, ya que para este concreto no se puede usar el asentamiento del cono.

Las normas que se respetan para el concreto autocompactado son las que se aplican al concreto de alta resistencia, ya que a esta familia pertenece.

En la parte práctica, se caracterizaron los agregados a usar, luego se presentan tres diseños de mezclas hechos con materiales de distinta procedencia de Guatemala, a los cuales se les practicó ensayos en estado plástico, además, de pruebas a compresión a distintas edades, con lo que se comprueba su resistencia.

El concreto autocompactado es el más adecuado para aplicar en estructuras intrincadas y muy reforzadas, debido a su elevada fluidez y consolidación, además de no perder la resistencia requerida.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo de la construcción, el concreto juega un papel sumamente importante, ya que la mayoría de las obras que nos rodean han sido hechas con éste. Y una de las características que todo trabajador de la construcción busca darle a su concreto fresco es la trabajabilidad, tanto para el mezclado como para el colado, lográndolo muchas veces agregando agua a la mezcla, variando así la relación agua/cemento con la cual ha sido diseñada, por lo que afecta notoriamente la calidad del concreto, disminuyendo de forma considerable la resistencia del mismo.

Este problema no es nuevo, ha existido desde que se creó el concreto, es por eso que ha surgido el diseño de un concreto de alta fluidez, al que se le ha denominado concreto autocompactado, que viene a solucionar los problemas de colado en estructuras muy reforzadas o de difícil acceso de vibradores.

En Guatemala se conoce muy poco sobre este tema, por lo que no ha sido muy aplicado, ya que requiere del uso de aditivos químicos y de un estricto control de calidad.

El presente estudio pretende dar a conocer a la industria de la construcción todo lo relacionado a este tipo de concreto, es decir, sus características, ventajas, aplicaciones, materiales a utilizar, ensayos a practicarle (equipo, procedimiento y manejo de resultados), y las resistencias logradas con mezclas hechas con materiales de nuestro medio.



## OBJETIVOS

- **General**

Caracterizar el concreto autocompactado y evaluarlo utilizando materiales procedentes de Guatemala

- **Específicos**

Investigar bibliográficamente todo lo correspondiente al concreto autocompactado, especialmente las normas que lo rigen.

Definir las proporciones adecuadas de los materiales utilizados en la elaboración de mezclas para concreto autocompactado, que permitan cumplir con las exigencias de resistencia requeridas.

Establecer las condiciones bajo las cuales se debe usar el concreto autocompactado.

Practicar ensayos al concreto en estado fresco, para comprobar su alta trabajabilidad y fluidez.

Realizar ensayos a compresión de cilindros hechos con concreto autocompactado a distintas edades (siete, catorce, veintiocho y cincuenta y seis días), para evaluar el avance evolutivo del comportamiento de su resistencia.

# 1 ANTECEDENTES DEL CONCRETO AUTOCOMPACTADO

## 1.1 Historia

En apenas 50 años, la industria de fabricación de concreto ha experimentado notables avances, siendo el concreto autocompactado el último *hito* en la tecnología de dicha industria.

Inicialmente se logró disminuir el vibrado en la colocación del concreto, creando el concreto hiperfluido, y con el avance de los aditivos químicos fluidificantes convencionales, se ha podido eliminar por completo el uso del vibrador.

En los años treinta se desarrollaron los primeros aditivos plastificantes, que fueron elaborados a base de lignosulfonatos. Más tarde, en los años setenta se desarrollan los aditivos súper plastificantes a base de melaminas y naftalenos. Luego en los años ochenta, se inicia el desarrollo del concreto autocompactado en la Universidad de Tokio, Japón, en colaboración con avanzados constructores de concreto, creando cada empresa privada sus propias mezclas para concreto autocompactado, así como los ensayos a practicarle, por lo mismo se vieron en la necesidad de registrar sus mezclas cada uno bajo su propio nombre:

- *NVC Non-vibrated concrete* (concreto sin vibración), de la Compañía Kajima.
- *AQC Super quality concrete* (concreto de excelente calidad), de la Compañía Maeda.
- *Biocrete* (biocreto) de la compañía Taisel.

Las primeras aplicaciones se hicieron en complejos y delgados marcos de edificios con gran cantidad de refuerzo. Más recientemente, se han usado volúmenes mucho mayores de concreto autocompactado en las grandes estructuras de ingeniería civil en Japón, tales como un masivo tanque de almacenamiento, y enormes anclas para el puente suspendido Akashi-Kaikyo, con una luz de dos kilómetros.

A principios del año 2000, se crea una gama de aditivos a base de policarboxilatos, con lo cual se completan los aditivos necesarios para la adecuada elaboración de un concreto de elevada fluidez, y alta resistencia a la compresión, es decir, el concreto autocompactado, “CAC”.

## **1.2 Técnicas constructivas**

Entre el concreto que producen las empresas de concreto certificado y el concreto que finalmente queda colocado en el elemento de la obra, frecuentemente existe una importante variación de la calidad, debida a las deficiencias en las prácticas constructivas que modifican negativamente el comportamiento del material en el lugar en donde mejor desempeño debería de tener, que es en la estructura.

Deficiencia en la calidad de la mano de obra en la colocación y vibrado del concreto, falta de supervisión y escasa trabajabilidad de algunas mezclas, pueden llegar a distorsionar el buen desarrollo de las propiedades del concreto endurecido y su compactado en la estructura.

Este cambio en la calidad del concreto colocado afecta de diversas formas a las construcciones:

- Modifica el comportamiento estructural del elemento fabricado con concreto, provocando un cambio en su desempeño al variar las propiedades mecánicas en diferentes secciones de los elementos estructurales como columnas, vigas y losas.
- Afecta la durabilidad de la estructura al presentar segregación del concreto por mala colocación, derivando en concentración de finos en la superficie del elemento y favoreciendo la presencia de fisuras por contracción que permiten la penetración de agentes agresivos para concreto y el acero de refuerzo; estos agentes afectan la durabilidad del elemento. Las oquedades por mala colocación generan cambios en la sección, menor adherencia con el acero de refuerzo y exposición del mismo, así como mayor permeabilidad.

Durante más de cuarenta años, las dos principales características evaluadas en la obra al concreto han sido, el revenimiento para el concreto en estado fresco y la resistencia a la compresión para el concreto en estado endurecido.

Hoy, la resistencia a la compresión es el requisito mínimo que el concreto cumple, a pesar de lo cual no es un indicativo directo de la calidad del mismo ni del desempeño en la estructura a través del tiempo.

El revenimiento es, hasta ahora, la propiedad del concreto con que se busca correlacionar la facilidad de colocación del material y la correcta consolidación en la estructura.

Sin embargo esta característica no ha garantizado la homogeneidad y consolidación del concreto en la estructura debido a que en el proceso de colocación interviene la mano de obra.

Por otro lado las filosofías actuales de diseño sismo-resistente, en su afán por lograr estructuras con alta ductilidad, han generado elementos congestionados de acero en aquellas zonas donde se requiere que la estructura disipe energía por deformaciones inelásticas, y es precisamente allí donde se requiere que el concreto tenga una adecuada colocación, pero debido a la gran cantidad de acero de refuerzo, es donde se presentan frecuentes problemas de colocación.

### **1.3 Costos**

En el continuo esfuerzo por mejorar la economía, es esencial el aumento de la productividad del colado del concreto. La posibilidad de la eliminación completa del trabajo de compactación conducirá al incremento de la eficiencia y a la mayor efectividad en los costos. El desarrollo del CAC aumentará el atractivo de la construcción con concreto, al reducir las arduas tareas y el ruido que acompaña la compactación en los sitios de obra.

Esto representa una ventaja cuando se consideran tanto el ambiente de trabajo como las perturbaciones a los vecinos.

Pese al mayor costo directo de los materiales, el uso del concreto autocompactado permite notables ahorros en la obra, producto de la facilidad de hormigonado, de la menor necesidad de personal, de la calidad de la terminación y del menor desgaste de equipos y moldaje. Por otro lado, abre notables perspectivas para el diseño de formas complejas que hasta ahora hacían difícil su materialización.

**Tabla I. Comparación de precios unitarios**

Descripción	Precio por m3	Observaciones
Concreto tradicional 6000 PSI hecho en obra	Q 1770.86	Ver figura 11
Concreto tradicional 5000 PSI premezclado	Q 910.00	Ver figura 12
Concreto autocompactado con arena de río y pedrín triturado	Q 1605.17	Ver figura 13
Concreto autocompactado con arena y pedrín triturados	Q 1487.82	Ver figura 14
Concreto autocompactado con arena y pedrín de canto rodado	Q 1716.98	Ver figura 15

## **1.4 Definiciones**

### **1.4.1 Concreto autocompactado**

Es el resultado de una tecnología que permite por primera vez que una propiedad del concreto en estado fresco pueda garantizar la correcta compactación y consolidación del concreto directamente en el elemento estructural. Esta propiedad es su capacidad de autocompactación.

De esta forma se logran conectar las propiedades del concreto en estado fresco con el desempeño del elemento de concreto en estado endurecido debido a la homogeneidad en el comportamiento mecánico y durabilidad del concreto colocado en la estructura.

El concreto autocompactado, se puede definir como: aquel que tiene la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibrado, aún en elementos estrechos y densamente armados.

Este concreto pertenece a la familia de los concretos de alto desempeño y tiene la propiedad de fluir sin segregación autocompactándose por sí solo, asegurando así la continuidad del concreto endurecido.

El concreto autocompactado también es llamado concreto autonivelante, concreto autocompactable, y/o concreto autocompactante.

### **1.4.2 Concreto fresco**

Se le llama así al concreto en estado plástico, cuando aún no ha sido iniciado su proceso de fraguado.

El concreto fresco debe ser adecuado para la obra particular a la que se destine, en especial su docilidad que debe permitir recibirlo, transportarlo, colocarlo en los encofrados y terminarlo con los medios disponibles. De este modo el concreto llenará totalmente las formaletas, sin dejar oquedades o nidos de abeja y recubrirá totalmente las armaduras de refuerzo, tanto en pro de la resistencia estructural como para la pasivación del hierro lograda con la lechada de cemento, y quedará con la terminación prevista para la obra.

Durante estas actividades no debe producirse ninguna segregación de los materiales componentes, en especial el agua.

Una vez terminada la colocación del concreto en los encofrados, debe ser homogéneo, compacto y uniforme.

#### **1.4.3 Concreto endurecido**

Estado físico del concreto donde se caracteriza por su dureza y rigidez, y que se produce cuando termina el fraguado, a partir de la cual, el conjunto de materiales granulares, pulverulentos y agua, se han convertido en una verdadera piedra artificial.

#### **1.4.4 Concreto homogéneo**

Se le llama así al concreto que una vez descargado y endurecido, no presenta “juntas frías” o “juntas de trabajo”, es decir, capas adyacentes o superpuestas del material que han sido colocadas con una separación tal de tiempo, que al concreto que se le colocó antes le faltó la plasticidad suficiente como para que se soldase con el colocado a continuación, y por esa falta de adherencia no se ha obtenido el monolitismo, indispensable en una estructura donde el concreto debe actuar como una sola pieza.

### **1.4.5 Elevada fluidez**

Es la propiedad del concreto para ser colado en obra sin ningún equipo de vibración. Además, gracias a esta propiedad, es mucho más fácil de trabajarlo.

## **1.5 Características principales que deben reunir los materiales**

### **1.5.1 Cemento**

No existen requerimientos especiales en cuanto al tipo de cemento, incluso se pueden usar cementos compuestos.

En algunos documentos se recomienda emplear cementos con bajo calor de hidratación para minimizar los problemas de retracción que una masa con tanta cantidad de finos puede generar.

En general, los requerimientos básicos en cuanto al tipo de cemento los marcará el tipo de aplicación. Por ello, en el presente estudio se usa el cemento para uso general en la construcción de Cementos Progreso, con una resistencia de 4000 PSI a los 28 días.

### **1.5.2 Agregados**

Los agregados ocupan típicamente las tres cuartas partes del volumen en el concreto, deben estar libres de suciedad, ser durables y no deben tener sustancias que reaccionen químicamente con el cemento. Se clasifican en agregado grueso (pedrín o grava) y agregado fino (arena de río, de mina o triturada).

Las principales características de los agregados que afectan la calidad del concreto son: forma geométrica, granulometría, propiedades mecánicas e interacción química con la pasta.

La clasificación entre agregado fino y agregado grueso, se realiza con base a su tamaño de la siguiente manera: el fino es el que pasa a través del tamiz número 4 (4.75 mm.), según la ASTM C-33 y el agregado grueso es el que queda retenido en dicho tamiz.

Una adecuada distribución granulométrica del agregado, debe lograr el máximo acomodamiento y por lo tanto alta compactación de las partículas para obtener la máxima densidad unitaria y un mínimo consumo de agua, así como una mayor contribución a la capacidad resistente. Normas de distintos países establecen límites de graduación continua completa como la ASTM C-33.

La forma ideal de los agregados es la redondeada para los cantos rodados y la cúbica para los triturados. Estos últimos tienen una mayor adherencia, aunque los lisos redondeados requieren menos agua para obtener un concreto de elevada fluidez.

#### **1.5.2.1 Agregado fino**

No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza de las arenas empleadas. Sobre su distribución de tamaños, es necesario emplear arenas continuas, sin cortes en su granulometría, y preferiblemente sin formas lajosas (típico de las arenas silíceas machacadas).

Su cantidad deberá estar en consonancia con la cantidad de grava. Generalmente el contenido de la arena puede representar el 60% o el 50% de la cantidad de árido total, en función de la naturaleza y cantidad de la adición empleada de cemento y de las características de la grava.

Es preferible que un cierto porcentaje de finos pase por el tamiz 100 (por parte de las arenas) ya que esto puede reducir la demanda de adición de cemento para corregir los 500-550 Kg./m<sup>3</sup> de finos demandados.

### **1.5.2.2 Agregado grueso**

Las mayores exigencias en cuanto a materiales para la elaboración del concreto autocompactado están en la grava. A pesar de que no existe limitación en cuanto a su naturaleza, si existen limitaciones con el tamaño máximo y el coeficiente de forma. El tamaño máximo del árido se limita a 25.4 mm. (1"), aunque es preferible limitarlo a 20 mm. (3/4"). Evidentemente, el tamaño máximo del árido deberá guardar relación con la distancia entre armaduras, pero dado el caso que fuere posible trabajar con tamaños superiores a 25.4 mm., no deberá excederse de éste, ya que implica un elevado riesgo de bloqueo y segregación de la masa. De todas formas, los mejores resultados globales se consiguen empleando tamaños entre 9 y 16 mm. (3/8" y 5/8").

En cuanto al coeficiente de forma, este debe ser lo más bajo posible ya que las mejores propiedades autocompactables sin bloqueos y elevada fluencia del concreto se consiguen con gravas rodadas. Las formas lajosas dificultan que el concreto fluya adecuadamente y aumentan el riesgo de bloqueo.

### 1.5.3 Agua

La cantidad de agua total empleada debe guardar relación con el volumen de finos empleados a razón de una relación 0.9 – 1.05. Relaciones volumétricas agua/finos ( $R A/F$ ) inferiores a 0.9 generan concretos demasiado cohesivos, que necesitan mucho volumen para autocompactarse.

Contrariamente,  $R A/F$  superiores a 1.05 implican un elevado riesgo de exudación.

Si se emplea aditivo modulador de viscosidad, la relación del contenido de agua con el volumen de finos es más flexible en el aspecto que es posible incrementar el contenido de agua ( $R A/F$  superiores a 1.05) ya que dicho modulador, gracias a su efecto cohesionante, actúa como elemento corrector.

La dosificación de agua y el cálculo de la  $R A/C$  debe considerarse la cantidad y el tipo de adición. Por ejemplo, al trabajar con cantidades elevadas de cenizas, estas deben considerarse en el agua reactiva. Esto implica considerar más la relación agua/ligante ( $R A/L$ ) que la propia relación  $A/C$  en el caso de emplear cenizas.

En general, y como el concreto convencional, la  $R A/C$  (o  $R A/L$  dado el caso) es fundamental sobre la durabilidad y resistencia mecánica del concreto. Puede existir, sin embargo, un problema en la calidad de los acabados si se emplean  $R A/C$  extremadamente bajas si no se toman precauciones adicionales.

## **1.5.4 Aditivos químicos**

### **1.5.4.1 Aditivo súper plastificante/reductor de agua de alta actividad**

El aditivo súper plastificante es imprescindible para producción de concreto autocompactable. No todos los tipos son utilizables.

Los aditivos basados en naftalen-sulfonatos (como el *Rhebuild* 1000) o los condensados de melamina (como el *Rhebuild* 2500), no ofrecen suficiente poder reductor de agua y en consecuencia, los tipos utilizables son los basados en éter policarboxílico modificado (*Glenium* SCC), capaces de reducir agua en valores superiores al 35%. Independientemente del poder reductor de agua, las características del aditivo deben ajustarse a las de cada aplicación (en función de si se demanda elevada resistencia inicial, prolongado mantenimiento de la consistencia, etc.) y en correspondencia al tipo de cemento, adición y áridos empleados. En este aspecto, si se emplean las adiciones más adecuadas para cada aplicación el efecto del aditivo sobre el desarrollo de resistencias o sobre el fraguado no es tan acusado, especialmente en el caso de emplear cenizas, donde éstas colaboran de forma muy importante en el mantenimiento de la consistencia y dejan las particularidades del aditivo en segundo plano. Este razonamiento no es válido en los casos donde se demanda elevada resistencia inicial. Ante estas situaciones las particularidades del aditivo en el desarrollo de resistencia si son muy trascendentes.

Para nuestras mezclas, usaremos *Glenium* 3030 NS, el cual es un aditivo reductor de agua de alto rango, cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua (tipo A) y aditivos reductores de agua de alto rango, (tipo F).

El rango de dosificación de este aditivo recomendada para aplicaciones tipo F, es de 390 a 1,170/100 Kg. de cemento.

Este aditivo puede adicionarse a la mezcla con el agua inicial o con el agua final de mezclado.

#### **1.5.4.2 Aditivo modulador de viscosidad**

Los aditivos moduladores de viscosidad son productos que confieren cohesión interna a la masa sin apenas pérdidas de fluidez.

El empleo de este tipo de aditivo puede no ser imprescindible en el caso de emplear las adiciones y el cemento en su calidad óptima. En estos casos, el aporte de finos será suficiente para mantener la cohesión interna y el empleo de aditivo modulador de viscosidad en estos casos podría incluso ser perjudicial por la elevada cohesión de la masa, que requeriría elevados volúmenes de concreto para su autocompactación. El uso de modulador de viscosidad es imprescindible en el caso de insuficiencias en el aporte de finos. En estos casos, el modulador de viscosidad representa una gran ayuda para mantener concretos con contenidos de finos inferiores a los recomendados en perfecto estado de cohesión interna, manteniendo la fluidez de la masa.

El uso del modulador de viscosidad ofrece grandes resultados como elemento tolerador de las variaciones en las características de los materiales.

Por ejemplo, si el árido puede ofrecer ligeras variaciones en su contenido de humedad (hecho que podría implicar obtener concretos con insuficiente fluidez en el caso del defecto de concretos totalmente disgregados en el caso del exceso), al emplear modulador de viscosidad estas variaciones pueden ser toleradas, obteniendo resultados más uniformes y seguros, independientemente de las ligeras variaciones de las características de los materiales empleados.

La dosificación de todos los componentes básicos del concreto autocompacto deberá mantener un equilibrio que debe ser estable durante todo el tiempo que dure el ciclo de aplicación.

En nuestras mezclas usaremos como modulador de viscosidad el *Rheomac VMG 358*, que nos ayuda a evitar la segregación y es compatible con el reductor de agua que utilizaremos. El fabricante recomienda usar de 130 a 650 ml/100 Kg. de cemento, y aplicarlo con el agua inicial de mezclado, alternativamente puede adicionarse después de que todos los demás ingredientes del concreto se han mezclado perfectamente.

## **1.6 Aplicaciones del concreto autocompactado**

Ha la fecha, en el mundo se han realizado un gran número de aplicaciones para una extensa diversidad de estructuras y elementos de concreto, incluyendo:

Pisos: ha sido aplicado en rampas, gradas y pavimentos de concreto, donde ha demostrado un buen desempeño.

Losas armadas: ha tenido una mayor aplicación en losas, especialmente las reforzadas tradicionalmente (bastón + riel + tensión, en ambos sentidos), fundiendo monolíticamente las vigas, teniendo un excelente colado en los nudos de los marcos (losa-viga-columna), zona que generalmente se encuentra densamente armada.

Elementos modulares: cuando se desean elementos de concreto de sólo algunos centímetros de espesor, el concreto autocompactado es el más adecuado, ya que llena perfectamente la formaleta.

Elementos pre-tensados: se puede aplicar en vigas y otros elementos prefabricados.

Muros densamente armados: hoy, los espacios (áreas) para diseñar son cada vez más pequeños, y tanto en viviendas como en edificios, suelen trabajar con muros de concreto armado de un espesor mínimo (de 0.10 hasta 0.05 m.), en los cuales se dificulta la fundición, por lo que se hace necesario aplicar el concreto autocompactado.

Estos muros, densamente armados, suelen presentarse también en la construcción de cisternas para agua potable, fosas sépticas, estanques, Etc.

Revestimiento de túneles: por la dificultad que presenta el colado del concreto, especialmente por la forma y refuerzo (acero), se adecua perfectamente el uso del concreto autocompactado. Como por ejemplo, el túnel de doble carril de 9.40 Km de longitud entre las ciudades de Zurich y Thalwill.

Puentes: ya se han hecho trabajos en puentes tales como: el puente suspendido Akashi-Kaikyo en Japón, donde se colocaron 140,000.00 m<sup>3</sup>, y se redujo el tiempo de construcción de 2.50 a 2.00 años. Además, se realizó la reparación de un puente en Rempenbruecke en los Alpes suizos.

Rellenos de difícil acceso: cuando se tienen especialidades arquitectónicas de formas caprichosas y superficies complejas, el concreto autocompactado llena perfectamente los espacios y da un excelente acabado.

El concreto autocompacto puede ser hecho en obra a mano o con mezcladora, también puede ser premezclado en alguna planta y transportado en camión hormigonera cerrado, y colocado con el método tradicional y/o bombeado.

### **1.6.1 Factores que influyen en la aplicación**

La gran fluidez de la mezcla requiere se tenga especial cuidado durante el transporte y colocación del concreto autocompactado, especialmente debe tenerse en cuenta el incremento de la presión hidrostática sobre las formaletas. Cuando el concreto es colocado dentro de estructuras estrechas deben tomarse precauciones para evitar que quede aire atrapado y prevenir la formación de vacíos en el acabado del concreto, esto se logra con un adecuado desfogue.

El concreto autocompactado puede ser bombeado de la parte baja de la formaleta hacia arriba, mediante acoples apropiados a la formaleta, sin embargo puede ser igualmente vertido a las mismas desde la parte superior como se hace tradicionalmente. En este caso, la máxima altura de caída del concreto recomendada es de 2.00 m., aún cuando se ha reportado muy buenos

acabados con descargas de hasta 6.00 m. de altura. El contenido de aire puede variar de 1.5% a 6% en volumen.

El tiempo de fraguado es levemente superior al de un concreto convencional, dependiendo del tipo de aditivo empleado. Si se requiere pueden emplearse aditivos retardantes o acelerantes para modificar los tiempos de fraguado.

## **1.7 Ventajas del concreto autocompactado**

### **1.7.1 Ventajas para el constructor**

Buen desempeño mecánico y durabilidad de los elementos y las estructuras: las bajas relaciones A/C, permiten una importante reducción de la porosidad, lo que implica una mayor impermeabilidad como parámetro fundamental de la durabilidad. Debido a sus características de formulación, la resistencia mecánica siempre se ve mejorada.

Protege al acero de refuerzo: debido a que los elementos fundidos con este tipo de concreto quedan sin ratoneras, y libres de grietas, se logra evitar el acceso de agentes dañinos para el concreto y el acero de refuerzo, tales como los cloruros, los sulfatos y el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Se evita la concentración del agregado grueso en zonas mal vibradas: gracias a su alta fluidez, el concreto autocompactado presenta una masa que mantiene su homogeneidad tanto de forma intrínseca como al someterse al colado en obra (pasando a través del armado), por lo que no presenta segregación o exudación.

Reducción de costos y tiempo asociados con la colocación y el vibrado: el constructor que se decida a utilizar el concreto autocompactado, puede tener mejores precios que la competencia, debido al ahorro que tiene en el colado del concreto, y en la disminución de mano de obra y equipo, además de poder desencofrar en un menor tiempo que el concreto tradicional.

Reducción de herramientas y equipo necesarios para la colocación: no se utiliza ningún equipo ni herramienta para vibrar o compactar el concreto al momento de su colocación en obra.

### **1.7.2 Ventajas para el trabajador de la construcción**

Mejora las condiciones de salud y seguridad: se elimina por completo el ruido provocado por los diferentes tipos de vibradores, con lo cual se disminuyen los problemas auditivos; se mejora la comunicación en el lugar de trabajo y se previene la enfermedad “síndrome de dedos blancos”.

También se reduce el riesgo de caídas de andamios al eliminar la necesidad del vibrado.

Mayor facilidad y, por ende, menor esfuerzo para trabajarlo: debido a su elevada fluidez, se logra alcanzar mejores rendimientos de mano de obra, ya que es un concreto de buena trabajabilidad.

### **1.7.3 Ventajas para el propietario de la construcción**

Reducción de los costos de mantenimiento y reparaciones: reduce ampliamente los vacíos o ratoneras, así como los defectos en la superficie, reduciendo de esta manera las reparaciones y el mantenimiento de la estructura.

Garantía de comportamiento estructural y de durabilidad de su edificación: al proteger el acero de refuerzo, eliminar la porosidad y las grietas y evitar la segregación de agregados, el concreto autocompactado garantiza su buen comportamiento estructural y su durabilidad.

Mejores acabados: en lo que se refiere a la estética, presenta excelentes acabados que colaboran también en su durabilidad. El color es más uniforme, sin eflorescencias de vibrado.

Queda con un buen acabado alrededor de detalles complejos, filos y bordes.

Reducción de costos de ejecución: al disminuir la cantidad de personal, el mejorar la calidad del acabado y el ahorro en equipo de vibración, nos llevan a reducir el costo directo del concreto.

## 2 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES ENSAYOS

### 2.1 La mesa de extensibilidad

Esta es una prueba desarrollada en Alemania, y está regida por la norma europea EN 206. El equipo a utilizar es el siguiente:

- Un cono truncado de material no absorbente, sin deformaciones, de 0.20 m de diámetro inferior y 0.13 m de diámetro superior, con 0.20 m de alto.
- La mesa, formado por dos placas del mismo material del cono, de 0.70 x 0.70 m. Estas placas se encuentran unidas por uno de sus lados con un dispositivo especial (bisagra), que permite modificar el ángulo de unión entre ellas.
- Un pisón de madera
- Un cronómetro

Ver figura 16

Para desarrollar la prueba, el cono y la mesa deben humedecerse, luego se llena de concreto el cono en dos capas de igual volumen, consolidando cada capa con el pisón de madera, al terminar la segunda capa, se enrasa y luego se levanta el cono.

Posteriormente se miden dos diámetros perpendiculares entre sí, y se procede a levantar la placa superior sobre la que descansa el concreto, dejándola caer desde una altura de 0.04 m en 15 ocasiones durante 15 segundos sobre la placa inferior.

La mesa de extensibilidad sirve para evaluar la capacidad del concreto para extenderse bajo su propio peso y es un indicativo de si el concreto puede colocarse sin necesidad de vibrado, es decir, si tiene la suficiente fluidez para garantizar su paso por las barras de refuerzo sin dejar oquedades.

## **2.2 La caja tipo “L”**

Equipo:

- Una caja en forma de “L”, hecha de material no absorbente, con una compuerta en la unión de la parte vertical con la horizontal.
- Tres barras de acero para agregar a la caja
- Un cronómetro

Ver figura 17

El ensayo consiste en rellenar la caja en forma de “L” en su parte vertical, con la compuerta cerrada, luego se levanta dicha compuerta de tal modo que el concreto se descargue libremente y fluya a través de las barras de acero.

Después de abrir la compuerta, el concreto deberá fluir hasta 0.40 m en un tiempo comprendido entre 3 y 6 segundos. La diferencia de altura horizontal debe ser menor del 20% después de que el flujo se ha detenido.

Esta prueba se relaciona con la resistencia a la segregación del concreto al traspasar zonas de armadura.

Además, en la misma se controla su capacidad autonivelante en presencia de obstáculos, el bloqueo en barras y el tiempo de fluencia. Por lo tanto, podemos decir que su finalidad es conocer la medida de la velocidad del flujo del concreto y la capacidad de colocación.

### **2.3 Slump-flow**

Equipo:

- Una base no absorbente
- El cono de Abrams
- Un cronómetro

Ver figura 18

Se humedece la base, teniendo el cuidado de que no se repose el agua, se rellena de concreto el cono de Abrams invertido sin compactar ni picar, luego se levanta el cono y se controla la expansión diametral de la masa y el tiempo de fluencia.

El *slump-flow* o revenimiento del cono, es una prueba que determina y cuantifica la fluidez de la masa y se relaciona también con la viscosidad del concreto.

Para que el concreto pueda ser considerado como autocompactante, la expansión obtenida debe ser de 0.60 m. a 0.70 m. en un tiempo máximo de 5 segundos.

## 2.4 Resistencia a la compresión

Equipo y materiales:

- Superficie o base no absorbente
- Cilindro (de preferencia metálico), según norma ASTM C-31
- Cuchara
- Paleta (enrasador)
- Azufre sublimado
- Máquina para aplicar fuerza continua y sin choques de 20 a 50 psi/seg.

Para el desarrollo de la prueba, se debe usar solamente moldes indeformables, no absorbentes, estancos y de materiales que no reaccionen con el cemento. Las dimensiones de los cilindros son de 0.15 m de diámetro y de 0.30 m de altura, con las tolerancias que indica la norma. El tamaño máximo del agregado no podrá superar 1/3 del diámetro del molde. Si parte del agregado grueso supera dicho tamaño, se podrá preparar la probeta con el concreto que pase a través de un tamiz de 37.5 mm. Antes de llenar los moldes, deberán ser colocados sobre una superficie horizontal, rígida y lisa. Para mayor seguridad, deben hacerse, por lo menos, dos probetas por cada pastón que se quiera controlar por cada edad.

Cada muestra se tomará directamente de la canaleta de descarga de la mezcladora, después de haberse descargado los primeros 250 litros de la carga y antes de descargar los últimos 250 de la misma. La muestra se tomará en un recipiente limpio, no absorbente y estanco, y deberá ser totalmente remezclado en el mismo, antes del llenado de las probetas.

Cuando se trata de un concreto tradicional, se debe compactar con la una varilla de punta semiesférica, de .016 m. de diámetro y 0.60 m. de longitud. Pero en nuestro caso, el concreto es autocompactable.

Este ensayo debe ser practicado conforme la norma ASTM C-39, en la que se describe el procedimiento para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto:

- a) Se debe tener un cilindro que cumpla con la norma ASTM C-31
- b) Tomar las dimensiones del cilindro de acuerdo con la norma.
- c) Pesar e identificar correctamente cada espécimen.
- d) Nivelar los especímenes (tanto en la cara superior como en la inferior) usando azufre sublimado, para asegurar que la carga sea distribuida en toda la superficie de la muestra.
- e) Luego debe colocarse el espécimen sobre la base inferior de la máquina y centrarse sobre la misma para ser ensayado. La máquina debe ser capaz de aplicar una fuerza continua y sin choques de 20 a 50 psi/s.
- f) Realizar el ensayo, con la velocidad de carga especificada y anotar la carga máxima que soporte el espécimen.
- g) Hacer los cálculos necesarios según inciso 8 de la ASTM C-39.
- h) Elaborar el reporte indicado en el inciso 9 de la ASTM C-39.



## **3 REALIZACIÓN DE MEZCLAS**

### **3.1 Descripción de los ensayos sobre los agregados**

Antes de diseñar una mezcla de concreto (cálculo de proporciones de los materiales), es necesario realizar un análisis de los agregados a utilizar, el cual comprende como mínimo los siguientes ensayos: Peso específico, granulometría, peso unitario, porcentaje de vacíos, contenido de materia orgánica, y porcentaje de absorción. Se recomienda que estas pruebas sean realizadas en un laboratorio de concretos, para los cuales se necesita aproximadamente 100 libras (45.45 kilogramos) de cada uno de los agregados.

#### **3.1.1 Peso específico**

Es la razón de la densidad de una sustancia a la densidad del agua, también se le conoce con el nombre de gravedad específica, el procedimiento para realizar este ensayo es el siguiente:

- a) Se toma una probeta de vidrio y se pesa ( $P_p$ )
- b) Se agrega a la probeta el material y se vuelve a pesar ( $P_p + P_m$ )
- c) A la probeta con el material se le agrega agua hasta una marca establecida, y se toma el peso ( $P_p + P_m + P_{agua}$ )
- d) Se limpia la probeta y se llena con agua hasta la marca establecida y se toma el peso ( $P_p + P_{agua}$ )

Con este procedimiento lo que se desea encontrar es el peso del volumen de agua que corresponde al volumen del material usado para el ensayo, y se calcula de la siguiente manera:

$$PE = (Pm)/(Pagua)$$

$$P(\text{agua}) = (Pm)+(Pp+Pagua)-(Pp+Pm+Pagua)$$

Este ensayo debe practicarse tres veces, para sacar un promedio de los datos obtenidos.

**Tabla II. Peso específico de la arena**

Arena de Río Motagua	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Pp (gramos)	306.60	307.3	307.10
Pp + Pm (gramos)	806.60	807.30	807.10
Pp + Pm + Pagua (gramos)	968.50	970.30	970.00
Pp+Pagua (gramos)	661.90	663.00	662.90
Pm (gramos)	500.00	500.00	500.00
PE (gramos)	2.59	2.59	2.59
PEpromedio (gramos)	2.59		
Arena de caliza (triturada)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Pp (gramos)	306.70	306.60	307.10
Pp + Pm (gramos)	806.70	806.60	807.10
Pp + Pm + Pagua (gramos)	974.00	977.20	978.00
Pp+Pagua (gramos)	661.10	664.40	665.00
Pm (gramos)	500.00	500.00	500.00
PE (gramos)	2.67	2.67	2.67
PEpromedio (gramos)	2.67		

**Continuación**

Arena de río Las Flores	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Pp (gramos)	287.40	288.70	288.60
Pp + Pm (gramos)	787.40	788.70	788.60
Pp + Pm + Pagua (gramos)	948.60	948.90	952.00
Pp+Pagua (gramos)	661.20	660.20	663.40
Pm (gramos)	500.00	500.00	500.00
PE (gramos)	2.35	2.37	2.37
PEpromedio (gramos)	2.36		

**Tabla III. Peso específico del piedrín**

Piedrín triturado 3/8"	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Pp (gramos)	287.80	288.50	288.20
Pp + Pm (gramos)	787.80	788.50	788.20
Pp + Pm + Pagua (gramos)	1981.20	1921.10	1920.00
Pp+Pagua (gramos)	1668.80	1607.70	1607.80
Pm (gramos)	500.10	500.10	500.00
PE (gramos)	2.665	2.68	2.66
PEpromedio (gramos)	2.67		
Piedrín canto rodado río Las Flores)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Pp (gramos)	290.10	287.60	288.60
Pp + Pm (gramos)	790.10	787.60	788.60
Pp + Pm + Pagua (gramos)	1971.70	1950.80	1945.60
Pp +Pagua (gramos)	1683.60	1660.90	1656.60
Pm (gramos)	500.00	500.00	500.00
PE (gramos)	2.36	2.38	2.37
PEpromedio (gramos)	2.37		

### **3.1.2 Granulometría**

Las mejores mezclas de concreto son producidas con agregados bien graduados. El tamaño y la graduación de éstos, afectan los requerimientos de cemento y agua, así como la economía, la contracción del concreto y la resistencia.

La Norma ASTM C-33 da límites para la graduación de los agregados, dentro de los cuales se obtienen buenas mezclas de concreto, siguiendo esta especificación se obtendrá una adecuada manejabilidad, sin segregación y máxima densidad.

El tamaño de las partículas de la arena, se representan por medio de un parámetro empírico llamado módulo de finura (MF), que indica el predominio de las partículas finas o gruesas dentro de la granulometría, se obtiene sumando los porcentajes de retenidos acumulados hasta el tamiz número 100, divididos por 100. Se ha comprobado que para obtener concretos de alto desempeño, (familia a la que pertenece el concreto autocompactado), el módulo de finura debe estar entre 2.7 a 3.2. Esto se debe a que las arenas con módulo de finura superior a 3.2, la mezcla resultará áspera y con mayor aire incluido, lo cual también reduce la resistencia.

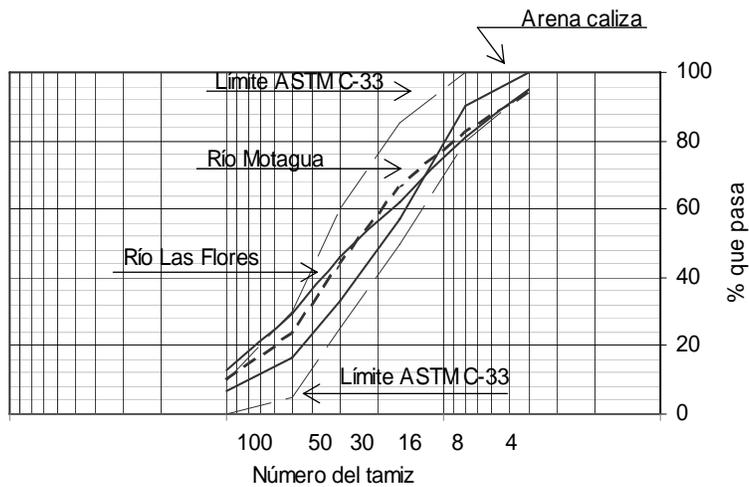
**Tabla IV. Granulometría de las arenas usadas**

Arena del río Motagua				
Tamaño de tamiz No.	Peso retenido gramos	Material retenido %	Material acumulado %	Material que pasa %
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	31.00	6.20	6.20	93.80
8	59.00	11.80	18.00	82.00
16	80.00	16.00	34.00	66.00
30	111.00	22.20	56.20	43.80
50	103.00	20.60	76.80	23.20
100	66.00	13.20	90.00	10.00
200	23.00	4.60	94.60	5.40
Fondo	27.00	5.40	100.00	0.00
	500.00	100.00		
Módulo de finura (MF):				2.81
Arena triturada de caliza				
Tamaño de tamiz No.	Peso retenido gramos	Material retenido %	Material acumulado %	Material que pasa %
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	48.00	9.60	9.60	90.40
16	167.00	33.40	43.00	57.00
30	120.00	24.00	67.00	33.00
50	81.00	16.20	83.20	16.80
100	50.00	10.00	97.80	6.80
200	23.00	4.60	100.00	2.20
Fondo	11.00			
	500.00	100		
Módulo de finura (MF):				2.96

### Continuación

Arena del río Las Flores					
Tamaño de tamiz No.	Peso retenido gramos	Material retenido %	Material acumulado %	Material que pasa %	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	
4	25.00	5.00	5.00	95.00	
8	69.00	13.80	18.80	81.20	
16	95.00	19.00	37.80	62.20	
30	81.00	16.20	54.00	46.00	
50	82.00	16.40	70.40	29.60	
100	83.00	16.60	87.00	13.00	
200	29.00	5.80	92.80	7.20	
Fondo	36.00	7.20	100.00	0.00	
	500.00				
				MF	2.87

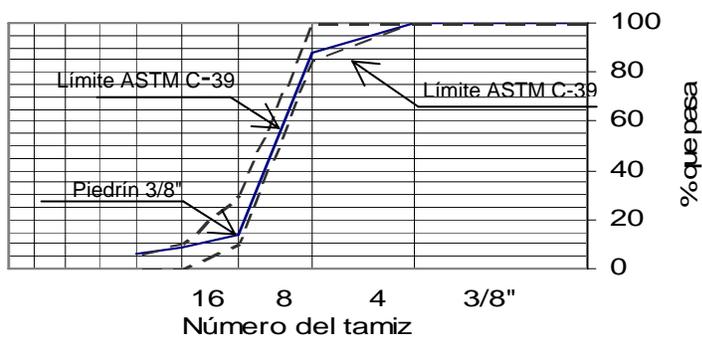
**Figura 1: Granulometría de las arenas usadas**



**Tabla V. Granulometría del piedrín de 3/8"**

Tamaño de tamiz No.	Peso retenido gramos	Material retenido %	Material acumulado %	Material que pasa %
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	122.00	12.20	12.20	87.80
4	737.00	73.70	85.90	14.10
8	56.00	5.60	91.50	8.50
16	24.00	2.40	93.90	6.10
Fondo	61.00	6.10	100.00	0.00
	1000.00			

**Figura 2. Granulometría del piedrín de 3/8"**



### 3.1.3 Peso unitario compactado y suelto

El peso unitario es el peso del material, dividido por su volumen, influye en el grado de vacíos y la humedad del material, para mezclas de concreto el material debe estar en condición saturada y de superficie seca. Sirve para saber cuanto pesa determinado volumen, que corresponda al recipiente usado para dosificar los agregados para el concreto.

Cada ensayo, se realiza tres veces, para obtener un buen promedio.

**Tabla VI. Peso unitario compactado y suelto**

Arena río Motagua	Seca suelta (MUS)			Compactada (MUC)		
Número de ensayo	1	2	3	1	2	3
Pr (gramos)	5200	5200	5200	5200	5200	5200
Pr + Pm (gramos)	12880	12880	12881	13540	13500	13580
Pm (gramos)	7680	7680	7681	8340	8300	8340
Vol.r (m3)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
PU (Kg./m3)	1536	1536	1536.2	1668	1660	1676
PUprom. (Kg./m3)	1536			1668		
Arena caliza	Seca suelta (MUS)			Compactada (MUC)		
Número de ensayo	1	2	3	1	2	3
Pr (gramos)	5200	5200	5200	5200	5200	5200
Pr + Pm (gramos)	11805	11795	11800	12615	12605	12580
Pm (gramos)	6605	6595	6600	7415	7405	7380
Vol.r (m3)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
PU (Kg./m3)	1321	1319	1320	1483	1481	1476
PUprom. (Kg./m3)	1320			1480		

### Continuación

Arena río las Flores	Seca suelta (MUS)			Compactada (MUC)		
	1	2	3	1	2	3
Pr (gramos)	5200	5200	5200	5200	5200	5200
Pr + Pm (gramos)	11465	11464	11465	12180	12210	12150
Pm (gramos)	6265	6264	6265	6980	7010	6950
Vol.r (m3)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
PU (Kg./m3)	1253	1252.8	1253	1396	1402	1390
PUprom. (Kg./m3)	1253			1396		

#### 3.1.4 Materia orgánica

Generalmente los agregados naturales, están contaminados con limos, arcillas, partículas de origen vegetal y aguas negras. Para determinar la cantidad de estos contaminantes en los agregados, se realiza la prueba de materia orgánica, en un frasco de 250 ml, se prepara una solución de sosa cáustica al 3%, se hecha la arena hasta la marca de 125 ml, se agrega la sosa cáustica, se tapa el recipiente y se deja reposar durante 24 horas, luego se compara el color y se determina el grado de contaminación.

**Tabla VII. Contenido de materia orgánica**

Descripción	Arena del río Motagua	Arena de caliza	Arena del río Las Flores
Color de la solución	1.50	1.00	2.50
Interpretación	Poco contenido de materia orgánica "Es aceptable"	Poco contenido de materia orgánica "Es aceptable"	Contenido de materia orgánica aceptable

### 3.1.5 Absorción y contenido de humedad

Estos ensayos tienen como objetivo determinar la siguiente información:

- a) La cantidad de de agua que absorben los agregados en la mezcla de concreto.
- b) Los ajustes necesarios en peso, para asegurar cantidades uniformes de agregados en cada masada.
- c) El coeficiente de abultamiento, debido a la humedad de la arena.

Para este ensayo, se usan aproximadamente 200 grs. de material, el cual debe estar en condición seco-saturada, se le toma el peso exacto en esta condición y luego se mete al horno, durante 24 horas o hasta que el peso sea constante, luego se pesa de nuevo y se calcula el porcentaje de absorción.

**Tabla VIII. Porcentaje de absorción y contenido de humedad en la arena**

Muestras	1	2	3
Arena del río Motagua			
Peso inicial (saturado)	500.00	500.00	500.00
Peso final (seco)	491.00	491.00	491.00
Porcentaje de absorción $(P_i - P_f)/P_f \times 100$	1.83 %	1.83 %	1.83 %
Promedio absorción	1.83 %		
Arena de caliza			
Peso inicial (saturado)	500.00	500.00	500.00
Peso final (seco)	495.10	495.10	495.10
Porcentaje de absorción $(P_i - P_f)/P_f \times 100$	0.99 %	0.99 %	0.99 %
Promedio absorción	0.99 %		

---

**Continuación**

Arena del río Las Flores			
Peso inicial (saturado)	500.00	500.00	500.00
Peso final (seco)	486.70	486.70	486.80
Porcentaje de absorción $(P_i - P_f)/P_f \times 100$	2.73 %	2.73 %	2.71 %
Promedio absorción	2.72 %		

**Tabla IX. Porcentaje de absorción y contenido de humedad en el piedrín**

Piedrín 3/8"	
Peso inicial	500.00
Peso final	494.60
Porcentaje de absorción	1.09 %
Piedrín canto rodado río Las Flores	
Peso inicial	500.00
Peso final	476.37
Porcentaje de absorción	4.96 %

**3.2 Elaboración de mezclas**

Los métodos para el diseño de mezclas (dosificación de los componentes del concreto), tienen como objetivo determinar la combinación más práctica y económica para obtener el concreto de las características deseadas.

Para el diseño de la mezcla se utilizó el método desarrollado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC actualizado, que es muy semejante al recomendado por el Instituto Americano del Concreto; consiste en proporcionar los componentes en masa, pero en base a los volúmenes absolutos que ocupa en un metro cúbico de concreto, tomando en cuenta en lo posible las características reales de los mismos y datos prácticos basados en la experiencia.

Los datos necesarios para poder diseñar una mezcla son los siguientes:

- a) Dimensión más pequeña del elemento o elementos a construir
- b) Espaciamiento del refuerzo (separación entre varillas de acero)
- c) Materiales a usar, especialmente el tamaño nominal del agregado grueso
- d) Asentamiento recomendado
- e) Resistencia estructural requerida
- f) Condiciones de exposición a sulfatos
- g) Máxima relación agua/cemento
- h) Mínimo contenido de cemento permitido

Para el concreto autocompactado se sugiere utilizar agregados de canto rodado, pero debido a que en nuestro medio son más usados los triturados, se presenta el diseño de tres mezclas distintas:

Mezcla 1: combinación de agregados de canto rodado y triturados, (arena del río Motagua y piedrín triturado de 3/8”).

Mezcla 2: agregados triturados, (arena caliza y piedrín triturado de 3/8”).

Mezcla 3: agregados de canto rodado, (arena y piedrín del río Las Flores).

Paso 1: selección del asentamiento, 150.00 mm (6”), tomado de la tabla X; los asentamientos de dicha tabla, pueden incrementarse cuando se usan aditivos reductores de agua y fluidificantes aprobados.

**Tabla X. Asentamientos recomendados para concreto**

Tipo de estructura	Asentamiento (mm)
- Cimientos	25 a 75
- Columnas, vigas y muros reforzados	25 a 100
- Pavimentos y losas	25 a 75
- Concreto masivo	25 a 50
- Revestimiento de túneles y secciones angostas o muy reforzadas	100 a 150

**Fuente: Manual de diseño de mezclas de concreto elaborado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería y Cementos Progreso**

Paso 2: selección del tamaño máximo del agregado a usar: piedrín triturado de 9.53 mm (3/8”).

Paso 3: determinación de la resistencia requerida del concreto:

$$f'_{cr} = f'_c + p \cdot s$$

donde:

$f'_c$  = resistencia a la compresión especificada.

$p$  = factor de probabilidad estadística basado en el número de resultados de ensayos que se permita sean menores de  $f'_c$ .

$s$  = desviación estándar.

Datos:

$f'_c = 41.34$  MP (6000 psi), por ser un concreto que pertenece a la familia de los concretos de alta resistencia.

$p = 1.34$  establecido para estructuras diseñadas por el método de resistencia última (ACI 318-89 Cap. 5) y estructuras de concreto preesforzado, que permite no más de un resultado promedio menor que  $f'_c$  en 100 de los promedios de cualesquiera serie de 3 ensayos consecutivos de resistencia a la compresión.

$s = 1.7$  tomado de los estándares de control para concreto muy bueno hecho en laboratorio.

$$f'_{cr} = f'_c + p \cdot s.$$

$$f'_{cr} = 41.3 \text{ MP} + (1.34)(1.7)$$

$$f'_{cr} = 44.34 \text{ MP} (6426 \text{ psi})$$

Paso 4: selección de la relación agua/cemento  $A/C = 0.44$  tomado de la siguiente tabla:

**Tabla XI. Relaciones agua/cemento para distintas resistencias**

Resistencia		Relación A/C
MP	psi	
13.8	2000	0.92
17.2	2500	0.86
20.7	3000	0.77
24.7	3500	0.68
27.6	4000	0.61
21.0	4500	0.56
34.5	5000	0.52
37.9	5500	0.48
41.3	6000	0.44

**Fuente: Manual de diseño de mezclas de concreto elaborado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería y Cementos Progreso**

Paso 5: estimación del agua en la mezcla y contenido de aire

Agua = 262 Kg./m<sup>3</sup>, pero como se usará un aditivo reductor de agua de alto rango, la cantidad de agua se puede reducir de 25 a 30%, por lo que usamos 196.50 Kg./m<sup>3</sup> de agua.

Aire = 3%

**Tabla XII. Cantidad de agua de mezcla aproximada y contenido de aire atrapado para diferentes asentamientos y tamaños nominales máximos de agregado**

Asentamiento (mm)	Cantidad de agua (Kg./m <sup>3</sup> )					
	Tamaño nominal Max. agregado mm (Pulgadas)					
	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	38.1 (1 ½)	50 (2)
25 - 50	238	229	219	206	191	177
75 - 100	262	248	235	222	208	194
150 - 175	279	262	248	232	219	205
Porcentaje de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.75

Fuente: Manual de diseño de mezclas de concreto elaborado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería y Cementos Progreso

Paso 6: cálculo del contenido de cemento

$$A/C = 0.44$$

$$C = A/0.44$$

$$C = 196.50 \text{ Kg/m}^3 / 0.44 = 446.59 \text{ Kg/m}^3$$

Paso 7: estimación del % del agregado fino:

MF de la arena: 2.81

% de la arena: 52, tomado de la siguiente tabla:

**Tabla XIII. Porcentaje de agregado fino sobre agregado total**

Tamaño nominal agregado		% agregado fino sobre agregado total en volumen absoluto para diferentes módulos de finura del agregado fino			
mm	pulg.	MF: 2.4	2.6	2.8	3
9.5	3/8"	46	48	50	52
12.5	1/2"	44	46	48	50
19	3/4"	42	44	46	48
25	1"	40	42	44	46
37.5	1 1/2"	38	40	42	44
50	2"	36	38	40	42

**Fuente: Manual de diseño de mezclas de concreto elaborado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería y Cementos Progreso**

Paso 8: cálculo de las proporciones iniciales en masas y volúmenes absolutos

Dagua 1000 Kg/m<sup>3</sup>

Dcemento 3050 Kg/m<sup>3</sup>

Darena 2590 Kg/m<sup>3</sup>

Dpiedrín 2670 Kg/m<sup>3</sup>

Contenido	Masa (Kg.)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )
Agua	196.5	0.1965
Cemento	446.59	0.1464
Aire	3	0.0300
Volumen de agua + cemento + aire	= 0.37	
Volumen de los agregados	= 0.63	
Volumen de la arena	= 0.32 = 828.80 Kg/m <sup>3</sup>	
Volumen del piedrín	= 0.31 = 827.70 Kg/m <sup>3</sup>	

Paso 9: hechura de la primera masada de prueba, para un volumen de 0.06 m3.

Material	Peso en Kg.	Proporciones
Agua	11.79	0.44
Cemento	26.80	1
Arena	49.73	1.86
Piedrín	49.66	1.85

Paso 10: corrección por humedad de agregados y del agua

A) Masas de agregados a pesar con humedad actual

$$Mh = \frac{Mss ( 1 + Hc / 100 )}{( 1 + Abs / 100 )}$$

donde:

Mh: masa de agregado a pesar con su contenido de humedad determinado

Mss: masa de agregado saturado de superficie seca (calculado para la mezcla)

Hc: humedad contenida, en porcentaje

Abs: Absorción, en porcentaje

Arena	Hc = 7.90	Abs = 1.83
Piedrín	Hc = 0.66	Abs = 1.09
Mss arena	49.73	
Mss piedrín	49.66	
Mh arena	52.69	
Mh piedrín	49.45	

B) Agua a pesar para la mezcla (Kg.):

Agua neta mezcla teórica:	11.79
Agua en arena: (49.73-52.69) =	-2.96
Agua en pedrín: (49.66-49.45) =	0.21
Agua mezcla:	9.04

C) Con los datos obtenidos, se realiza la primera masada; luego, si es necesario, se realizan pequeñas variaciones en las proporciones de los materiales para lograr la mezcla deseada en estado plástico. Con lo se obtuvieron las siguientes mezclas:

**Tabla XIV. Resultados de diseño de mezcla 1**

Descripción	Mezcla teórica	Mezcla práctica	Mezcla definida
Material	Peso en Kg.	Peso en Kg.	Peso en Kg.
Agua	11.79	9.04	11.36
Cemento	26.80	26.80	25.50
Arena	49.73	52.69	56.78
Piedrín	49.66	49.45	48.60
Aditivo reductor de agua de alto rango	4.95 lt/m <sup>3</sup> de concreto	297.00 ml	297.00 ml.
Relación A/C	0.44	0.44	0.445

Proporción mínima de aditivo = 1.74 lt/m<sup>3</sup> de mezcla de concreto

Proporción máxima de aditivo = 5.23 lt/m<sup>3</sup> de mezcla de concreto

La primera mezcla de prueba se realizó con la proporción media de aditivo (3.49 lt/m<sup>3</sup>), pero al realizar los ensayos respectivos, la mezcla no alcanzó la fluidez requerida, por lo que se le agregó un 41.8% más, con lo que se obtuvo la relación de 4.95 lt/m<sup>3</sup>.

Se utilizó una mezcladora eléctrica con capacidad de medio saco de cemento más sus agregados, el procedimiento fue el siguiente:

- a. Se encendió la máquina y con un poco de cemento, arena y agua, se preparó el tambor de la mezcladora, para que no se pegara el cemento de la mezcla en las paredes del mismo.
- b. Luego se vació la dosis de pedrín en el tambor y la mitad del agua de diseño de la mezcla.
- c. Después se vació el cemento, la arena y el resto del agua en el tambor y se mezcló durante tres minutos.
- d. Luego se tomó un poco de concreto del tambor y se realizó la prueba del asentamiento, para verificar que el concreto tuviera la trabajabilidad deseada. Si la mezcla no alcanza el asentamiento del diseño, se puede agregar más agua, pero se debe medirla para sumarla al agua inicial y obtener el dato real.
- e. Luego se agrega el aditivo reductor de agua, tratando de esparcirlo bien en la mezcla, y se le dio un tiempo de mezclado de tres minutos.
- f. Se hacen los ensayos para el concreto autocompactado (mesa de extensibilidad, caja tipo "L" y *slump flow*). Si la mezcla no cumple con estos ensayos, por falta de fluidez, se agrega más aditivo reductor de agua, se mezcla durante tres minutos y se realizan nuevamente los ensayos.

- g. Se vació el concreto en un recipiente, se toma la temperatura del concreto, se saca la masa unitaria, el contenido de aire y se procede al llenado de cilindros.

Diseño de mezcla 2: debido a que los agregados para esta mezcla son ambos de origen triturado, fue necesario agregar polvo de caliza para lograr un buen porcentaje de finos. Además, en las masadas de prueba se tuvo segregación de los agregados, por lo que fue necesario incluir un aditivo modulador de viscosidad, el cual se fue ajustando en cada prueba.

**Tabla XV. Resultado de diseño de mezcla 2**

Descripción Material	Mezcla teórica Peso en Kg.	Mezcla práctica Peso en Kg.	Mezcla definida Peso en Kg.
Agua	11.79	12.66	13.05
Cemento	26.80	26.80	26.10
Arena	52.87	52.45	50.34
Piedrín	47.88	47.43	49.20
Polvo de caliza		0.68	0.68
Aditivo reductor de agua de alto rango		210.00 ml	210.00 ml
Aditivo modulador de viscosidad		120.00 ml	120.00 ml
Relación A/C	0.44	0.44	0.50

Diseño de mezcla 3: como los agregados son de canto rodado y el piedrín muy pequeño, la mezcla sale muy pastosa, por lo que es necesario bajar la proporción de arena y piedrín de 3/8" y agregarle piedrín de 1" (siempre de canto rodado).

Para lograr la fluidez requerida, se usó el máximo de aditivo, y aún así fue necesario agregar más agua, por lo que también se sumó más cemento para no perder la relación A/C.

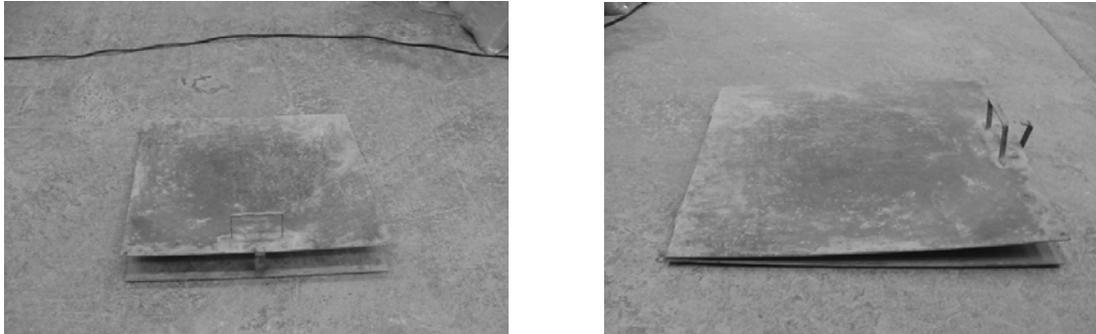
**Tabla XVI. Resultados de diseño de mezcla 3**

Descripción	Mezcla teórica	Mezcla práctica	Mezcla definida
Material	Peso en Kg.	Peso en Kg.	Peso en Kg.
Agua	11.79	11.96	13.20
Cemento	26.80	26.80	30.00
Arena	46.73	46.56	42.60
Piedrín 3/8"	42.66	42.66	35.60
Piedrín 1"			17.80
Aditivo reductor de agua de alto rango		314.00 ml.	314.00 ml.
Relación A/C	0.44	0.44	0.44

### 3.3 Ensayo de la mesa de extensibilidad

El ensayo en la mesa de extensibilidad, para las tres mezclas alcanzó los 70 cm. de diámetro, pero recordemos que en esta prueba se usa un pisón de madera y 15 golpes, por lo que no es un indicativo veraz para el concreto autocompactado, ya que el objetivo de estas mezclas es no utilizar ningún tipo de vibrado. Partiendo de esto, se experimentó con cilindros vibrados, apisonados y únicamente llenados, para ensayarlos a compresión y se obtuvo mínimas diferencias en la resistencia de cada uno de ellos.

**Figura 3. Mesa de extensibilidad usada en ensayos**



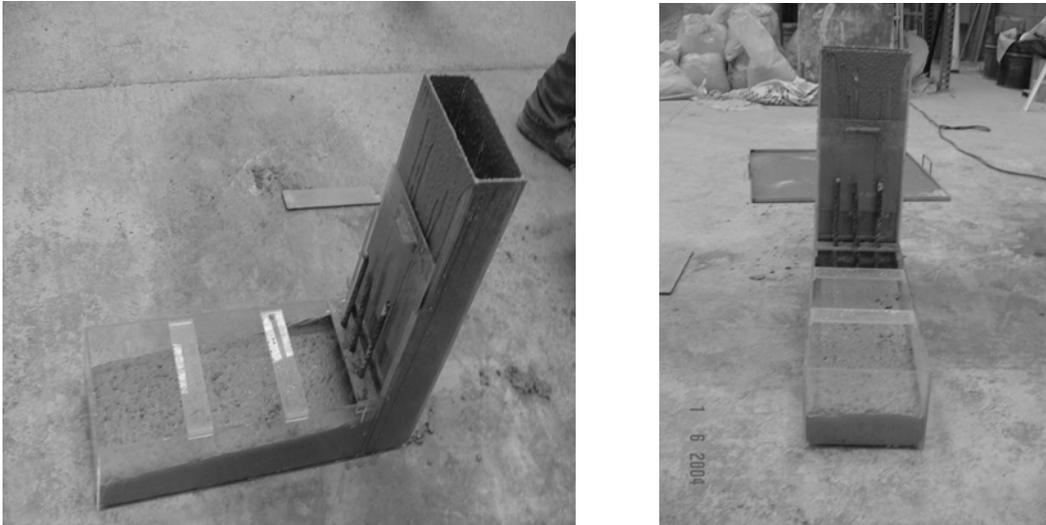
### **3.4 Ensayo de la caja tipo “L”**

**Tabla XVII. Resultados de ensayos en la caja tipo “L”**

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Volumen de concreto	0.012 m <sup>3</sup>	0.012 m <sup>3</sup>	0.012 m <sup>3</sup>
Tiempo de fluido hasta detenerse	3.5 segundos	4 segundos	4 segundos
Segregación	ninguna	ninguna	ninguna

En resumen, las tres mezclas tienen una buena capacidad para autocolocarse, y se encuentran dentro del tiempo de fluencia que es de 3 a 6 segundos, para este tipo de ensayo.

**Figura 4. Vistas de caja tipo “L” después de ser ensayada la mezcla**



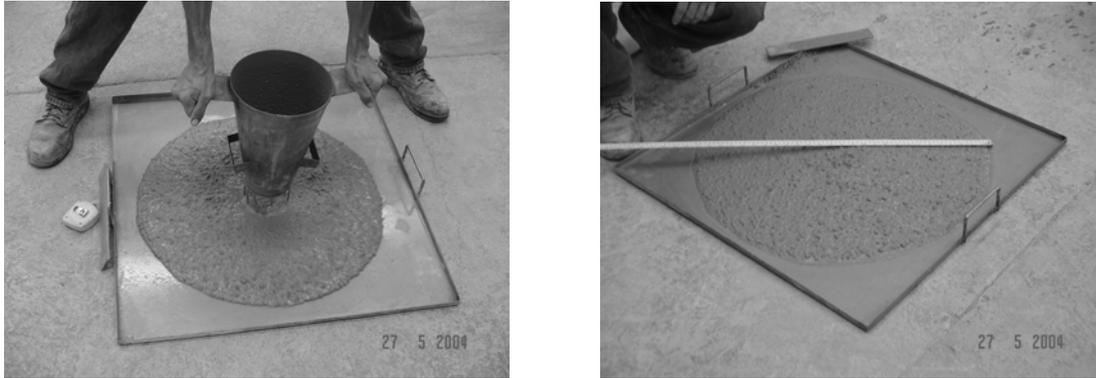
### **3.5 Ensayo de *slump-flow***

Se ensayaron en dos tipos de conos: el cono de abrams invertido y un embudo truncado también invertido.

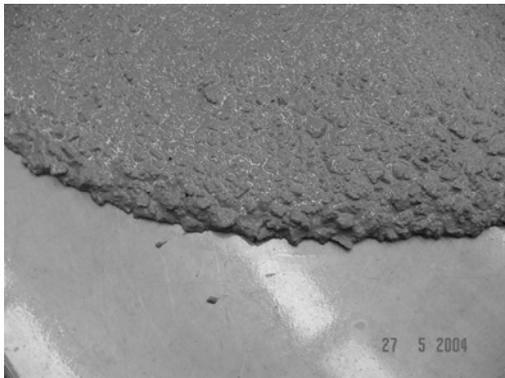
**Tabla XVIII. Resultados de ensayos slump-flow en el cono Abrams**

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Diámetro de expansión	0.65 m.	0.70 m.	0.65 m.
Tiempo de fluido hasta detenerse	2.5 seg.	2 seg.	2.5 seg.
Segregación	ninguna	ninguna	ninguna

**Figura 5. Ensayos de *slump-flow* con el cono de Abrams**



**Figura 6. Concreto ensayado, muestra que no existe segregación**

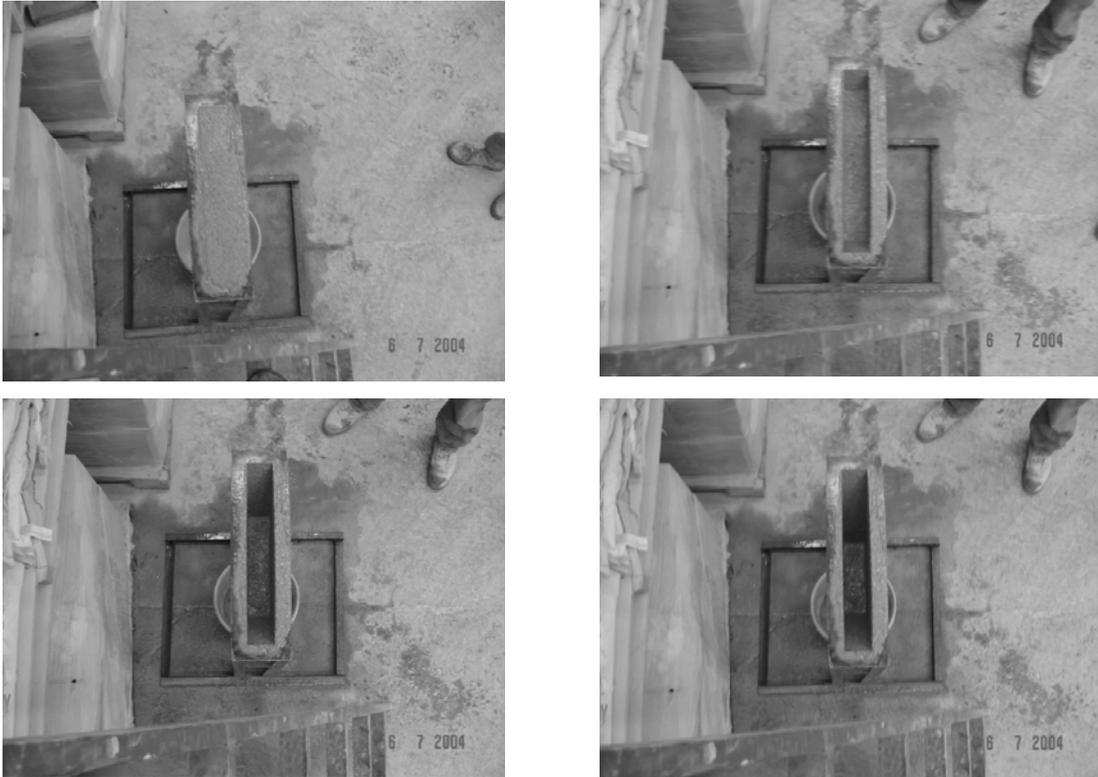


**Tabla XIX. Resultados de ensayos *slump-flow* en embudo**

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Volumen de concreto	0.0092 m3	0.0092 m3	0.0092 m3
Tiempo de fluido hasta detenerse	10 seg.	8 seg.	10 seg.
Segregación	ninguna	ninguna	ninguna

En resumen, las tres mezclas pasaron satisfactoriamente la prueba de *slump flow*, ya que quedaron dentro de los rangos de tiempo establecidos para cada ensayo.

**Figura 7. Secuencia del ensayo *slump-flow* en el embudo**



**Figura 8. Vista frontal del embudo usado en ensayo**



Luego de realizados dichos ensayos y haber obtenido satisfactoriamente un concreto autocompactado, se tomaron las características de cada mezcla, siendo estas las siguientes:

**Tabla XX. Características de las mezclas en estado plástico**

	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Masa unitaria	2225 Kg/m <sup>3</sup>	2289 Kg/m <sup>3</sup>	2097 Kg/m <sup>3</sup>
% de aire contenido	3.5	4.5	5.5
Temperatura ambiente	28.5 °C	31.30 °C	28.4 °C
Temperatura del concreto	24 °C	24 °C	22 °C

### **3.6 Elaboración de probetas**

La mezcla usada en los ensayos de la mesa de extensibilidad, la caja tipo “L” y el *slump-flow* no debe ser reutilizada. Pero para hacer las probetas del ensayo a compresión se debe tomar mezcla de la misma masada (del concreto ensayado en estado fresco).

El concreto se debe colocar en el cilindro en una solo capa y sin picar ni compactar, (como se hace con el concreto tradicional), y al final se debe enrasar el concreto. Luego se procede al curado primario de los cilindros, sumergiéndolos en agua durante un período de 48 horas a una temperatura de 68 a 78 °F (de 20 a 26 °C), dicha temperatura por tratarse de un concreto de alta resistencia.

**Figura 9. Llenado de cilindros**



Por último, se realiza un curado final a los especímenes, el cual debe iniciar a más tardar 30 minutos después de retirados los moldes de los cilindros. Los especímenes se sumergen en tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos (que cumplan con la norma ASTM C-511) a una temperatura de  $73 \pm 3^{\circ}\text{F}$  ( $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), según norma ASTM C-31).

Cuando se coloquen las capas de azufre en las caras (inferior y superior) del cilindro, éstas deberán estar libres de humedad, para evitar la formación de vapor o bolsas de espuma (ASTM C-617).

La ASTM C-31 en el inciso 9.1.3.1 nos indica que si la temperatura ambiente se encuentra entre los 68 y los 86 °F (20 y 30 °C) , los cilindros pueden mantenerse a la humedad ambiente.

## 4 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se procede a someter los cilindros a compresión, rompiendo 3 probetas a distintas edades (7, 14, 28, y 56 días).

**Tabla XXI. Tolerancias permisibles para las edades de los cilindros sometidos a prueba de compresión**

Edad de la prueba	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm 0.50$ horas o $\pm 2.10$ %
3 días	$\pm 2.00$ horas o $\pm 2.80$ %
7 días	$\pm 6.00$ horas o $\pm 3.60$ %
28 días	$\pm 20.00$ horas o $\pm 3.00$ %
90 días	$\pm 2.00$ días o $\pm 2.20$ %

Fuente: Norma ASTM C-39 inciso 7.3

### 4.1 Análisis comparativo

De cada mezcla, se hicieron 10 cilindros, para ensayarlos a distintas edades (dos por cada edad).

Resistencia = Carga max. / Área

1 N/m<sup>2</sup> = 1 Pa

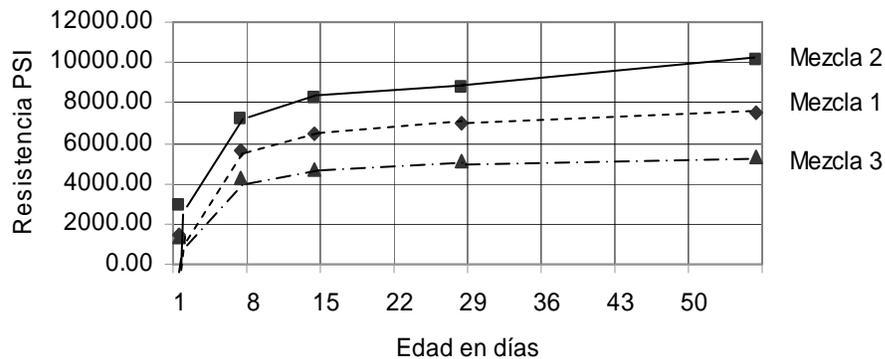
1 lb fuerza/pulg.<sup>2</sup> = 1 PSI = 6,895 Pa

1 lb fuerza = 4.448 N

**Tabla XXII. Resultados de los ensayos de resistencia a compresión**

Fecha de ruptura	Edad días	Masa Kg.	Diámetro		Área		Carga max.		Resistencia		Tipo de falla		
			mm	m	mm2	pulg.2	KN	libras fuerza	Kpa	PSI			
<b>Mezcla 1</b> hecha el 25/mayo/04													
26/05/2004	1	12,59	152,65	0,15	6,01	18301,41	0,02	28,37	190,00	42713,71	10382,51	1505,59	2
26/05/2004	1	12,60	152,40	0,15	6,00	18241,51	0,02	28,37	188,00	42264,09	10329,67	1495,02	2
01/06/2004	7	12,60	152,40	0,15	6,00	18241,51	0,02	28,37	705,50	158602,75	38763,74	5610,28	1
01/06/2004	7	12,59	151,95	0,15	5,98	18133,95	0,02	28,09	702,40	157905,84	38806,63	5621,43	1
08/06/2004	14	12,61	152,10	0,15	5,99	18169,77	0,02	28,18	816,90	183646,47	44884,62	6516,91	1
08/06/2004	14	12,60	152,32	0,15	6,00	18222,37	0,02	28,27	818,50	184006,17	44972,53	6508,88	1
22/06/2004	28	12,59	151,89	0,15	5,98	18119,63	0,02	28,09	873,50	196370,66	48259,67	6990,77	1
22/06/2004	28	12,61	151,89	0,15	5,98	18119,63	0,02	28,09	874,60	196617,95	48320,44	6999,57	1
20/07/2004	56	12,59	152,40	0,15	6,00	18241,51	0,02	28,27	942,80	211949,93	51802,20	7497,34	1
20/07/2004	56	12,59	152,28	0,15	6,00	18212,80	0,02	28,27	941,20	211590,23	51714,29	7484,62	1
<b>Mezcla 2</b> hecha el 01/junio/04													
02/06/2004	1	12,91	153,92	0,15	6,06	18607,20	0,02	28,84	368,10	82752,19	19790,32	2869,35	2
02/06/2004	1	12,99	152,27	0,15	5,99	18210,40	0,02	28,18	366,20	82325,06	20120,88	2921,40	1
08/06/2004	7	12,94	152,15	0,15	5,99	18181,71	0,02	28,18	910,10	204598,67	50005,49	7260,42	1
08/06/2004	7	12,92	152,40	0,15	6,00	18241,51	0,02	28,27	908,20	204171,53	49901,10	7222,20	1
15/06/2004	14	12,95	152,81	0,15	6,02	18339,79	0,02	28,46	1036,30	232969,57	56628,42	8185,86	1
15/06/2004	14	13,02	152,48	0,15	6,00	18260,67	0,02	28,27	1037,60	233261,82	56699,45	8251,21	1
29/06/2004	28	13,04	153,16	0,15	6,03	18423,90	0,02	28,56	1108,30	249155,81	60233,70	8723,94	1
29/06/2004	28	12,96	152,40	0,15	6,00	18241,51	0,02	28,27	1102,40	247829,44	60571,43	8766,52	1
27/07/2004	56	13,12	153,29	0,15	6,04	18455,19	0,02	28,65	1289,10	289801,28	69681,08	10115,23	3
27/07/2004	56	13,15	153,54	0,15	6,04	18515,44	0,02	28,65	1291,80	290408,27	69827,03	10136,41	3
<b>Mezcla 3</b> hecha el 15/junio/04													
16/06/2004	1	11,54	152,15	0,15	5,99	18181,71	0,02	28,18	175,00	39341,58	9615,38	1396,08	1
16/06/2004	1	11,55	152,78	0,15	6,01	18332,59	0,02	28,37	172,80	38847,00	9442,62	1369,30	1
22/06/2004	7	11,93	150,75	0,15	5,94	17848,66	0,02	27,71	523,30	117642,55	29398,88	4245,49	1
22/06/2004	7	11,97	150,75	0,15	5,94	17848,66	0,02	27,71	518,70	116608,43	29140,45	4208,17	1
29/06/2004	14	11,68	150,24	0,15	5,91	17728,09	0,02	27,43	581,50	130726,43	32853,11	4765,82	1
29/06/2004	14	11,80	151,81	0,15	5,98	18100,55	0,02	28,09	586,40	131828,00	32397,79	4693,06	1
13/07/2004	28	12,03	152,27	0,15	5,99	18210,40	0,02	28,18	631,20	141899,44	34681,32	5035,47	1
13/07/2004	28	11,97	152,15	0,15	5,99	18181,71	0,02	28,18	638,60	143563,03	35087,91	5094,50	1
10/08/2004	56	11,97	152,06	0,15	5,99	18160,21	0,02	28,18	672,50	151184,05	36950,55	5364,94	1
10/08/2004	56	11,90	151,95	0,15	5,98	18133,95	0,02	28,09	668,10	150194,89	36911,60	5346,92	1

**Figura 10. Evolución de la resistencia del concreto**



La resistencia requerida para las tres mezclas es de 6000 PSI a los 28 días, como podemos observar en la gráfica, las primeras dos mezclas sobrepasaron dicha resistencia, mientras la tercera nunca la alcanzó, esto se debe básicamente a la calidad de los agregados.

Podemos notar que a los 7 días, el concreto ha alcanzado un 75% de la resistencia que logra en 56 días, y un 90% de la requerida. A los 14 días, la resistencia de 6000 PSI ya ha sido superada, por lo que se puede desencofrar antes que un concreto tradicional.

La falla que se observó en la mayoría de cilindros a compresión fue de tipo cónica, sin desintegrarse es espécimen.



## CONCLUSIONES

1. El costo primario del concreto autocompactado es más alto que el concreto tradicional, pero si el acabado de la estructura es concreto visto, su precio es menor, pues no necesita de ningún alisado, cernido o mantenimiento.
2. La resistencia de diseño fue de 6000 PSI a 28 días, el concreto la alcanzó a los 14, esto reduce el tiempo de desencofrado, lo cual repercute en ahorro de tiempo y dinero.
3. Alcanzar la fluidez requerida en un concreto autocompactado, no es un indicativo de que la resistencia sea la buscada, es necesario siempre practicar ensayos a compresión.
4. Una mezcla de concreto con un asentamiento de 3", puede convertirse en un concreto autocompactado, solo con el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango.
5. La mezcla hecha con agregados de canto rodado no alcanzó la resistencia de diseño básicamente por dos factores: contenido de materia orgánica y mala granulometría, estas características se deben a su procedencia, ya que son del río Las Flores, que lleva el caudal del río Las Vacas.



## RECOMENDACIONES

1. Se debe tener especial cuidado con las formaletas a usar, éstas deben estar bien apuntaladas, pues el concreto autocompactado tiene un incremento en la presión hidrostática.
2. En el concreto autocompactado se pueden utilizar agregados triturados, siempre y cuando se tenga presente un aditivo modulador de viscosidad que evita la segregación, y polvo de caliza para ayudar al contenido de finos.
3. Para un concreto autocompactado se puede utilizar una proporción de 1:2:2, partiendo de 10.20 sacos de cemento por m<sup>3</sup> de concreto y el uso de 4.95 litros de aditivo reductor de agua por m<sup>3</sup> de concreto.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ambrosie, J. y J. Pera. "Propiedades del concreto autonivelante" **Revista Construcción y Tecnología** (México) febrero 2001
2. American concrete institute. *Building code requirements for structural concrete* **Código ACI 318-02, and commentary (ACI 318R-02)** 2002
3. *ASTM International*. "Normas C-31, C-33 y C-39" **ASTM and other standards related to ready-mixed concrete**. (Estados Unidos de América) 1998
4. Bartos, Peter J. M. "*Measurement of key properties of fresh self-compacting concrete*" **Estudio de la Universidad de Paisley, Scotland, Gran Bretaña** (Inglaterra) Junio 2000
5. Campion, Michael. "Concreto autocompactante: avances en las posibilidades del diseño y el colado". **Revista Construcción y Tecnología** (México) mayo 2001
6. Centro de investigación y asesoría de Cementos Progreso "Diseño de mezclas de concreto". (Guatemala) (1):28.1996
7. Constain, Cesar. "Concreto autocompactado" **Revista Noticreto** (México) (56):2001
8. Departamento técnico de Bettor MBT. "Hormigón autocompactable con glenium". **Revista El portal del hormigón** (México) 2003
9. Departamento técnico de Sika S. A. "Concreto autocompactante" **Revista de productos Sika** (Guatemala) 2003
10. Departamento técnico de Sika S. A. "Hormigón autocompactable (S. C. C.)". **Revista Tecnología sika viscocrete** (México) 2003

11. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. "Hormigón autocompactado y Glenium, un compromiso perfecto". **Revista Cemento-Hormigón** (España) (826): Agosto 2001
12. Martínez Argüello, Luis. "Concreto autocompacto" **Revista Construcción y Tecnología** (México) diciembre 2000
13. Santacreu Oviedo, Carlos y José María García San Martín. "La química más eficaz al servicio del hormigón" **Revista de admixture systems Iberia, Betto MBT** (México) 2000
14. Tecnocret, C. A. "*Super flow-AC*". **Revista Tecnocret** (México) 2002

## ANEXOS

**Figura 11. Precio unitario 1**

Renglón:	Concreto tradicional de 6000 PSI (hecho en obra)	Unidad: M3
<b>Descripción</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo/Unit. Costo/Direc.</b>
<b>Materiales</b>		
Cemento de secado rápido	12.56 Saco	Q. 37.00 Q. 464.72
Arena de río	0.41 M3	Q. 100.00 Q. 41.00
Piedrín	0.70 M3	Q. 125.00 Q. 87.50
Agua	0.303 M3	Q. 1.95 Q. 0.59
Ceniza Volante	59.00 Kg.	Q. 10.00 Q. 590.00
Microsílice compactada	37.00 Kg.	Q. 9.16 Q. 338.92
<b>Total de materiales</b>		<b>Q 1,522.73</b>
<b>Mano de obra</b>		
Hechura y colocación de concreto	1 M3	Q. 75.00 Q. 75.00
Ayudante		Q 37.50
Prestaciones		Q 73.13
<b>Total de mano de obra</b>		<b>Q 185.63</b>
<b>Otros</b>		
Mezcladora y vibrocompactador	1 M3	Q. 60.00 Q. 60.00
Herramienta	1 M3	Q. 2.50 Q. 2.50
<b>Total otros</b>		<b>Q 62.50</b>
<b>Costo unitario directo</b>		<b>Q 1,770.86</b>

**Figura 12. Precio unitario 2**

Renglón:	Concreto premezclado 5000 PSI (es la máxima resistencia que se produce)	Unidad: M3		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo/Unit.</b>	<b>Costo/Direc.</b>
<b>Materiales</b>				
Subcontrato: Suministro, bombeo y colocación de concreto de 5000 PSI, con agregado grueso de 3/8"	1.00	m3	Q. 910.00	Q. 910.00
<b>Total de materiales</b>				<b>Q 910.00</b>
<b>Mano de obra</b>				
Ayudante				Q 0.00
Prestaciones				Q 0.00
<b>Total de mano de obra</b>				<b>Q 0.00</b>
<b>Otros</b>				
<b>Total otros</b>				<b>Q 0.00</b>
			<b>Costo unitario directo</b>	<b>Q 910.00</b>

**Figura 13. Precio unitario 3**

Renglón:	Concreto autocompactado con arena de río y piedrín triturado de 3/8"				Unidad: M3	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo/Unit.</b>	<b>Costo/Direc.</b>		
<b>Materiales</b>						
Cemento gris UGC	10.00	Saco	Q. 35.50	Q. 355.00		
Arena de río Motagua	0.40	M3	Q. 100.00	Q. 40.00		
Piedrín 3/8"	0.31	M3	Q. 125.00	Q. 38.75		
Agua	0.19	M3	Q. 1.95	Q. 0.37		
Reducidor de agua de atorange	1.30	Galón	Q. 725.32	Q. 942.92		
<b>Total de materiales</b>				<b>Q 1,377.04</b>		
<b>Mano de obra</b>						
Hechura y colocación de concreto	1	M3	Q. 75.00	Q. 75.00		
Ayudante				Q 37.50		
Prestaciones				Q 73.13		
<b>Total de mano de obra</b>				<b>Q 185.63</b>		
<b>Otros</b>						
Herramienta	1	M3	Q. 2.50	Q. 2.50		
Mezcladora	1	M3	Q. 40.00	Q. 40.00		
<b>Total otros</b>				<b>Q 42.50</b>		
<b>Costo unitario directo</b>				<b>Q 1,605.17</b>		

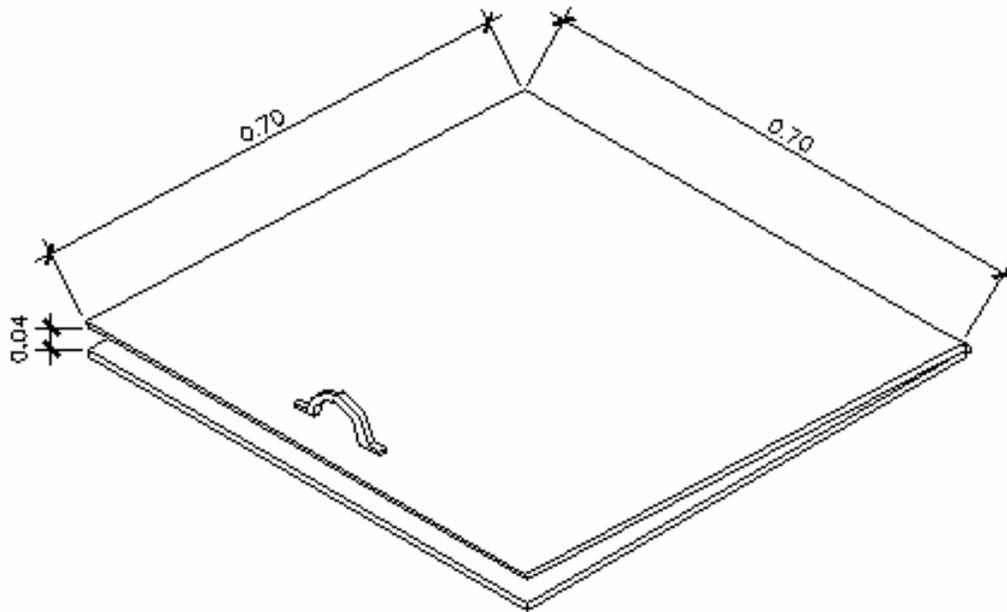
**Figura 14. Precio unitario 4**

Renglón:	Concreto autocompactado con arena triturada de caliza y piedrín triturado de 3/8"			Unidad: M3	
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/Unit.	Costo/Direc.	
<b>Materiales</b>					
Cemento gris UGC	10.24	Saco	Q. 35.50	Q.	363.52
Arena triturada de caliza	0.34	M3	Q. 130.00	Q.	44.20
Polvo de caliza	11.33	Kg.	Q. 3.60	Q.	40.79
Piedrín 3/8"	0.31	M3	Q. 125.00	Q.	38.75
Agua	0.22	M3	Q. 1.95	Q.	0.43
Reductor de agua de atorange	0.93	Galón	Q. 725.32	Q.	674.55
Modulador de viscosidad	0.53	Galón	Q. 183.87	Q.	97.45
<b>Total de materiales</b>				<b>Q</b>	<b>1,259.69</b>
<b>Mano de obra</b>					
Hechura y colocación de concreto	1	M3	Q. 75.00	Q.	75.00
Ayudante				Q	37.50
Prestaciones				Q	73.13
<b>Total de mano de obra</b>				<b>Q</b>	<b>185.63</b>
<b>Otros</b>					
Herramienta	1	M3	Q. 2.50	Q.	2.50
Mezcladora	1	M3	Q. 40.00	Q.	40.00
<b>Total otros</b>				<b>Q</b>	<b>42.50</b>
<b>Costo unitario directo</b>				<b>Q</b>	<b>1,487.82</b>

**Figura 15. Precio unitario 5**

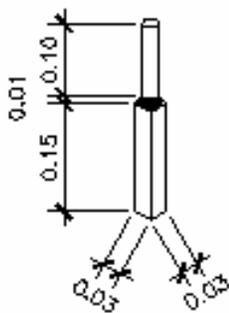
Renglón:		Concreto autocompactado con arena y piedrín de canto rodado			Unidad: M3		
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/Unit.	Costo/Direc.			
<b>Materiales</b>							
Cemento gris UGC	11.76	Saco	Q. 35.50	Q. 417.48			
Arena de río Las Flores	0.30	M3	Q. 75.00	Q. 22.50			
Piedrín río Las Flores	0.38	M3	Q. 125.00	Q. 47.50			
Agua	0.22	M3	Q. 1.95	Q. 0.43			
Reductor de agua de ato rango	1.38	Galón	Q. 725.32	Q. 1,000.94			
<b>Total de materiales</b>				<b>Q. 1,488.85</b>			
<b>Mano de obra</b>							
Hechura y colocación de concreto	1	M3	Q. 75.00	Q. 75.00			
Ayudante				Q. 37.50			
Prestaciones				Q. 73.13			
<b>Total de mano de obra</b>				<b>Q. 185.63</b>			
<b>Otros</b>							
Herramienta	1	M3	Q. 2.50	Q. 2.50			
Mezcladora	1	M3	Q. 40.00	Q. 40.00			
<b>Total otros</b>				<b>Q. 42.50</b>			
				<b>Costo unitario directo</b>	<b>Q. 1,716.98</b>		

Figura 16. Equipo para ensayo de mesa de extensibilidad



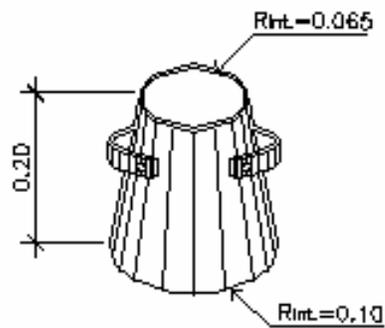
Mesa de extensibilidad

Sin escala



Maso de madera

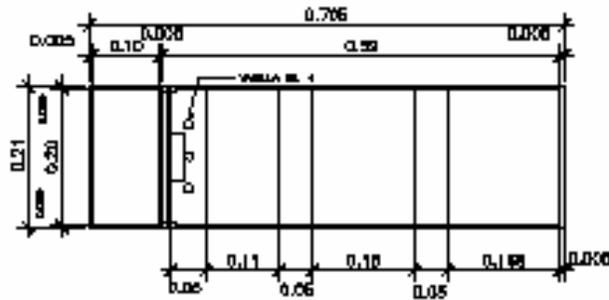
Sin escala



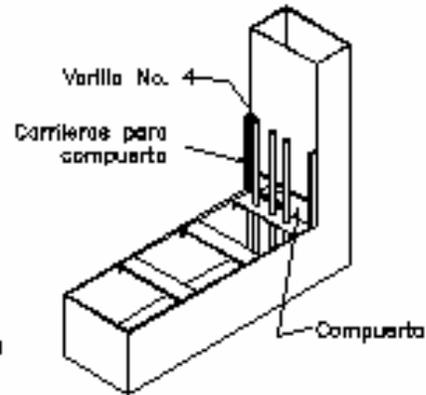
Cono truncado

Sin escala

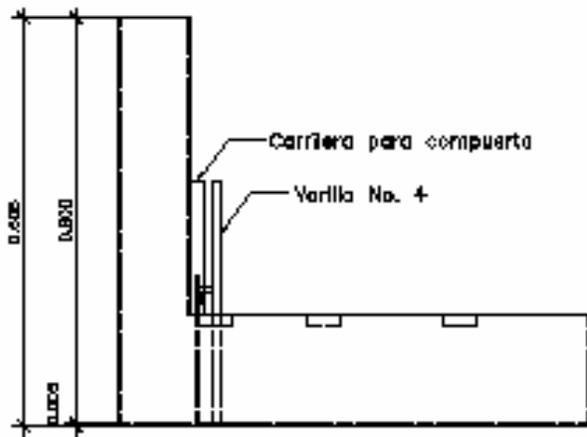
Figura 17. Caja tipo "L"



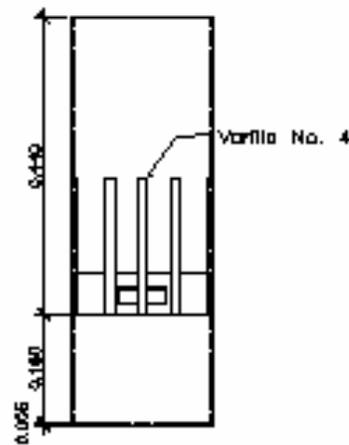
Planta  
Caja tipo "L" Sin escala



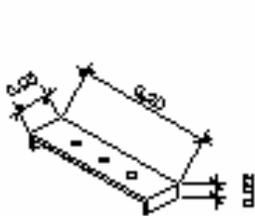
Isométrico  
Caja tipo "L" Sin escala



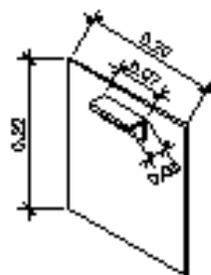
Elevación 1  
Caja tipo "L" Sin escala



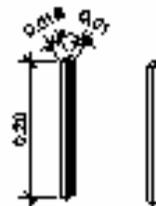
Elevación 2  
Caja tipo "L" Sin escala



Sujetador de  
Varillas de acero  
Sin escala

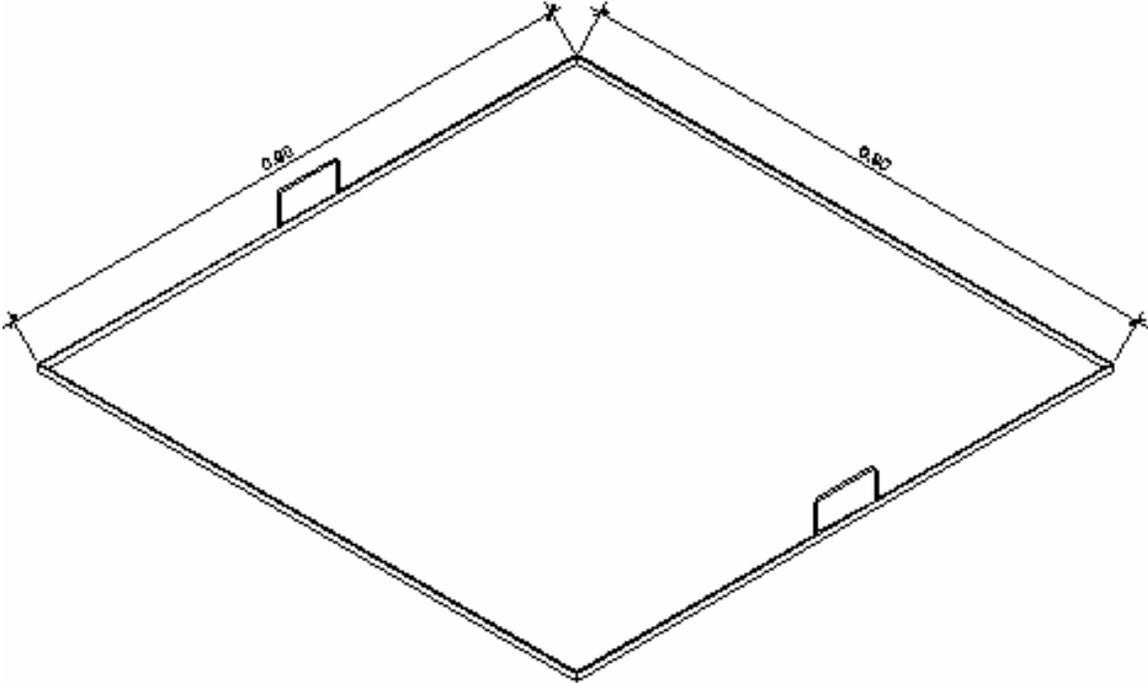


Compuerta  
Sin escala

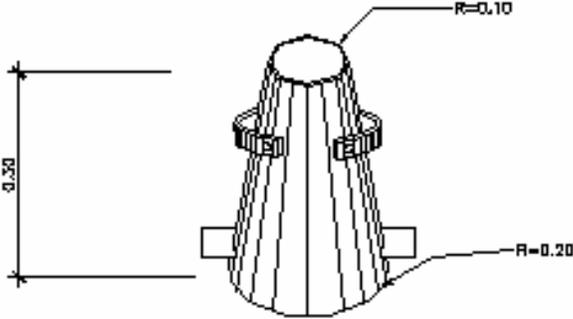


Carreras para  
Compuerta  
Sin escala

Figura 18. Equipo para ensayo slump-flow



Base para ensayo Sin escala



Cono de Abrams Sin escala