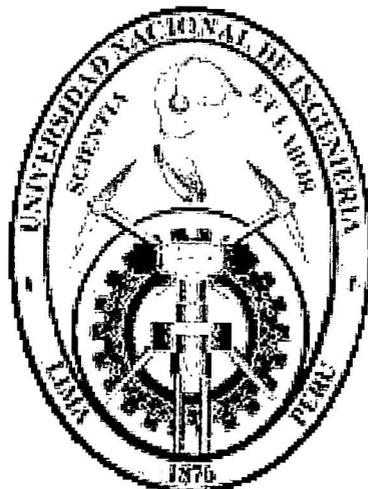


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
AUTOCOMPACTANTE”**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

Presentado por:

Hugo Esteban Pineda Vallejo

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

Lima - Perú, 2003

Agradecimientos

El autor de esta tesis agradece a las siguientes instituciones que colaboraron en la presente investigación:

CEMENTOS LIMA S.A

SIKA PERU S.A.

LABORATORIO CENTRAL-MTC

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES – UNI

ASOCEM

Un agradecimiento especial al Ing. Carlos Barzola Gastelú, asesor de esta tesis.

DEDICATORIA

A Esteban, mi abuelo.

A mis padres:

Aida y Hugo, las personas que más admiro y quiero. Gracias por todo.

A mis hermanos:

Lenin y Carlos, por su compañía y afecto.

A Patricia, por apoyarme en todo momento.

A la UNI.

INDICE

	Página
Resumen	1
Introducción	2
Estructura de la Tesis	3
Glosario	5
CAPITULO 1	Concreto Autocompactante – Definición y Conceptos Básicos
1.1 Concreto Autocompactante	7
1.1.1 Definición	7
1.1.2 Historia	7
1.2 Reología del Concreto	9
1.2.1 Definición	9
1.2.2 Reología de Fluidos y Suspensiones	9
1.2.3 Reología de la Pasta de Cemento	11
1.2.4 Reología de la Mezcla de Concreto	12
CAPITULO 2	Materiales
2.1 Agregados	14
2.1.1 Propiedades	14
2.2 Cemento	20
2.3 Aditivo	21
2.1 Agua	25
CAPITULO 3	Ensayos de Control del Concreto autocompactante
3.1 Ensayo de Extensión de Flujo	26
3.2 Ensayo Caja L	29
CAPITULO 4	Diseño de Mezclas
4.1 Diseño de Mezcla de Concreto Patrón	32
4.2 Diseño de Mezcla de Concreto Autocompactante	36
4.2.1 Mezclas generadas a partir de concretos patrones normales, mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante	36
4.2.2 Mezclas generadas a partir de concretos patrones normales variando la relación arena/piedra (A/P), mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante	37
4.2.3 Mezclas generadas a partir de concretos fluidos, incrementando el contenido de pasta y manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo	37
4.2.4 Mezclas autocompactantes generadas con el fin de proponer el procedimiento para el diseño de mezcla de concretos autocompactantes, teniendo en cuenta las recomendaciones obtenidas del análisis de las mezclas anteriores y con relaciones a/c similares a los concretos patrones normales	38
4.2.5 Procedimiento propuesto para el diseño de mezcla de concretos autocompactantes	38
CAPITULO 5	Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido
5.1 Propiedades del Concreto al Estado Fresco	43
5.1.1 Consistencia	43
5.1.2 Peso Unitario	44
5.1.3 Contenido de Aire	44
5.1.4 Exudación	44

5.1.5	Tiempo de Fraguado	45
5.2	Propiedades del Concreto al Estado Endurecido	45
5.2.1	Resistencia a la Compresión	45
5.2.2	Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral	46
5.2.3	Módulo de Elasticidad	46
5.2.4	Absorción	46
CAPITULO 6	Cuadros de Resultados y Gráficos	
6.1	Comportamiento de las Mezclas Fluidas de Concreto	50
6.1.1	Mezclas generadas a partir de concretos patrones normales, mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante	50
6.1.2	Mezclas generadas a partir de concretos patrones normales variando la relación arena/piedra (A/P), mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante	54
6.1.3	Mezclas generadas a partir de concretos fluidos, incrementando el contenido de pasta y manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo superplastificante	56
6.1.4	Mezclas de concreto autocompactante generadas con el fin de compararlas con concretos patrones de similar relación a/c	57
6.1.5	Procedimiento propuesto para el diseño de mezcla de concretos autocompactantes	59
6.2	Cuadros y Gráficos Comparativos de 3 Mezclas Fluidas de Concreto	60
6.2.1	Ensayos en Concreto Fresco	60
6.2.1.1	Extensión de Flujo, Caja L y Asentamiento normal del concreto	60
6.2.1.2	Peso Unitario y Contenido de Aire del concreto	63
6.2.1.3	Exudación del concreto	64
6.2.1.4	Tiempo de Fraguado del concreto	65
6.2.2	Ensayos en Concreto Endurecido	66
6.2.2.1	Resistencia a la Compresión del concreto	66
6.2.2.2	Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral del concreto	74
6.2.2.3	Módulo de Elasticidad del concreto	75
6.2.1.4	Porcentaje de Absorción del concreto	76
CAPITULO 7	Análisis de los Resultados	
7.1	Comportamiento de las Mezclas Fluidas de Concreto	77
7.1.1	Mezclas generadas a partir de concretos patrones normales, mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante	77
7.1.2	Mezclas generadas a partir de concretos patrones normales variando la relación arena/piedra (A/P), mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante	81
7.1.3	Mezclas generadas a partir de concretos fluidos, incrementando el contenido de pasta y manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo superplastificante	82
7.1.4	Mezclas de concreto autocompactante generadas con el fin de compararlas con concretos patrones de similar relación a/c	83
7.1.5	Procedimiento propuesto para el diseño de mezcla de concretos autocompactantes	85
7.2	Cuadros y Gráficos Comparativos de 3 Mezclas Fluidas de Concreto	86
7.2.1	Ensayos en Concreto Fresco	86
7.2.1.1	Extensión de Flujo, Caja L y Asentamiento normal del concreto	86
7.2.1.2	Peso Unitario y Contenido de Aire del concreto	88
7.2.1.3	Exudación del concreto	89
7.2.1.4	Tiempo de Fraguado del concreto	90

7.2.2 Ensayos en Concreto Endurecido	91
7.2.2.1 Resistencia a la Compresión del concreto	91
7.2.2.2 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral del concreto	96
7.2.2.3 Módulo de Elasticidad del concreto	96
7.2.1.4 Porcentaje de Absorción del concreto	97
CAPITULO 8	
Análisis de Costos	
8.1 Costos de los Materiales Utilizados	99
8.2 Costos y Resistencias Mecánicas a los 7 días de las Mezclas de Concreto	100
8.3 Generación de la Curva Resistencia-Costo para los Concretos Autocompactantes y los Concretos Patrones desarrollados en esta tesis	101
8.4 Generación de la Curva Resistencia-Costo para los Concretos de Alto Desempeño de Consistencia Normal	102
8.5 Generación de las Curvas Resistencia-Costo más económicas de las Mezclas de Concreto de Alto Desempeño de Consistencia Normal	103
8.6 Comparación de las Curvas Obtenidas	104
8.7 Relaciones Beneficio/Costo de las Mezclas Autocompactantes	105
Conclusiones y Recomendaciones	
Conclusiones	108
Recomendaciones	111
Anexos	
Anexo 1: Agregados	112
Anexo 2: Diseño de Mezclas	120
Anexo 3: Fotografías	130
Anexo 4: Ensayos en Concreto Fresco	136
Anexo 5: Ensayos en Concreto Endurecido	150
Anexo 6: Cuadros de Datos para el Análisis de Costos	175
Anexo 7: Condiciones Ambientales	188
Referencia Bibliográfica	189

RESUMEN

El concreto autocompactante es un excelente concreto de alto desempeño, ofrece elevada trabajabilidad, incremento de productividad en el proceso de vaciado de concreto, mejoras en la calidad y durabilidad del elemento trabajado, vaciado sin problemas de elementos con alta densidad de refuerzo de acero, eliminación total de la dependencia de mano de obra en la compactación de la mezcla, reduce el ruido, etc. Sin embargo debido a que el concreto autocompactante es una mezcla de varios componentes, la tendencia a cambios en su comportamiento tanto al estado fresco como endurecido es mayor que la de los concretos convencionales, por ello la investigación sobre este tipo de mezcla es la única manera de entenderlo y manejarlo exitosamente.

En el presente trabajo, se busca desarrollar un procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes en función de la resistencia a la compresión. Para ello es necesario, en primer lugar, entender el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto al variar la dosificación de algunos de sus componentes, dicho análisis partió con la generación de mezclas fluidas derivadas de concretos patrones normales de relación $a/c = 0.50, 0.45$ y 0.40 , mediante reducción de agua y adicionando un aditivo superplastificante (Sika Viscocrete1- Policarboxilato modificado), luego se varió la relación arena/piedra y finalmente se analizaron los cambios en el comportamiento de estas mezclas al variar el contenido de pasta.

Las mezclas autocompactantes generadas para proponer el diseño de mezcla tuvieron como criterio de aprobación los resultados obtenidos en los ensayos de extensión de flujo y caja L. El contenido de aire también fue medido como criterio de aceptación.

También se analizaron las variaciones en las propiedades de los concretos frescos y endurecidos de tres mezclas fluidas, la primera de ellas era un concreto con buena capacidad de fluir en un medio libre pero mostraba bloqueo, la segunda mezcla tenía un buen comportamiento autocompactante y la tercera poseía buena capacidad de fluir sin bloqueo pero mostraba cohesión excesiva, acompañada de desplazamientos lentos (alta viscosidad). Todas ellas fueron comparadas entre sí y con concretos patrones normales.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es compleja y llena de factores que la hacen muy dinámica, es distinta a la industria manufacturera donde la mayoría de factores que intervienen en ella se pueden limitar, corregir, uniformizar y medir fácilmente. Dichas razones provocan que alcanzar la calidad total en los productos del proceso de construcción sea una tarea difícil, pero no imposible.

El proceso de fabricación de concreto no es ajeno a los problemas durante su producción, múltiples factores tales como materiales de pobre calidad, máquinas defectuosas (mezcladoras, dosificadoras, vibradores para concreto, etc.), mano de obra no capacitada, complejidad del proyecto, acciones imprevistas, cambios en el clima, etc., provocan una serie de defectos que pueden traer consigo pobre calidad estética y estructural. Uno de estos factores es el vibrado que se realiza durante la colocación de concreto en obra, básicamente esta parte del proceso de fabricación del concreto es dependiente de la experiencia del operario a cargo, muchas veces la mano de obra capacitada es escasa y aquí es donde empiezan los problemas de calidad.

En Japón, en el año 1988 fue desarrollado por primera vez el Concreto Autocompactante con la finalidad de reducir el trabajo en la colocación de concreto, mediante la eliminación o reducción del vibrado utilizado para la compactación de la mezcla. Se buscaba obtener un concreto cuyas propiedades quedaran garantizadas únicamente por el diseño de mezcla y el proceso de mezclado, independientemente de su colocación en obra.

A partir de 1988 la tecnología del Concreto Autocompactante se ha desarrollado notablemente en todo el Mundo mediante el mejoramiento de los aditivos superplastificantes, la incorporación de nuevos tipos de aditivos y materiales (puzolanas y fibras de acero) que mejoran, aun más, las propiedades de este concreto, y el uso de nuevos equipos y ensayos para el control del concreto al estado fresco.

En el Perú, el Concreto Autocompactante necesita desarrollarse. Los materiales para su elaboración están disponibles en el mercado, entonces lo único que falta son investigaciones que logren adaptar dicho producto a nuestro país.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente trabajo consta de 8 capítulos y está dividido de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se presenta la definición de concreto autocompactante y sus principales características. Además conceptos básicos sobre la reología de la pasta de cemento y del concreto son entregados al lector con el fin de entender el comportamiento de una mezcla de concreto con gran deformabilidad.

El capítulo 2 muestra las características principales de los materiales usados en esta investigación. Los agregados fueron ensayados para conocer sus propiedades, mientras que las características del cemento y aditivo fueron obtenidas de los fabricantes. El agua usada era potable y dentro de los rangos permitidos para su uso en concretos.

Los ensayos utilizados para medir las propiedades de los concretos autocompactantes al estado fresco (Extensión de Flujo y Caja L) son descritos ampliamente en el capítulo 3.

El capítulo 4 se denomina Diseño de Mezcla y se divide en dos partes, la primera detalla el procedimiento seguido para el diseño de mezcla de los concretos patrones normales de relación $a/c = 0.50, 0.45$ y 0.50 , y la segunda parte describe los pasos realizados en el análisis de las mezclas fluidas de concreto con el fin de obtener concretos autocompactantes. Las mezclas generadas en la segunda parte de este capítulo se pueden dividir en cuatro grupos: a) mezclas generadas a partir de concretos patrones normales, mediante reducción de agua y con aditivo superplastificante; b) mezclas obtenidas variando la relación arena/piedra (A/P); c) mezclas generadas incrementando el contenido de pasta manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo; y d) mezclas generadas con el fin de proponer el diseño de mezcla de concretos autocompactantes siguiendo las recomendaciones obtenidas del análisis de las mezclas anteriores y con relaciones a/c similares a los concretos patrones normales. Cada uno de los cuatro grupos presentados en la segunda parte del capítulo 4 trata de corregir las deficiencias observadas en las mezclas del grupo anterior, sobre la base de su análisis, se entiende el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto y su tendencia a la autocompactación. Finalmente se propone un diseño de mezcla de concreto autocompactante con los materiales y ensayos usados.

Luego de entender como se comparten las mezclas fluidas de concreto y generar finalmente concretos autocompactantes, se realizó la comparación de tres concretos patrones normales de

distinta relación a/c y tres mezclas fluidas de concreto. El primer grupo de tres mezclas eran concretos convencionales generados precisamente para que de ellos se deriven mezclas fluidas mediante la adición de un aditivo superplastificante, el segundo grupo eran mezclas fluidas de concreto de las cuales solo una presentaba un buen comportamiento autocompactante, la segunda era una mezcla muy fluida pero mostraba problemas de bloqueo en un medio con alta densidad de refuerzo y la tercera presentaba excelente deformación y autocompactación sin bloqueo, pero la lenta velocidad y alta cohesión de su mezcla hacían difícil su manejo. El capítulo 5 explica brevemente las propiedades medidas de los concretos patrones y los concretos fluidos escogidos, tanto al estado fresco como endurecido

En el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos de las mezclas fluidas generadas en el capítulo 4 y además los resultados de los ensayos para medir las propiedades de los tres concretos patrones normales y los tres concretos fluidos escogidos.

El capítulo 7 presenta el análisis de los resultados obtenidos, el sistema utilizado se basa en el estudio de cada uno de los cuadros y gráficos presentados en el capítulo 6.

Finalmente en el capítulo 8 se realiza un análisis de costos de las mezclas de concreto autocompactante comparándolas, a igual resistencia, con mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal extraídas de investigaciones realizadas anteriormente.

GLOSARIO

a/c

Relación agua / cemento en peso de la mezcla de concreto.

A/P

Relación arena / piedra en peso seco de la mezcla de concreto

Compactación

Proceso por el cual se induce, por reducción de vacíos, un acomodo cercano de las partículas sólidas en la mezcla fresca de concreto durante su colocación. La compactación se realiza usualmente a través de vibración, centrifugación, rodillado, apisonado o una combinación de estas acciones.

Concreto

Mezcla de agua + cemento + arena + piedra.

Material compuesto que al ser mezclado presenta una apariencia plástica de fácil manejo, pero que transcurrido cierto tiempo pierde esa plasticidad y empieza a adquirir resistencia y rigidez.

Concreto de Alto Desempeño

Mezcla de agua + cemento + arena + piedra + adiciones.

Es definido por el ACI como aquel concreto que posee una combinación especial de desempeño y uniformidad que no siempre pueden ser obtenidas usando los materiales convencionales y procesos de mezclado normales, es decir es una mezcla de concreto a la que se puede añadir cualquier componente que mejore sus propiedades al estado fresco y/o endurecido.

Concreto de alta resistencia

Concreto que posee una resistencia especificada a compresión de 500 kg/cm² o superior.

Concreto Autonivelante

Es un concreto de consistencia fluida (asentamiento > 6") que posee la propiedad de autonivelarse en un medio libre, necesita menor compactación y por ello puede incrementar la velocidad de vaciado y ser utilizado en zonas de difícil acceso para el equipo vibrador.

Concreto Fluido

Es aquel tipo de concreto que presenta poca consistencia expresada en grandes asentamientos en el cono de Abrams. Según la clasificación de los concretos se denominan mezclas fluidas de concreto a las que poseen asentamientos mayores a 6 pulgadas.

Consistencia

Es la resistencia que opone el cuerpo a experimentar deformaciones.

Durabilidad

Capacidad del concreto para resistir acciones climáticas, ataques químicos, abrasión (desgaste) y otros procesos de deterioro en condición de servicio.

Esfuerzo de Fluencia

Esfuerzo necesario que se debe aplicar a un material para que inicie su movimiento.

Floculación

Aglomeración de partículas hasta alcanzar al tamaño suficiente para que sedimenten por gravedad.

Impermeabilidad

Capacidad del concreto o mortero para evitar la penetración de agua bajo presión.

Mortero

Mezcla de agua + cemento + arena

Pasta de cemento

Mezcla de agua + cemento

Plasticidad

Capacidad que tienen algunos materiales de deformarse con facilidad

Plastificante

Producto líquido o sólido que se añade a un material para aumentar su plasticidad.

Suspensión

Dispersión de partículas sólidas de un material en un líquido, sin flotar ni sedimentar.

Trabajabilidad

Según al ACI la trabajabilidad es aquella propiedad del concreto fresco o mortero que determina la facilidad y homogeneidad con que ésta puede ser mezclada, vaciada, compactada y acabada.

Viscosidad

Es la propiedad que poseen los fluidos debido al frotamiento de sus moléculas y se mide por la velocidad de desplazamiento bajo ciertas condiciones.

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo *1*

CONCRETO AUTOCOMPACTANTE
DEFINICIÓN Y CONCEPTOS BASICOS

1.1 CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

1.1.1 Definición

El concreto autocompactante es una mezcla capaz de fluir y llenar cualquier parte del encofrado, atravesar zonas con alta densidad de refuerzo de acero u otros obstáculos, solo bajo la acción de su propio peso, sin método de compactación externo alguno y sin mostrar indicios de segregación y/o bloqueo.

Debido a que para lograr dicho comportamiento especial es necesario la inclusión de materiales distintos a los tradicionales, tales como los aditivos, el concreto autocompactante sería catalogado como un concreto de alto desempeño, con todos los cuidados y beneficios que eso origina.

Con este tipo de concreto se lograría:

- Eliminar las labores de vibrado durante el vaciado del concreto.
- Incremento de productividad.
- Ahorro en costos por re-trabajos en elementos estructurales que fueron mal vibrados al utilizar concretos convencionales.
- Un ambiente de trabajo más agradable debido a la reducción del ruido provocado por equipo de vibrado.
- Colocar concreto en lugares de difícil acceso y obtener una superficie de excelente calidad en el elemento vaciado.
- Mejoras en la impermeabilidad del concreto y con ello mayor durabilidad debido a la ausencia de segregación y al uso de altas cantidades de material muy fino que logra un elemento de concreto compacto.

1.1.1 Historia

A continuación se presenta un recorrido cronológico sobre los hitos que han marcado la evolución de los concretos, realizado por José García y Pere Borralleras en la referencia [15], cabe destacar que en España se denomina hormigón al concreto.

“ Año: 1955: Hormigón vibrado convencional

Durante estos tiempos se empezaron a utilizar los fluidificantes basados en lignosulfatos, sin apenas purificar, procedentes de los residuos industriales de la fabricación del papel. Su rendimiento era aceptable (8% de reducción de agua de amasado) aunque con efectos secundarios negativos notables. Los aireantes de resina Vinsol saponificada también entraron en estos años, pero también con efectos secundarios negativos. El grupo MBT marcó un paso adelante con su plastificante en polvo Pozzolith 8, de bastante mejor calidad que los convencionales de la época, pero aun así no exento de efectos secundarios.

En las obras se “peleaba” milímetro a milímetro la consistencia del hormigón en el Cono de Abrams. Más cono, más agua y evidentemente menos calidad. El cono era el parámetro más llamativo e inmediatamente relacionado con la calidad del hormigón.

Dada su normalmente consistencia seca, la calidad del hormigón colocado en obra (de forma lenta y laboriosa) dependía fundamentalmente de la ejecución.

Consecuentemente, los errores de ejecución eran excesivos, del 40%. Según el boletín del GEO, Nº10 de 1992, la encuesta sobre patología del hormigón daba la siguiente distribución de errores:

Ejecución	40%
Proyecto	25%
Acciones imprevistas	18%
Materiales	17%

Año: 1970: Hormigón autonivelante y hormigón de alta resistencia

Se comenzaron a utilizar en la obra civil los primeros superfluidificantes procedentes de Japón y Alemania. Los superplastificantes basados en formaldehído naftaleno sulfonados se desarrollaron en Japón, con resultados espectaculares (el mítico Mighty). También se introdujeron las melaminas alemanas (los excelentes aditivos Melmet y Melcret, aún gama esencial dentro de la gama de superplastificantes actuales relacionados con el mundo del hormigón).

Una de las primeras obras relevantes de edificación en la que se empleó hormigón autonivelante en España fue la Torre Europa (1982 en Azca, Madrid). En su cimentación, muy armada, se utilizó hormigón autonivelante (consistencia fluida en el cono de Abrams). El resultado fue espectacular por la calidad del propio hormigón. Una reducción del agua de amasado del orden del 25%, sin efectos secundarios negativos y por la rapidez, facilidad y garantía en la ejecución.

En esta obra se utilizó el mismo aditivo superplastificante / reductor de agua de alta actividad (basado en condensados de formaldehído naftaleno sulfonado) para la consecución de hormigón de elevadas prestaciones en la construcción de los pilares.

Con la entrada de los aditivos superplastificantes se redujeron considerablemente los errores de ejecución y se mejoró enormemente la calidad del hormigón. La calidad del hormigón ya no dependía de su consistencia, sino de la relación a/c. En consecuencia, el cono de Abrams comenzó a perder protagonismo y quedó solamente como medida de control de obra.

Hormigón Autocompacto (HAC)

Son conocidos ya los parámetros que influyen en la durabilidad del hormigón, y del mismo modo, que las exigencias sobre la confección de estructuras y elementos más durables, aumentan progresivamente.

La durabilidad del hormigón depende en primer grado de la formulación de éste. En este sentido, los parámetros básicos son la relación a/c y la cantidad de cemento. Estos parámetros son controlables en el diseño de la mezcla y por lo tanto, en cierta manera, previsibles. En segundo plano aparece el factor puesto en obra. Sin duda alguna, una perfecta formulación del hormigón puede perder todas sus propiedades debido a una mala puesta en obra (desde la adición de agua en el camión hasta un defectuoso o incluso excesivo vibrado). En consecuencia la durabilidad del hormigón depende también, e incluso en mayor medida, de su puesta en obra. El problema de este aspecto es que, a diferencia del diseño de la mezcla, es un parámetro no

controlable y ni mucho menos previsible. La ejecución queda en manos del operario de la obra, que en la mayoría de ocasiones no entiende o no conoce los parámetros que pueden afectar positivamente o negativamente las propiedades del hormigón que manipula. En resumen, la durabilidad del hormigón se ve altamente afectada por las características de la puesta en obra.

En otro contexto, las exigencias de la mejora de las condiciones ambientales de obra también aumentan progresivamente. Eliminar los ruidos producidos por el vibrador es un aspecto a considerar, tanto para los operarios de la obra como para el entorno.

Reflejado el panorama, la solución debería ser un hormigón cuyas propiedades quedaran garantizadas única y exclusivamente en el momento de su diseño, independientemente de su ejecución. Esto sería una garantía de calidad y seguridad. Así pues, los últimos desarrollos en la tecnología del hormigón se han centrado en la elaboración de hormigones autocompactables, que gracias al avance de la química implicada en la construcción han permitido el nacimiento de lo que hoy nombramos hormigón autocompacto, el cual permite ser colocado en obra sin la necesidad de vibradores, eliminando definitivamente este factor que tanto afecta a la calidad y durabilidad como es la puesta en obra.

En 1989, el profesor Ozawa introdujo el término “Self Compating Concrete”, en el Congreso de Ingeniería Estructural de East Asia en Singapur, abriendo una nueva puerta a la tecnología del hormigón, de contrastadas posibilidades de futuro.....”

1.2 REOLOGIA DEL CONCRETO

1.2.1 Definición

En el campo de la reología se examina el comportamiento de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios, que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir, cuerpos que tienen cierta plasticidad.

Las propiedades reológicas del concreto son importantes para la industria de la construcción porque la mezcla será colocada en su estado plástico. Desafortunadamente, debido a la composición compleja de los materiales, especialmente en los concretos de alto desempeño, no existe un método definido para predecir el flujo del concreto a partir de sus componentes. Usualmente los parámetros reológicos no son de fácil medición, debido al amplio rango de tamaños de partículas encontradas en la mezcla de concreto (desde 1 μm para los granos de cemento hasta 25mm en los agregados gruesos e incluso mayores tamaños)

1.2.2 Reología de Fluidos y Suspensiones

El concreto, el mortero y la pasta son materiales formados de la mezcla de varios componentes (agua, cemento, agregados, aditivos, etc.). Se puede decir que el concreto es una suspensión de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento) que también es una suspensión, es decir el concreto es una suspensión dentro de otra. La pasta de

cemento no es un fluido homogéneo, está conformado por una mezcla de partículas (granos de cemento) y líquido (agua).

Debido a que la pasta de cemento y el concreto en una escala mayor, se comportan como un fluido, entonces la ecuación (1) es aplicable. Si una fuerza cortante es aplicada a un líquido, una gradiente de velocidad es inducida (gráfico 1.1). El factor que relaciona el esfuerzo cortante con la gradiente de velocidad es denominado viscosidad. La gradiente de velocidad (dv/dy) es igual a la tasa de deformación aplicada o velocidad angular (γ), ellas expresan la velocidad de cambio dividida por la distancia sobre la cual ocurre dicho cambio. Los fluidos que tienen este comportamiento se denominan Newtonianos.

$$\frac{F}{A} = \tau = \eta\gamma = \eta \frac{dv}{dy} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

η = Viscosidad

γ = Tasa de deformación o veloc. angular (*strain rate*)

dv/dy = Gradiente de velocidad

τ = Esfuerzo Cortante

F = Fuerza Cortante

A = Area paralela al plano de aplicación de la fuerza

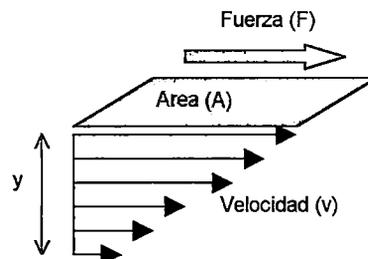


Gráfico 1.1

No todas las suspensiones se comportan como un fluido Newtoniano, existen varias como la pasta de cemento y el concreto, que incluyen un nuevo factor en la ecuación que representa su comportamiento reológico, este factor es denominado **Esfuerzo de Fluencia (Yield Stress)** y se define como el esfuerzo necesario que se debe aplicar a un material para que inicie su movimiento (ver ec.2). A este tipo de fluidos se les denomina fluidos Bingham.

$$\tau = \tau_o + \eta.\gamma = \tau_o + \eta. \frac{dv}{dy} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

η = Viscosidad

γ = Tasa de deformación aplicada o Veloc. Angular

dv/dy = Gradiente de velocidad

τ = Esfuerzo Cortante

τ_o = Esfuerzo de Fluencia

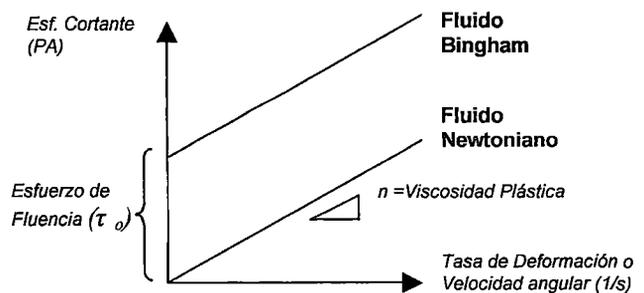


Gráfico 1.2

Se puede notar en la gráfica anterior que la principal diferencia entre los líquidos newtonianos y los Bingham es el punto de intersección con el eje de los esfuerzos cortantes.

1.2.3 Reología de la Pasta de Cemento

La pasta de cemento es una suspensión de granos de cemento en un medio acuoso (agua), en tal situación el comportamiento reológico de este material dependerá básicamente de la interacción entre los granos y el agua.

Si se mantiene constante una dosificación de cemento y variamos la cantidad de agua, se puede distinguir tres estados claramente diferenciados por la separación entre los granos de cemento y las fuerzas que predominan entre ellos (atracción molecular, capilar, repulsión electrostática, fuerza de gravedad, etc.) .

En el gráfico 1.3 se puede observar la distribución de los granos de cemento en un medio acuoso. El primero de estos estados (A) le corresponde a la pasta de cemento que posee una cantidad de agua suficiente de tal manera que la separación entre granos produzca un equilibrio en las fuerzas que aparecen entre ellos y así producir un material de consistencia plástica que corresponde a la mayoría de los concretos convencionales. En el segundo estado (B) el incremento en la presencia de agua, para la misma cantidad de cemento, genera espacios mayores entre los granos, por ello la mayoría de fuerzas de atracción y repulsión disminuyen considerablemente o desaparecen, solo actúan con igual intensidad las fuerzas de gravedad por lo que la tendencia a la sedimentación de los granos se incrementa; en este estado la pasta prácticamente carece de plasticidad y llega a ser simplemente una lechada fluida de cemento. El tercer caso (C) corresponde a una pasta con menor cantidad de agua para la misma dosificación de cemento, las distancias entre granos son menores incrementándose las fuerzas de intermoleculares de atracción, incluso se produce contacto directo entre granos limitando la movilidad de estos; la mezcla resulta rígida y muy cohesiva.

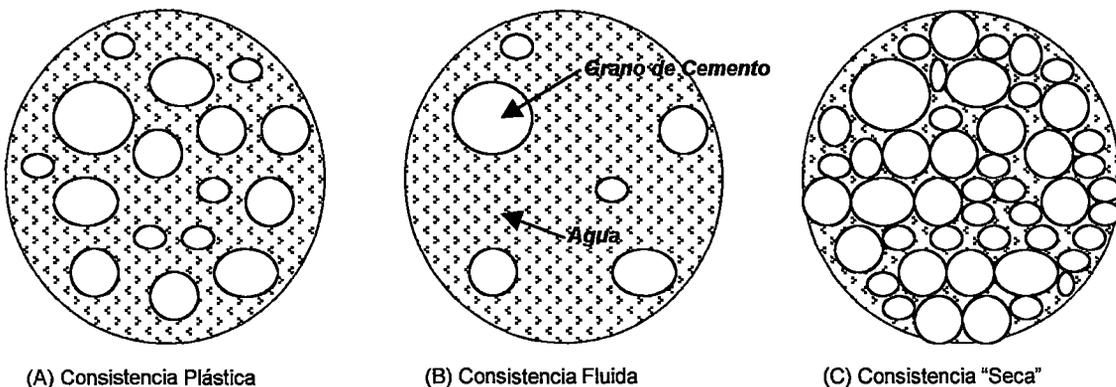


Gráfico 1.3

Del análisis de los tres casos anteriores se puede deducir que el incremento de agua lleva consigo a un incremento de fluidez y pérdida de cohesión, por otro lado la poca presencia de este material origina pastas de cemento muy cohesivas y con poca deformación. La pasta de cemento debe tener la suficiente cantidad de agua que asegure la adecuada trabajabilidad del concreto y elimine la posibilidad de segregación, para ello la dosificación de agua óptima se obtiene en los ensayos de concreto durante el diseño de mezcla.

Es sabido, que la resistencia del concreto al estado endurecido depende, entre varios factores, de la cantidad de cemento presente en la mezcla así como también de la relación agua/cemento (a/c), el primero de ellos debe incrementar su presencia y el segundo disminuir su valor para lograr resistencias más altas. Se puede notar entonces que la clave para lograr mayores resistencias es aumentar la cantidad de cemento y disminuir la presencia de agua. En tales condiciones se llegaría a una relación a/c en el que la consistencia de la mezcla sería muy seca (caso C del gráfico 1.3) y por lo tanto no recomendable para trabajar. Aparece entonces un límite inferior para la relación a/c y con ello una resistencia máxima que no podrá ser superada utilizando los materiales normales para la fabricación del concreto (cemento, agua, agregados).

Si se requiere resistencias mayores se necesitaría de algún material que genere la misma consistencia plástica en el concreto a pesar de las altas cantidades de cemento y poca presencia de agua, estos materiales son los aditivos plastificantes o superplastificantes llamados también reductores de agua, que disminuyen la tensión superficial del agua (decrecen las fuerzas de atracción capilar), incrementan las fuerzas de repulsión electrostáticas (aumenta la dispersión) y reducen la fricción entre los granos de cemento formando una película lubricante alrededor de cada uno de ellos. Los aditivos mencionados reducen la cohesión de la mezcla a niveles aceptables y aumentan la dispersión en los granos de cemento, indirectamente se produce una caída en el esfuerzo de fluencia y se obtienen mezclas menos viscosas y con mayor aptitud para deformarse y fluir.

El aditivo superplastificante puede ser usado de tres maneras: 1) como reductor de agua, para lograr relaciones a/c bajas y con ello resistencias mecánicas elevadas; 2) como fluidificante, para incrementar la fluidez de la mezcla de concreto sin adicionar agua y por lo tanto conservando la resistencia mecánica que se había planeado y además eliminado la posibilidad de segregación en el concreto o sedimentación en la pasta de cemento; 3) como combinación de reductor de agua y fluidificante.

1.2.4 Reología de la Mezcla de Concreto

Es claro que el comportamiento reológico de la pasta de cemento no necesariamente será igual al que demuestre la mezcla de concreto. Investigaciones realizadas demuestran que no existe relación lineal entre los parámetros reológicos de la pasta de cemento y el concreto, en la referencia [20, p.465] se atribuye dicha variación al amplio rango de tamaños de las partículas que interviene en la mezcla de concreto, además se asegura que los datos obtenidos en laboratorio tienen cierta variación debido a las condiciones que se experimenta en obra como la temperatura, energía de compactación, humedad ambiental, etc, por ello la pasta de cemento debe ser ensayada en las mismas condiciones a la que estará sometida el concreto.

La mezcla de concreto también puede ser sometida a ensayos en viscosímetros de laboratorio, con los que se puede obtener los verdaderos parámetros reológicos (esfuerzo de fluencia y viscosidad). Dicha labor involucra una dependencia del laboratorio y de un equipo muy costoso que no puede ser obtenido fácilmente, además de la imposibilidad de utilizarlo para controlar los parámetros reológicos en obra. Por lo tanto, surge la necesidad de relacionar los

resultados obtenidos en laboratorio con los obtenidos en ensayos simples que puedan ser fácilmente ejecutados en campo, como el ensayo de asentamiento.

Los ensayos que existen actualmente para medir indirectamente la viscosidad y el esfuerzo de fluencia generalmente miden solo uno de los parámetros reológicos, muy pocos se han modificado con la finalidad de medir los dos parámetros.

El comportamiento reológico de una mezcla de concreto puede ser expresado cuando se habla de la **trabajabilidad** de la mezcla, que, según el ACI, es aquella propiedad del concreto fresco o mortero que determina la facilidad y homogeneidad con que ésta puede ser mezclada, vaciada, compactada y acabada.

Los **concretos autocompactantes** son mezclas de excelente trabajabilidad, para ello deben poseer baja viscosidad y esfuerzo de fluencia, acompañados de una buena cohesión. Este efecto no puede ser logrado en los concretos convencionales que no utilizan ningún tipo de aditivo, porque en ellos la viscosidad es directamente proporcional a la cohesión de la mezcla, es decir al buscar un concreto fluido, mediante adición de agua, disminuimos la viscosidad de la mezcla y también la cohesión, con ello aumenta la tendencia a la segregación.

El uso de un aditivo superplastificante es necesario para la generación de mezclas de concreto autocompactante. Este material tiene la propiedad de disminuir considerablemente la viscosidad y el esfuerzo de fluencia, sin embargo la cohesión de la mezcla permanece inalterable o sufre cambios que pueden ser tolerables.

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 2

MATERIALES

2.1 AGREGADOS

Se define como agregado al material granular proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. Son los elementos inertes que representan el mayor porcentaje del peso total del concreto, generalmente son más resistentes y económicos que la pasta de cemento.

Por su tamaño los agregados se clasifican en: Agregado Grueso (piedra) y Agregado Fino (arena). La combinación de ambos materiales se denomina Agregado Global.

El agregado grueso está conformado por el material retenido en el tamiz NTP 4.75mm (Nº4), mientras que el agregado fino es el material que pasa el tamiz NTP 9.4 mm (3/8"), ambos deben cumplir con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 ó ASTM C 33.

En esta investigación se utilizó agregado grueso de las canteras ubicadas en Jicamarca y agregado fino de las canteras de la zona de Trapiche (Carretera a Canta).

2.1.1 PROPIEDADES

PESO UNITARIO

El peso unitario del agregado es aquel peso que alcanza un determinado volumen unitario.

Se utilizan dos tipos de pesos unitarios: suelto y compactado.

Peso Unitario Suelto (PUS).-

Es la relación entre el peso del material en estado suelto y el volumen del recipiente que lo contiene.

$$PUS = \frac{\text{Peso del material suelto}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Peso Unitario Compactado (PUC).-

Es la relación entre el peso del material en estado compacto y el volumen del recipiente que lo contiene.

$$PUC = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

El PUC resultante de la mezcla de agregado grueso y fino (agregado global) es utilizado para hallar la mejor proporción en la combinación de estos materiales durante el diseño de mezcla de concreto.

PESO ESPECÍFICO

El peso específico del agregado, también expresado como densidad, es la relación a una temperatura estable de la masa de un volumen unitario del material y la masa del mismo volumen de agua destilada, libre de gas.

En agregados, la idea de peso específico está referida a la densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo. En un sólido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacíos accesibles al agua en condiciones determinadas, se define el volumen como "aparente"; si se excluye este volumen de vacíos al volumen resultante, se denomina "nominal"

Según la norma peruana NTP 400.021 y la norma ASTM C 127, se consideran tres formas de expresión del peso específico:

Peso Específico Aparente (PEa).-

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

$$PEa = \frac{P}{P - P_i}$$

Donde:
PEa = Peso específico aparente
P = Peso de la muestra seca
P_i = Peso de la muestra sumergida en agua

Peso Específico de Masa (PEm).-

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material), a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

$$PEm = \frac{P}{P_s - P_i}$$

Donde:
PEm = Peso específico de masa
P = Peso de la muestra seca
P_s = Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente
P_i = Peso de la muestra sumergida en agua

Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (PEsss).-

Similar al peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

$$PEsss = \frac{P_s}{P_s - P_i}$$

Donde:
PEsss = Peso específico saturado superficialmente seco
P_s = Peso de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente
P_i = Peso de la muestra sumergida en agua

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es la relación entre la cantidad de agua que existe en el agregado en su estado natural o en el momento que es utilizado y el peso seco del mismo.

$$C.H. = \frac{Pa - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:
C.H. = Contenido de Humedad
Pa = Peso de la muestra en estado natural
Ps = Peso de la muestra seca

En los cálculos para el diseño de mezcla de concreto se considera al agregado en condición saturada superficialmente seca, es decir, con todos sus poros abiertos llenos de agua pero libre de humedad superficial.

Si el agregado se encuentra en la situación descrita anteriormente, entonces no puede absorber ni ceder agua durante el proceso de mezcla. Un agregado parcialmente seco le quita agua a la mezcla hasta alcanzar la condición saturada, mientras que el agregado saturado superficialmente húmedo, origina un exceso de agua en el concreto. Por ello siempre es necesario ajustar el contenido de agua en la mezcla, utilizando para ello el contenido de humedad y la capacidad o porcentaje de absorción del agregado.

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Se denomina absorción, al contenido de humedad total interno de un agregado que está en la condición de saturado superficialmente seco.

Se entiende por absorción efectiva al volumen de agua necesario para llevar un agregado de la condición de secado al aire o semiseco (condiciones naturales), a la condición de saturado superficialmente seco.

El porcentaje de absorción del agregado es la relación entre la cantidad total de agua que puede absorber el material y el peso seco del mismo.

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{P_{sss} - P_s}{P_{sss}} \times 100$$

Donde:
% de Absorción = Porcentaje de Absorción
Ps = Peso en gramos de la muestra seca
Psss = Peso en gramos de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente

GRANULOMETRIA

El estudio granulométrico tiene como objetivo determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos, por medio de tamices de abertura cuadrada, dispuestos sucesivamente de mayor a menor tamaño.

Usualmente para el agregado fino y para el agregado grueso se utilizan grupos de tamices (cuadro 2.1) con los cuales se expresa la granulometría del material en función del porcentaje de peso retenido en cada tamiz.

Con los pesos retenidos acumulados en estos tamices se puede trazar la denominada curva granulométrica de excelente ayuda para mostrar y comparar la granulometría de un material específico con alguna granulometría ideal.

La norma peruana NTP 400.037, en lo referente a granulometría, establece límites para las curvas granulométricas tanto del agregado grueso (cuadro 2.2) y fino (cuadro 2.3).

Cuadro 2.1

Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamiz ASTM	Tamiz ASTM
4" (100 mm.)	
3 1/2" (90 mm.)	
3" (75mm.)	
2 1/2" (63mm.)	
2" (50mm.)	
1 1/2" (37.5mm.)	
1" (25mm.)	
3/4" (19mm.)	
1/2" (12.5mm.)	
3/8" (9.5mm.)	3/8" (9.5mm.)
Nº4 (4.75mm.)	Nº4 (4.75mm.)
Nº8 (2.36mm.)	Nº8 (2.36mm.)
Nº16 (1.18mm.)	Nº16 (1.18mm.)
	Nº30 (0.6mm.)
	Nº50 (0.3mm.)
	Nº100 (0.15mm.)

Cuadro 2.2

REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO													
Nº ASTM	Tamaño Nominal en pulgadas	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS											
		4" 100mm	3 1/2" 90mm	3" 75mm	2 1/2" 63mm	2" 50mm	1 1/2" 37.5mm	1" 25mm	3/4" 19mm	1/2" 12.5mm	3/8" 9.5mm	Nº4 4.75mm	Nº8 2.36mm
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90a100		25a60		0a15		0a5				
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90a100	35a70	0a15		0a5				
3	2" a 1"				100	90a100	35a70	0a15		0a5			
357	2" a Nº4				100	95a100		35a70		10a30		0a5	
4	1 1/2" a 3/4"					100	90a100	20a55	0a15		0a5		
467	1 1/2" a Nº4					100	95a100		35a70		10a30	0a5	
5	1" a 1/2"					100	90a100	20a55	0a10	0a5			
56	1" a 3/8"					100	90a100	40a85	10a40	0a15	0a5		
57	1" a Nº4					100	95a100		25a60		0a10	0a5	
6	3/4" a 3/8"						100	90a100	20a55	0a15	0a5		
67	3/4" a Nº4						100	90a100		20a55	0a10	0a5	
7	1/2" a Nº4							100	90a100	40a70	0a15	0a5	
8	3/8" a Nº8								100	85a100	10a30	0a10	0a5

Cuadro 2.3

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO				
TAMIZ	Porcentaje de Peso (masa) que pasa			
	Límites Totales	Grupo C	Grupo M	Grupo F
9.5mm (3/8")	100	100	100	100
4.75mm (Nº4)	89-100	95-100	89-100	89-100
2.36mm (Nº8)	65-100	80-100	65-100	80-100
1.18 (Nº16)	45-100	50-85	45-100	70-100
0.6mm (Nº30)	25-100	25-60	25-80	55-100
0.3mm (Nº50)	5-70	10-30	5-48	5-70
0.15mm(Nº100)	0-12	2-10	0-12	0-12

Estos límites granulométricos crean zonas donde las curvas respectivas de los distintos tipos de agregado pueden ser comparadas entre si o con los límites propuestos. Las curvas granulométricas continuas y sin cambios bruscos generalmente tienen buen comportamiento en los concretos normales. El análisis de las curvas se realiza tanto para el agregado en forma independiente como para la combinación de ambos también denominado agregado global, para dicha combinación también existen límites granulométricos que dan referencia de la calidad del material.

Para el agregado global la norma peruana NTP 400.037, en lo referente a granulometría, establece límites para las curvas granulométricas (cuadro 2.4). También se utiliza la Norma DIN 1045/6.2 (cuadro 2.5).

TAMIZ		% en Peso que pasa
(mm.)	(pulg.)	TN 3/4" (19mm.)
50.0	2	
37.5	1 1/2	100
19.0	3/4	95-100
12.5	1/2	
9.5	3/8	
4.8	Nº4	35-55
2.4	Nº8	
1.2	Nº16	
0.6	Nº30	10-35
0.3	Nº50	
0.2	Nº100	0-8*

(*) Incrementar a 10% para finos de roca triturada

Cuadro 2.4

TAMAÑO MAXIMO = 16 mm.			
MALLA	FRACCION QUE PASA		
(mm.)	A	B	C
16.00	100	100	100
8.00	60	76	88
4.00	36	56	74
2.00	21	42	62
1.00	12	32	49
0.50			
0.25	3	8	18

Cuadro 2.5

Una propiedad que puede extraerse del análisis granulométrico y que es característico de cada material es el **Tamaño Máximo** y el **Tamaño Nominal Máximo** del agregado. El primero corresponde a la malla mas pequeña por la que pasa toda la muestra de agregado, mientras que el segundo corresponde a la malla más pequeña que produce el primer retenido.

MODULO DE FINURA

El módulo de finura es un número adimensional que representa un tamaño promedio ponderado de la muestra de agregado, pero no representa la distribución de las partículas. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", Nº4, Nº8, Nº16, Nº30, Nº50 y Nº100; dividida entre 100.

Los agregados que presentan un módulo de finura bajo indican mayor presencia de las partículas más finas.

$$M.F. = \frac{\%Ra_{3"} + \%Ra_{1\ 1/2"} + \%Ra_{3/4"} + \%Ra_{3/8"} + \%Ra_{Nº4} + \%Ra_{Nº8} + \%Ra_{Nº16} + \%Ra_{Nº30} + \%Ra_{Nº50} + \%Ra_{Nº100}}{100}$$

Donde:

M.F. = Módulo de Finura

% Ra = Porcentaje retenido acumulado

SUPERFICIE ESPECÍFICA

La superficie específica de una partícula de agregado es el área superficial de la misma. Se expresa como área por unidad de masa (cm²/gr). La superficie específica de un conjunto de partículas es la suma de las áreas superficiales de las mismas.

Para calcular la superficie específica del agregado se divide, para cada tamiz, el porcentaje retenido en ellos entre el valor del diámetro medio. La superficie específica del conjunto se calcula por la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie Específica} = \frac{6 \times E}{10 \times PE}$$

Donde:

E = Sumatoria de los valores obtenidos de dividir el porcentaje retenido en cada tamiz entre el valor del diámetro medio (mm.)

PE = Peso específico de masa del agregado

MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200

Es el material cuyo tamaño es menor a la abertura del tamiz N°200, se puede presentar en el agregado en forma de revestimiento superficial o en partículas sueltas. Las normas establecen límites para la presencia del material que pasa la malla N°200:

Agregado Fino

- Concretos sujetos a abrasión < 3%
- Otros Concretos < 5%

Agregado Grueso

- En general < 1%

El siguiente es el resumen de datos de las propiedades de los agregados grueso y fino:

AGREGADO GRUESO

PROPIEDAD	Valor	Unid
Peso Unitario Suelto	1.47	gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.59	gr/cm ³
Peso Específico		gr/cm ³
de Masa	2.6975	gr/cm ³
Aparente	2.7700	gr/cm ³
de Masa Saturado Sup. Seco	2.7237	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	0.97	%
Contenido de Humedad	0.55	%
Módulo de Finura	6.41	
Superficie Específica	2.7	gr/cm ²
Tamaño máximo	3/4	pulg.
Tamaño Nominal Máximo	1/2	pulg.

AGREGADO FINO

PROPIEDAD	Valor	Unid
Peso Unitario Suelto	1.68	gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.87	gr/cm ³
Peso Específico		gr/cm ³
de Masa	2.6635	gr/cm ³
Aparente	2.7108	gr/cm ³
de Masa Saturado Sup. Seco	2.6810	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	0.65	%
Contenido de Humedad	2.04	%
Módulo de Finura	3.06	
Superficie Específica	40.1	gr/cm ²
Material que pasa la malla N°200	4.65	%

2.2 CEMENTO

Los aglomerantes hidráulicos son aquellos materiales inorgánicos de tamaños similares al polvo que al mezclarlos con agua forman una pasta con buena capacidad de deformación y capaz de endurecer espontáneamente con el tiempo, como resultado de procesos físico-químicos.

El clinker Portland es un material artificial, fabricado mediante la combinación de cal, sílice, alúminas y óxido de hierro principalmente, dichos materiales son finamente molidos y mezclados para luego ser calentados a temperaturas elevadas (1500°C) para que reaccionen sus componentes y así generar la piedra de clinker.

El cemento Pórtland es un aglomerante hidráulico obtenido de la pulverización del clinker Portland con un poco de yeso. En el Perú el cemento Portland debe cumplir con los requisitos indicados en la Norma ASTM C150 para los tipos I, II y V, que son los fabricados en el medio, alternativamente podrán emplearse los requisitos de las normas peruana para cementos (NTP).

El cemento Pórtland tipo I utilizado en la presente investigación proviene de la Planta de CEMENTOS LIMA S.A. y sus características principales son (*):

Cemento Portland Tipo I

Norma ASTM C-150 - NTP334.009
Producto obtenido de la molienda de clinker

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CEMENTO PORTLAND TIPO I	
NORMA TÉCNICA :	ASTM C-150 NTP 334.009
MARCA COMERCIAL :	SOL
PRESENTACIÓN :	BOLSAS DE 42.5 Kg.

ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO		ENSAYOS FÍSICOS TÍPICOS	
SiO ₂	20.11	FINEZA RETENIDA :	
Al ₂ O ₃	6.08	Malla + 100 (150 micras)	0.13%
Fe ₂ O ₃	2.90	Malla + 200 (75 micras)	1.00%
CaO	62.94	Malla + 325 (45 micras)	8.15%
MgO	3.04		
SO ₃	2.67	SUPERFICIE ESPECIFICA	
K ₂ O	0.95	Blaine (CM ² /GR)	3321
Na ₂ O	0.28	CONTENIDO DE AIRE	9.03%
P.I.	0.76	EXP. AUTOCLAVE	0.18%
TOTAL	99.71	PESO ESPECIFICO	(Gr/cm ³) 3.15
CaO Libre	0.34	FRAGUADO	
Alcalis Total (Na ₂ O Equiv.)	0.90	VICAT INICIAL	2h 14 min

R. Insoluble	0.67	VICAT FINAL	3h 50min
--------------	------	-------------	----------

COMPUESTOS Clinker tipo I	
C3S	57.12
C2S	15.01
C3A	12.05
C4AF	9.02

(*) Datos proporcionados por el fabricante.

2.3 ADITIVO

El ACI define a los aditivos como aquellos materiales que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, son empleados como ingredientes del mortero o concreto, y son añadidos a la tanda inmediatamente, antes o durante su mezclado.

Estos materiales sirven para modificar o mejorar algunas de las propiedades del concreto al estado fresco o endurecido, de acuerdo a las necesidades propias de cada proyecto.

Las normas ASTM y las recomendaciones del ACI clasifican a los distintos tipos de aditivos. La norma ASTM C494 los clasifica como:

<i>TIPO A</i>	<i>Reductores de agua</i>
<i>TIPO B</i>	<i>Retardadores de fragua</i>
<i>TIPO C</i>	<i>Acelerantes</i>
<i>TIPO D</i>	<i>Reductores de agua-retardadores de fragua</i>
<i>TIPO E</i>	<i>Reductores de agua acelerantes</i>
<i>TIPO F</i>	<i>Super Reductores de agua</i>
<i>TIPO G</i>	<i>Super Reductores de agua-acelerantes</i>

El ACI 212 recomienda agrupar a los aditivos de la siguiente manera:

- *ACELERANTES*
- *INCORPORADORES DE AIRE*
- *REDUCTORES DE AGUA Y REGULADORES DE FRAGUA*
- *ADITIVOS MINERALES*
- *GENERADORES DE GAS*
- *ADITIVOS PARA INYECCIONES*
- *PRODUCTORES DE EXPANSION*
- *LIGANTES*
- *AYUDAS PARA BOMBEO*

- COLORANTES
- FLOCULANTES
- FUNGUICIDAS: INSECTICIDAS Y GERMICIDAS
- IMPERMEABILIZANTES
- REDUCTORES DE PERMEABILIDAD
- CONTROLADORES DE LA REACCION ALCALI-AGREGADO
- INHIBIDORES DE LA CORROSION
- SUPERPLASTIFICANTES

Para la producción de concreto autocompactante es necesario un material que disminuya la viscosidad de la mezcla y el esfuerzo de fluencia pero al mismo tiempo mantenga una buena cohesión en ella para evitar segregaciones. Dicha labor solo puede ser ejecutada por un aditivo que incremente la fluidez considerablemente, este efecto lo consiguen los aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango. Ellos generan un mayor efecto que los plastificantes o reductores de agua simples, sus principales acciones son:

- ☞ Reducir la cantidad de agua necesaria en la mezcla origen (hasta en un 30%) y con ello disminuir la relación a/c y lograr resistencias mecánicas mayores, además de las mejoras que trae consigo estos cambios (mayor durabilidad, impermeabilidad, módulo de elasticidad, etc.)
- ☞ La adición del aditivo sin reducir el contenido de agua en la mezcla origen, incrementa la fluidez en la mezcla de concreto y con ello mejora la trabajabilidad.
- ☞ El efecto combinado de las dos acciones anteriores puede generar una mezcla de excelente trabajabilidad con resistencias mecánicas altas.

Los aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango (RAAR) fueron creados en el Japón y Alemania en la década de los 60 como formaldehído naftaleno o como formaldehído melamina sulfonato, y desde esa época han mejorando notablemente.

Los aditivos RAAR son clasificados en cuatro grupos [3, p. 365]:

- *Formaldehído melamina sulfonato condensado (SMF - sulfonated melamine-formaldehyde condensates),*
- *Formaldehído naftaleno sulfonato condensado (SNF - sulfonated naphthalene-formaldehyde condensates),*
- *Lignosulfatos modificados (MLS – modified lignosulfonates)*
- *Otros que incluyen sulfonatos policíclicos, compuestos aromáticos o esterres carbohidratos.*

En la referencia [12] la Dra. Joana Roncero realiza una investigación muy interesante sobre el efecto de los superplastificantes en el comportamiento del concreto, mucha de la información sobre los mecanismos de acción de los aditivos superplastificantes fue obtenida de su trabajo.

En general los aditivos superplastificantes usados en la industria del concreto son básicamente polímeros con altos pesos moleculares y un gran número de unidades moleculares que se repiten en una secuencia.

Los primeros aditivos que fueron clasificados como superplastificantes, fueron los MLS, SNF y SMF, todos ellos tienen el mismo grupo sulfonato pero sus orígenes son distintos. Los lignosulfatos (MLS) es un producto de desecho obtenido de la producción de papel y sus propiedades dependen principalmente del tipo y edad de madera usada, condiciones del proceso de fermentación, extracción de la pulpa y neutralización álcali. Los lignosulfatos son tratados con el fin de reducir el contenido de azúcar y con ello el efecto retardante que genera en la pasta de cemento.

Los superplastificantes derivados de las sales de formaldehído melamina sulfonato (SMF) y sales de formaldehído naftaleno sulfonato (SNF) son productos sintéticos diseñados y producidos para un uso específico. Usualmente se agrega pequeñas cantidades de MLS al SNF con la finalidad de reducir costos.

En los últimos años muchos polímeros con grupos funcionales carboxilos, hidroxilos o fosfonatos han sido introducidos en el mercado de los aditivos superplastificantes. Dichas formulaciones denominadas co-polímeros, son caracterizadas por largas cadenas. Ellas pueden ser modificadas para obtener desempeños específicos en términos de dispersión, retención de trabajabilidad, variando el tamaño de los grupos, su composición, el peso molecular de la cadena principal y las anexas. Parece que los carboxilatos tipo polímeros son los que demuestran la configuración más efectiva para retener trabajabilidad y slump

Mecanismos de acción:

La interacción entre el superplastificante y la partícula de cemento puede ser clasificada en dos grupos:

- Interacción Física
- Interacción Química

Interacción Física

La absorción de las moléculas de superplastificante en las partículas de cemento impide su floculación debido a la generación de fuerzas de repulsión cuyo origen puede ser electrostático y/o de acción estérica. Las partículas son distribuidas homogéneamente en la solución acuosa, minimizando la cantidad de agua necesaria para dispersarlos, logrando alta trabajabilidad o fluidez en el concreto.

Interacción Química

Incluye absorción química, reacción con varios reactivos de la partícula cemento, formación de iones complejos de Ca^{2+} e interacción con la morfología de los hidratos formados. El gran número de fenómenos involucrados en el sistema superplastificante-cemento-agua genera muchas discrepancias en las teorías propuestas sobre el mecanismo de acción de los superplastificantes. Además con la introducción de la "nueva generación" de estos aditivos otros fenómenos no han sido considerados, complicando aun más la interpretación de los mecanismos de acción.

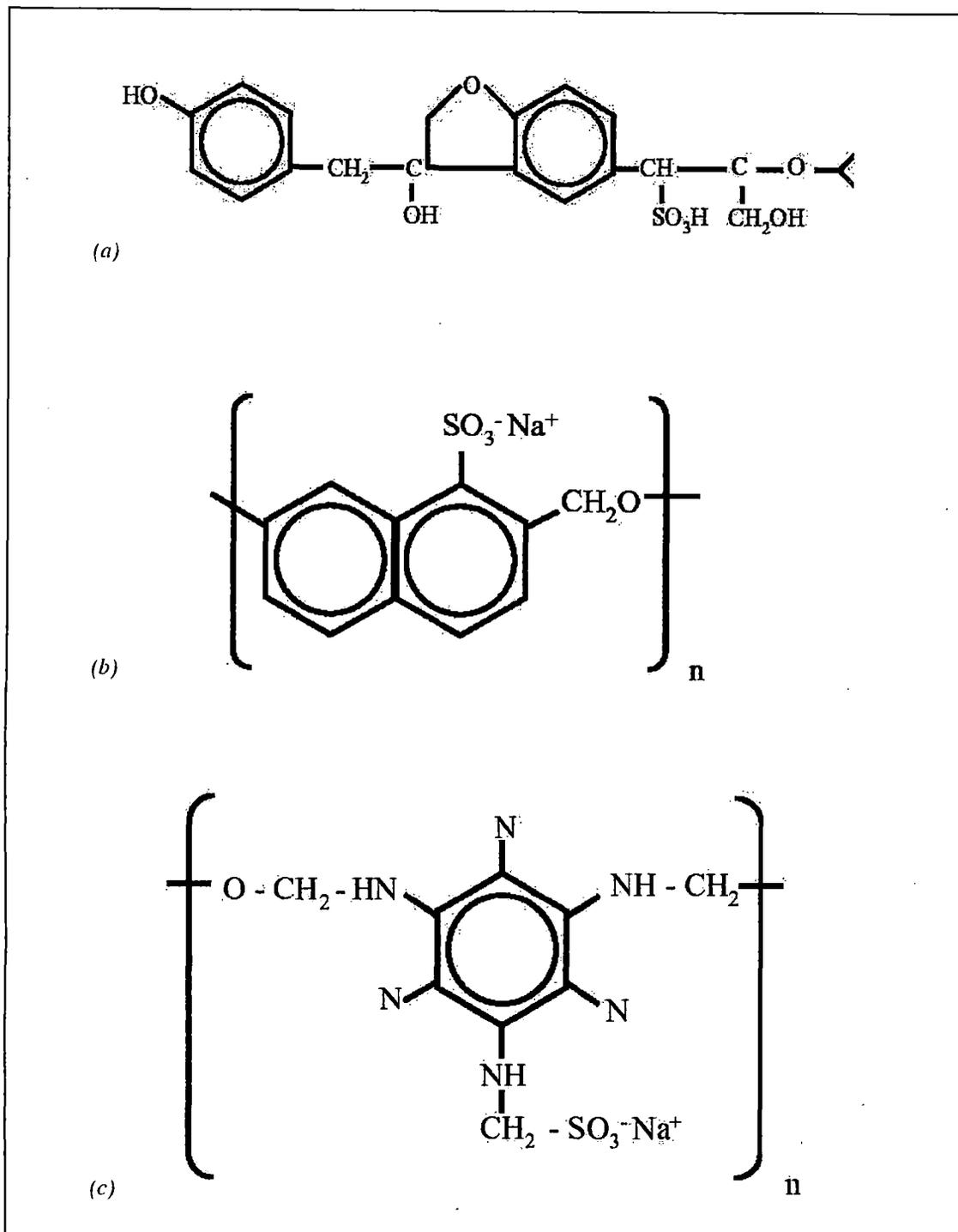
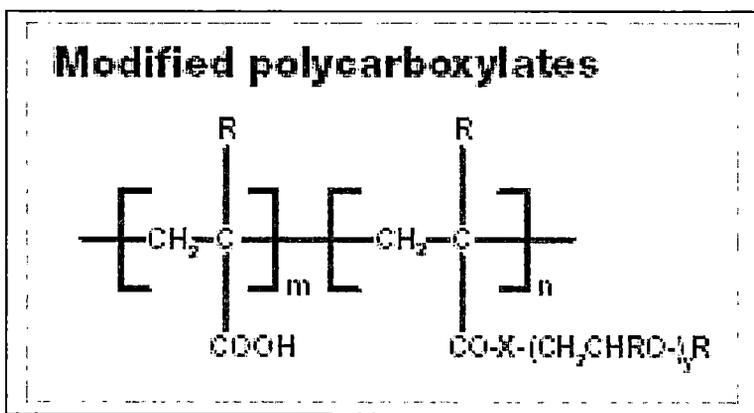


Gráfico 2.1. (a) Unidad molecular repetida en los lignosulfatos (MLS), (b) Unidad molecular de formaldehído naftaleno sulfonato (SNF), (c) Unidad molecular de formaldehído melamina sulfonato (SMF)

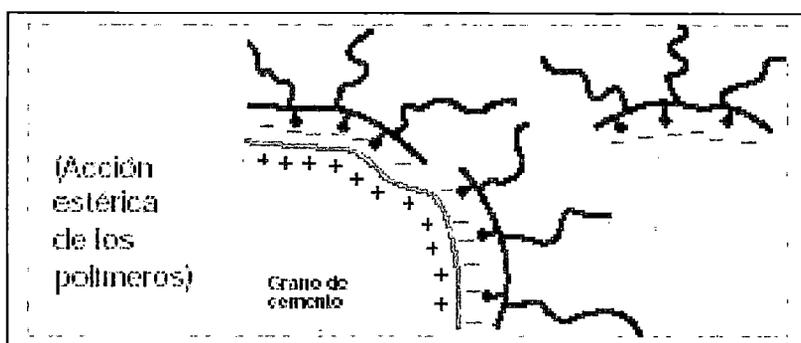
Nota: Gráfico obtenido de la referencia [12]

En la presente investigación se utiliza un aditivo superplastificante o reductor de Agua de alto rango con retardo de fragua, compuesto por Policarboxilatos modificados. La empresa SIKA PERU S.A. proporcionó el aditivo denominado SikaViscocrete 1, cuyas características principales son:

- ↪ Aspecto: Líquido
- ↪ Color: Verde azulado
- ↪ Densidad: 1.06 kg/l ± 0.02 kg/l



Nota: Fórmula obtenida del folleto presentado por la empresa Sika Perú S.A.



Nota: Gráfico obtenido del folleto presentado por la empresa Sika Perú S.A.

2.4 AGUA

El agua es un componente muy importante de los concretos, pues en presencia de ella el cemento reacciona para lograr la formación de gel y además para que la masa de concreto al estado fresco logre una adecuada manipulación y colocación de la misma (trabajabilidad) y al estado endurecido la conviertan en un producto con propiedades y características que cumpla con las necesidades del proyecto.

En la producción de concretos el agua que ha de ser utilizada deberá cumplir con los requisitos de la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.088 y ser, de preferencia, potable.

El agua utilizada en esta tesis no presenta inconveniente alguno, ya que es agua potable y fue tomada de la red que alimenta al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI (LEM).

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 3

**ENSAYOS DE CONTROL DEL
CONCRETO AUTOCOMPACTANTE**

Del primer capítulo, se pueden obtener las siguientes tres propiedades esenciales de los concretos autocompactantes al estado fresco:

- Capacidad de fluir y llenar todos los espacios del encofrado, solo bajo la acción de su propio peso. (*filling ability*)
- Capacidad de atravesar satisfactoriamente zonas con alta densidad de refuerzo de acero y/o otros obstáculos, sin necesidad de vibración y manteniendo su homogeneidad. (*passing ability*)
- Resistencia a la segregación

Dichas propiedades son necesarias evaluarlas con métodos de ensayo eficaces. Ellas no siempre son independientes y están relacionadas en un mayor o menor grado, por ejemplo la capacidad de fluir y llenar todos los espacios del encofrado sin compactación externa está relacionada con la viscosidad y ésta a su vez con la resistencia a la segregación, la capacidad de atravesar zonas con alta densidad de obstáculos es muy compleja y abarca: composición de agregados, deformabilidad, resistencia a la segregación, y condiciones especiales que caracterizan a cada obra.

Los ensayos de control de la trabajabilidad de los concretos normales son obsoletos para este tipo de concreto. Por ello se han creado varios procedimientos de ensayos para medir, de alguna manera, las tres principales propiedades de los concretos autocompactantes. Es importante aclarar que ninguno de los métodos de ensayo ha sido estandarizado y que aún continúan las investigaciones para establecer los ensayos que caractericen satisfactoriamente a los concretos autocompactantes mediante una norma.

Existen ensayos que utilizan modernos equipos de laboratorio, con ellos se pueden obtener los verdaderos factores (viscosidad y esfuerzo mínimo de fluencia) que caracterizan reológicamente a un concreto. De esa manera se obtienen las características propias de cada mezcla y con ello diferenciar definitivamente concretos que puedan ofrecer resultados similares en ensayos de campo como el asentamiento en el cono de Abrams. Algunas investigaciones tratan de encontrar relaciones entre los factores reológicos obtenidos con equipos sofisticados y ensayos que no requieran de costosos equipos de laboratorio y que puedan ser fácilmente ejecutados en obra.

Los dos ensayos más importantes, utilizados actualmente para medir las propiedades de los concretos autocompactantes, son:

- Ensayo de Extensión de Flujo
- Ensayo Caja L

Dichos ensayos son la base de la presente investigación.

3.1 ENSAYO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

El ensayo de Extensión de Flujo es uno de los métodos de ensayo más populares para evaluar las propiedades de los concretos autocompactantes debido a que el procedimiento es muy simple y el equipo necesario para realizarlo es el mismo cono de Abrams del ensayo de asentamiento.

Este ensayo es usado para medir el flujo libre horizontal del concreto fresco en ausencia de obstáculos, por lo tanto se refiere a la capacidad de la mezcla de fluir y llenar todos los espacios del encofrado, solo bajo la acción de su propio peso. (*filling ability*). La resistencia a la segregación puede ser notada visualmente, pero la capacidad de atravesar zonas con alta densidad de obstáculos no puede ser medida.

La información que puede obtenerse de este ensayo es la siguiente:

- **Dmax.** (Diámetro máximo alcanzado por la mezcla al esparcirse), ver gráfico 3.1(d)
- **T50** (Tiempo que demora la mezcla en alcanzar 50 cm. de diámetro), ver gráfico 3.1(c)
- **Grado de segregación** (inspección visual)

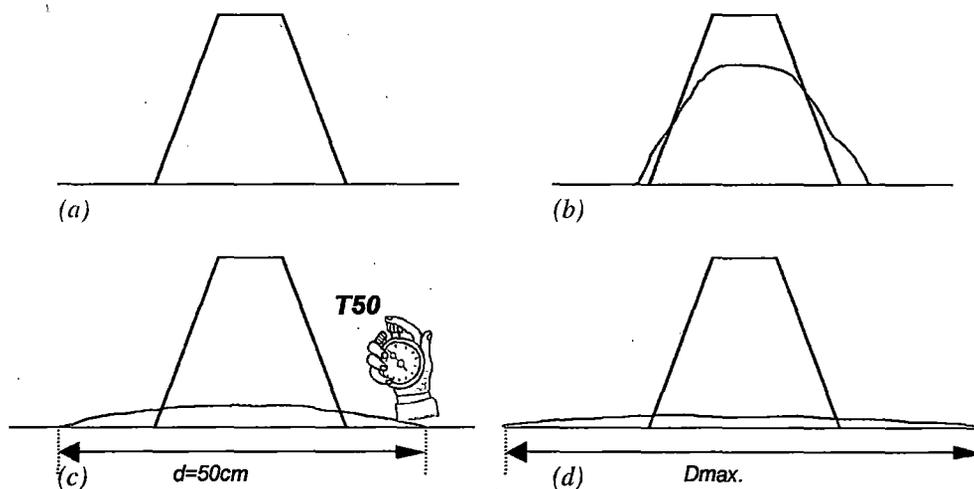


Gráfico 3.1. Ensayo de Extensión de Flujo, (a) al inicio $t=0$, (b) mezcla en proceso de deformación $0 < t < T50$, (c) extensión de flujo de 50 cm. de diámetro, (d) deformación total de la mezcla

El valor del diámetro máximo (Dmax.) es relacionado con la capacidad de deformación o de fluir del concreto fresco autocompactante. Podría considerarse correspondiente al esfuerzo de fluencia si la mezcla se comportara como un fluido Bingham.

El tiempo T50 proporciona información sobre la velocidad y viscosidad de la mezcla, a mayor tiempo menor velocidad y mayor viscosidad.

Las investigaciones reportan que para obtener un concreto con comportamiento autocompactante se recomienda que el valor de Dmax. debe ser como mínimo 650 mm. y el tiempo T50 deberá estar entre 2 y 5 seg.

El ensayo de Extensión de Flujo es uno de los métodos más fáciles para medir por observación visual la resistencia a la segregación de una mezcla de concreto autocompactante, las características más resaltantes de los casos segregados, son:

- Tendencia del agregado grueso a quedarse en el centro de la "torta" formada por la mezcla de concreto.
- En el perímetro se puede observar la presencia de pasta de cemento sin agregado grueso.
- La forma que adoptan las mezclas de concreto no segregadas es circular, en las mezclas segregadas la forma es irregular. (ver fotos 3.a y 3.b)



Foto 3.a

Mezcla segregada.

- 1.- Concentración de agregado grueso en el centro de la torta
- 2.- Separación pasta – agregado en el perímetro

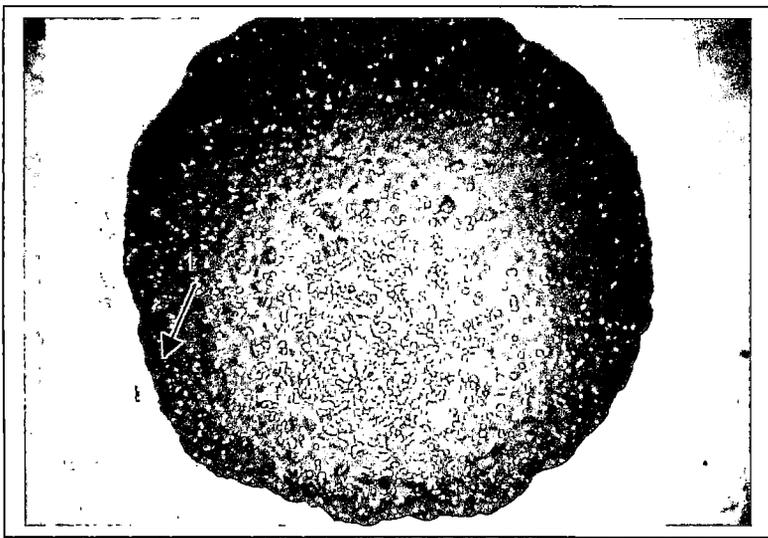
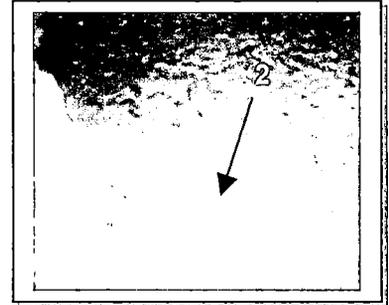
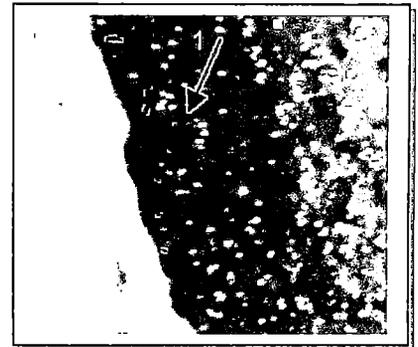


Foto 3.b

Mezcla no segregada.

- Distribución uniforme agregado grueso
- 1.- Presencia de agregado grueso en el perímetro de la torta



EQUIPO:

- ☞ Molde metálico en forma de cono truncado con diámetro superior de 4" e inferior de 8" y altura de 12", similar al utilizado en el ensayo de asentamiento (Cono de Abrams).
- ☞ Mesa de flujo hecho de un material no absorbente de por lo menos 800mm por lado, marcado en el centro para colocar el cono truncado y otra marca a 500 mm de diámetro.
- ☞ Cuchara y plancha.
- ☞ Regla.
- ☞ Cronómetro



Foto 3.c

PROCEDIMIENTO

- 1) Humedecer la mesa de flujo sin dejar agua libre en la superficie.
- 2) Asegurar que dicha superficie se encuentre nivelada y colocar el molde metálico en el centro de la mesa.
- 3) Llenar el molde con la cuchara, sin aplicar ningún tipo de compactación y en una sola capa.
- 4) Luego de llenar totalmente el molde, limpiar los restos de concreto alrededor de la base.
- 5) Levantar el cono verticalmente y permitir que la mezcla fluya libremente.
- 6) Simultáneamente tomar el tiempo desde que se levantó el cono hasta que la mezcla alcanza 500mm. de diámetro.
- 7) Medir el diámetro máximo alcanzado por la mezcla, en dos direcciones perpendiculares, el valor de D_{max} . será el promedio de ambas mediciones.
- 8) Reconocer muestras de segregación en la mezcla de concreto.

(En el anexo 3 se pueden apreciar fotos del procedimiento)

3.2 ENSAYO "CAJA L"

El ensayo de Caja L es también un ensayo ampliamente usado más en laboratorio que en el campo. Evalúa la capacidad de fluir y llenar todos los espacios del encofrado en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos, solo bajo la acción de su propio peso. Solo casos severos de segregación pueden ser notados visualmente en este ensayo.

Varios tipos de Caja L han sido desarrollados, incluso uno que no posee obstáculos. Existe la tendencia a cambiar las dimensiones internas de la caja, la sección del fierro y el espaciamiento entre ellos, adaptándola a las necesidades del proyecto.

El equipo usado consiste de una caja de sección rectangular en forma de L, con una sección vertical y otra horizontal, separados por una compuerta deslizante. A la salida de dicha compuerta se encuentran varillas de acero corrugado colocados de forma vertical a manera de obstáculos. La sección vertical es llenada con concreto, luego se abre la compuerta y se permite que fluya hacia la parte horizontal. Cuando el flujo se ha detenido se miden las alturas alcanzadas por la mezcla al inicio y al final de la sección horizontal de la caja, la relación entre la altura al final de la caja y al inicio se denomina Radio de Bloqueo. En la sección horizontal se marca, a partir de la compuerta, las distancias de 20 y 40 cm. de largo y se toma el tiempo que la mezcla tarda en recorrer dichas distancias.

El radio de bloqueo nos indica la capacidad que tiene la mezcla de fluir y atravesar zonas con alta densidad de obstáculos y además autonivelarse, los tiempos tomados proporcionan información sobre la velocidad de desplazamiento de la mezcla en estos medios.

Las secciones de las barras de acero que sirven como obstáculos y el espaciamiento entre ellas pueden variar dependiendo del nivel de dificultad del proyecto, normalmente se utilizan 3 fierros de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y espaciados 34 mm. una de otra.

La información que puede obtenerse de este ensayo es la siguiente:

- **R.Bloqueo** (Radio de Bloqueo, relación entre las alturas obtenidas en la sección horizontal de la caja L), ver gráfico 3.2(c)
- **T20** (Tiempo que demora la mezcla en recorrer 20 cm. en la sección horizontal de la caja L, medidos a partir de la compuerta), ver gráfico 3.2(a)
- **T40** (Tiempo que demora la mezcla en recorrer 40 cm. en la sección horizontal de la caja L, medidos a partir de la compuerta), ver gráfico 3.2(b)

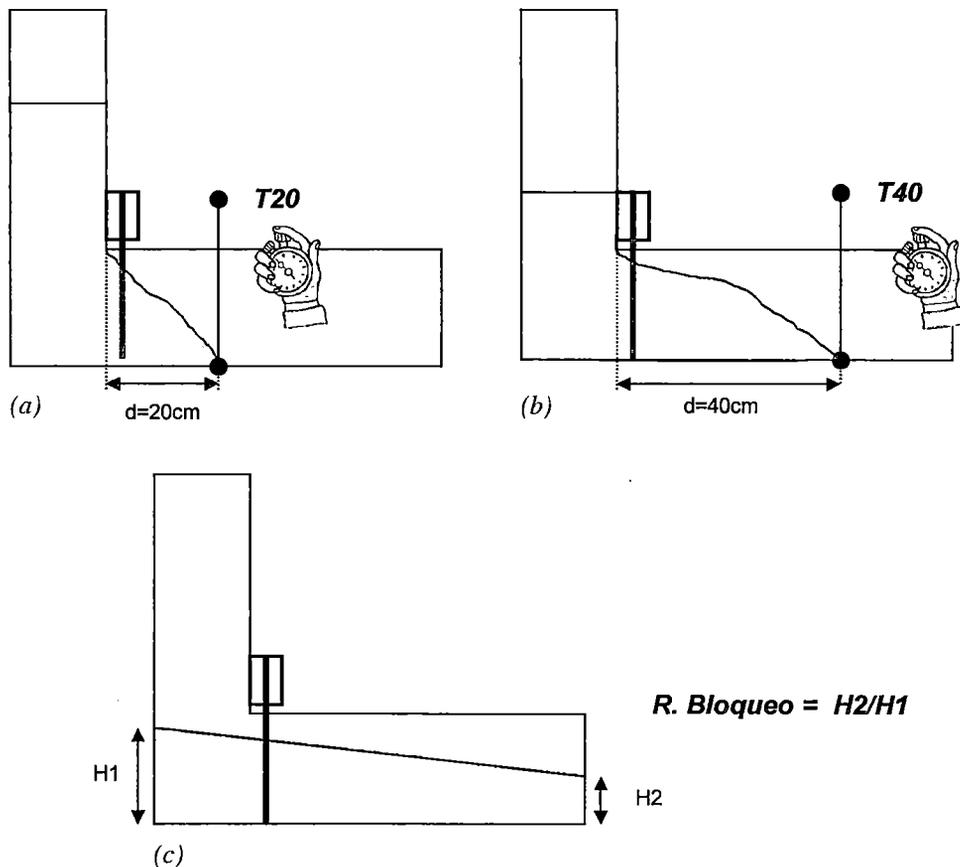


Gráfico 3.2. Ensayo Caja L, (a) Medición del tiempo T20, (b) Medición del tiempo T40, (c) Cálculo del Radio de Bloqueo ($H2/H1$),

Cuando la muestra de concreto tiene una fuerte tendencia a la segregación y/o la cantidad de agregado grueso es grande, es posible que el flujo de concreto se detenga por un bloqueo a la salida de la compuerta.

EQUIPO:

- ☞ Caja L, fabricado de un material no absorbente.
- ☞ Cuchara, balde y plancha.
- ☞ Regla.
- ☞ Cronómetro.

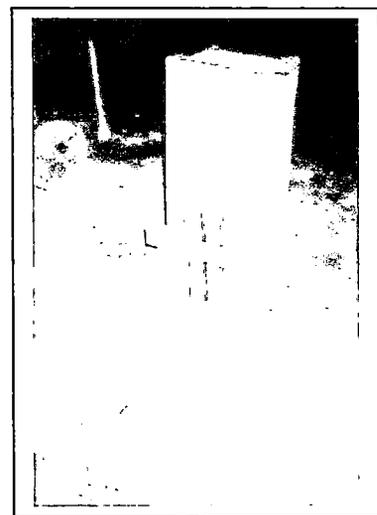


Foto 3.d

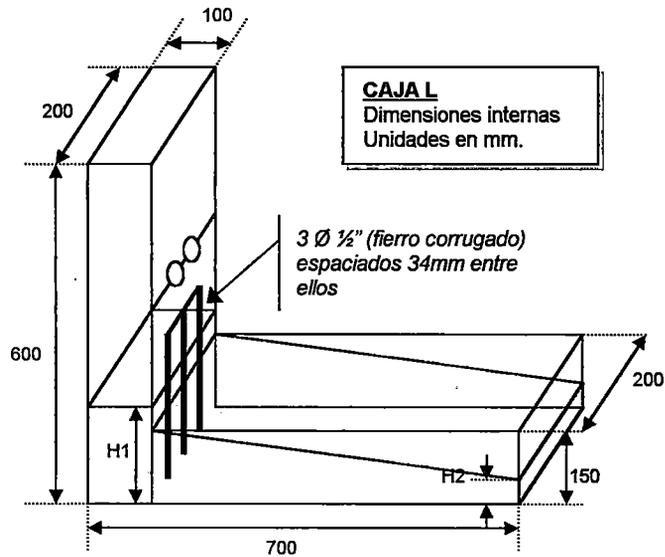


Gráfico 3.3

PROCEDIMIENTO:

- 1) Humedecer la caja L sin dejar agua libre en la superficie.
- 2) Asegurar que dicha caja se encuentre nivelada y cerrar la compuerta que separa la sección vertical de la horizontal
- 3) Llenar con concreto la sección vertical, sin aplicar compactación alguna y en una sola capa.
- 4) Dejar reposar la mezcla por 1 minuto.
- 5) Levantar la compuerta y permitir que la mezcla fluya libremente hacia la sección horizontal.
- 6) Simultáneamente tomar el tiempo desde que se levantó la compuerta hasta que la mezcla recorra 20 y 40 cm. en la sección horizontal.
- 7) Luego que se detenga el flujo del concreto, medir las alturas alcanzadas por la mezcla al inicio y al final de la sección horizontal. Calcular el Radio de Bloqueo.

(En el anexo 3 se pueden apreciar fotos del procedimiento)

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 4

DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezcla es el proceso por el cual se busca obtener la mejor dosificación de los materiales componentes del concreto, para lograrlo se tiene en cuenta los requerimientos técnicos de cada proyecto.

En la actualidad existen numerosos métodos de diseño de concreto, todos ellos con resultados diferentes pues han sido creados en base a experiencias, materiales disponibles y condiciones propias del lugar donde se originó dicho método y que al ser aplicados en otros lugares genera variabilidad en los resultados. Por ello, el método de diseño de concreto que se adopte debe ser usado como referencia o punto de inicio en pruebas que busquen obtener la mezcla de concreto que se ajuste a nuestras necesidades.

4.1 DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRON

El proceso de diseño de mezcla del concreto patrón normal, utilizado en la presente tesis, tuvo como referencia algunas de las recomendaciones proporcionadas por el método de diseño de concreto del ACI, tales como: *Contenido de aire aproximado y la cantidad de agua inicial*.

La óptima proporción de los agregados en la mezcla de concreto se obtuvo en base al criterio de máxima compactación, para ello se realizaron distintas combinaciones de agregado grueso y fino obteniéndose el Peso Unitario Compactado (PUC) de cada una. La combinación que presente el máximo PUC es la que tiene menor cantidad de vacíos ya que puede contener una mayor cantidad de material en el mismo volumen donde fueron ensayadas todas las combinaciones. Los vacíos presentes en la mezcla de agregado serán rellenos por pasta de cemento (agua+cemento), por ello al utilizar la combinación con la menor cantidad de vacíos o máximo PUC se obtendrá una mezcla de concreto con la mínima cantidad de pasta y por lo tanto una mezcla más económica, ya que el cemento es el material más caro de todo concreto normal.

Se busca diseñar mezclas de concreto patrón con relación agua/cemento (*a/c*) en peso de: 0.40, 0.45 y 0.50, y con asentamiento de 3 – 4 pulgadas, valores usuales en los concretos normales fabricados en el Perú y que se fija para la presente investigación.

A continuación se detalla los pasos seguidos en el diseño de mezcla:

PASO 1.- Selección de la combinación de agregado grueso y fino que produzca la mejor compactación.

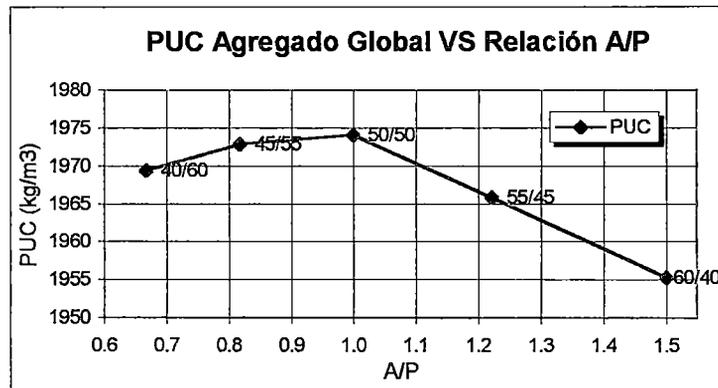
Para lograr dicho objetivo se trabajó utilizando el Peso Unitario Compactado PUC (*ver gráfico 4.1*), para distintas combinaciones de agregado grueso y fino en pasos de 5%. La combinación seleccionada fue la que generó el mayor PUC (menor cantidad de vacíos).

Cuadro 4.1

Mezcla de Agregados				P.U.C. (kg/m ³)
%		A/P		
A	P	A/P	A/P	
40	60	0.67	40/60	1969.4
45	55	0.82	45/55	1972.9
50	50	1.00	50/50	1974.1
55	45	1.22	55/45	1965.9
60	40	1.50	60/40	1955.3

A=Arena
P=Piedra

Gráfico 4.1

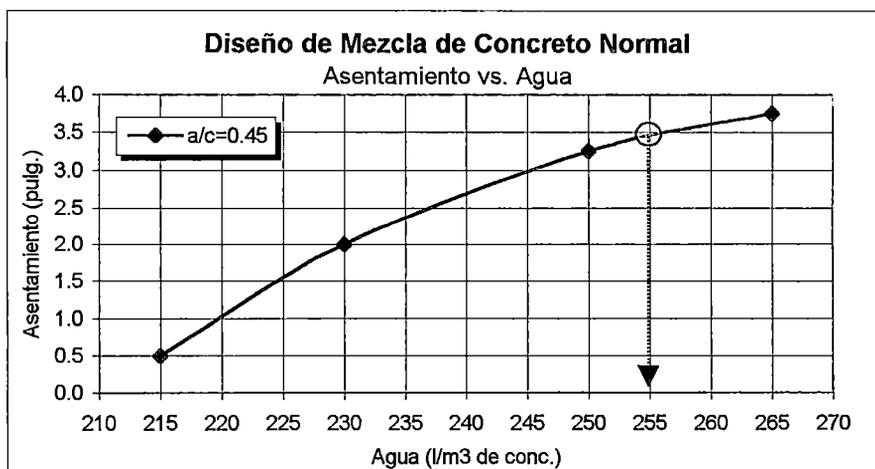


Combinación elegida: ARENA 50% / PIEDRA 50%.

PASO 2.- Con la relación A/P seleccionada (50/50) se procede a encontrar la cantidad de agua necesaria para lograr un asentamiento de 3 ½ pulgadas (valor medio entre 3 y 4.) en la mezcla de concreto. Esto se consigue generando mezclas con igual relación a/c en peso pero distintas cantidades de agua; cada una tendrá un asentamiento distinto que se incrementa a medida que se introduce más agua a la mezcla. El procedimiento de cálculo de las dosificaciones y los datos asumidos inicialmente tales como contenido de aire y agua inicial, se detallan en el anexo 2.3. Con estos datos se genera una curva Asentamiento vs. Agua y con ella se puede hallar fácilmente la cantidad de agua necesaria para obtener el asentamiento requerido.

La primera relación a/c utilizada fue 0.45 generándose la curva del gráfico 4.2. Se puede notar que la cantidad de agua requerida para cumplir el asentamiento es 255 l/m³ de concreto.

Gráfico 4.2



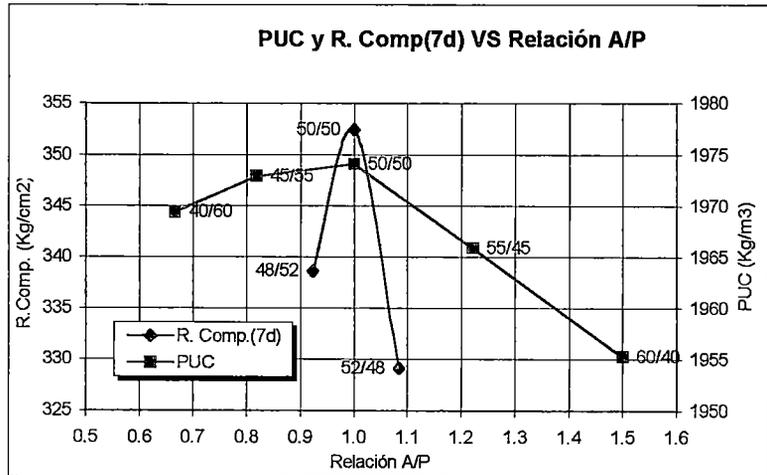
PASO 3.- Luego de hallar la relación A/P y el agua necesaria para obtener un asentamiento de 3 ½ pulg. en una relación a/c en peso de 0.45, se procede a refinar la relación A/P mediante la generación de dos combinaciones adicionales alrededor de la elegida anteriormente pero ahora con pasos de 2%. El criterio para elegir la mejor combinación será la resistencia en compresión de probetas cilíndricas de concreto a los 7 días (ver gráfico 4.3).

Cuadro 4.2

Mezcla de Agregados				
%				P.U.C.
A	P	A/P	A/P	(kg/m ³)
40	60	0.67	40/60	1969.4
45	55	0.82	45/55	1972.9
50	50	1.00	50/50	1974.1
55	45	1.22	55/45	1965.9
60	40	1.50	60/40	1955.3

Mezcla de Agregados				Resist.
%				Comp.7d
A	P	A/P	A/P	(Kg/cm ²)
48	52	0.92	48/52	338.6
50	50	1.00	50/50	352.4
52	48	1.08	52/48	329.1

Gráfico 4.3



Combinación elegida: ARENA 50% / PIEDRA 50%.

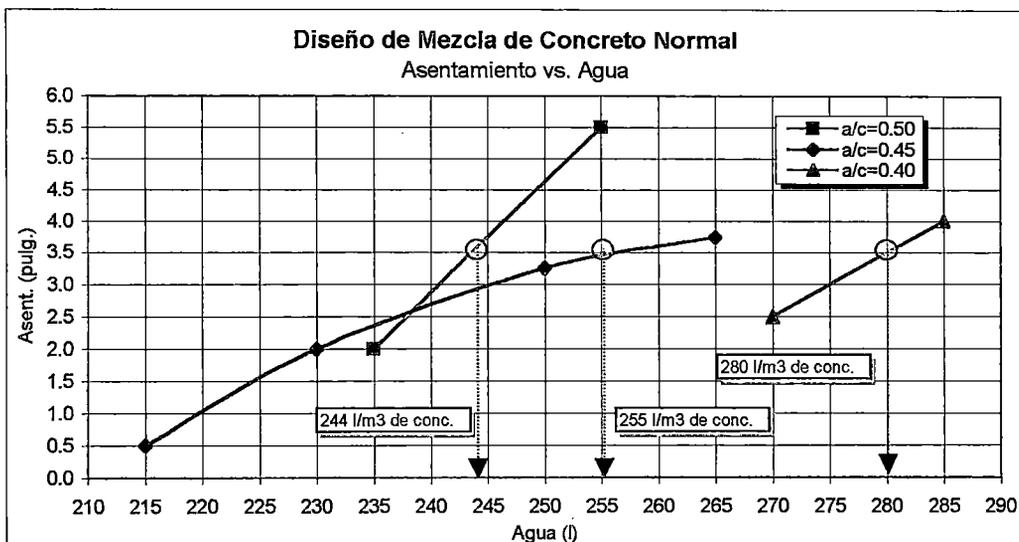
PASO 4.- Con la combinación de agregados fijada A/P = 50/50, se procede a calcular las cantidades de agua necesarias para producir un concreto patrón con el asentamiento deseado en la relaciones a/c=0.40 y 0.50. El procedimiento es el mismo al utilizado para la relación a/c=0.45. Las dosificaciones de las mezclas de prueba y las mezclas definitivas se hallan en el anexo 2.4 y 2.5

Las curvas generadas fueron:

Cuadro 4.3

a/c = 0.45			a/c = 0.50			a/c = 0.40		
Cantidad de Agua (l)	Asentamiento (pulg)		Cantidad de Agua (l)	Asentamiento (pulg)		Cantidad de Agua (l)	Asentamiento (pulg)	
215	0.50	1/2	235	2.00	2	270	2.50	2 1/2
230	2.00	2	255	5.50	5 1/2	285	4.00	4
250	3.25	3 1/4						
265	3.75	3 3/4						

Gráfico 4.4



Cuadro 4.4

Del gráfico 4.4 se puede extraer la cantidad de agua necesaria en 1 m³ de concreto para cada relación agua/cemento:

Relación a/c	Cantidad de Agua
	(l / m ³ de concreto)
0.50	244
0.45	255
0.40	280

PASO 5.- Con la cantidad de agua seleccionada para cada relación agua/cemento se procede a calcular las dosificaciones de los materiales necesarios para la mezcla de concreto patrón normal.

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA (Definitivo)	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Diseño Unitario (kg)
A/C: 0.5 Agua(l): 244	Cemento	488.00	0.155	1.00
	Agua	244.00	0.244	0.50
	Arena	772.06	0.290	1.58
	Piedra	772.06	0.286	1.58
	Aire		0.025	
	TOTAL	2276.12		

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA (Definitivo)	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Diseño Unitario (kg)
A/C: 0.45 Agua(l): 255	Cemento	566.67	0.180	1.00
	Agua	255.00	0.255	0.45
	Arena	723.85	0.272	1.28
	Piedra	723.85	0.268	1.28
	Aire		0.025	
	TOTAL	2269.36		

		DISEÑO SECO		
DISEÑO DE MEZCLA (Definitivo)	Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)	Diseño Unitario (kg)
A/C: 0.4 Agua(l): 280	Cemento	700.00	0.222	1.00
	Agua	280.00	0.280	0.40
	Arena	633.61	0.238	0.91
	Piedra	633.61	0.235	0.91
	Aire		0.025	
	TOTAL	2247.23		

4.2 DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

La presente investigación se basa en el análisis de los patrones de comportamiento de una serie de mezclas fluidas de concreto. En base a dicho análisis se propone un procedimiento para el diseño de mezcla de concretos autocompactantes utilizando cemento Portland tipo I como único material cementante y aportante de material muy fino.

La generación de mezclas fluidas de concreto se agrupó en cuatro partes:

- 1) Mezclas generadas a partir de Concretos Patrones Normales, mediante reducción de agua y con la adición de un aditivo superplastificante.
- 2) Mezcla generadas a partir de Concretos Patrones Normales variando la relación arena/piedra (A/P) , mediante reducción de agua y con la adición de un aditivo superplastificante.
- 3) Mezclas generadas a partir de concretos fluidos creados en las dos secciones anteriores, incrementando el contenido de pasta y manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo.
- 4) Mezclas autocompactantes generadas con el fin de proponer el procedimiento para el diseño de mezcla de concretos autocompactantes, teniendo en cuenta las recomendaciones obtenidas del análisis de las mezclas anteriores y con relaciones a/c similares a los concretos patrones normales.

4.2.1 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS PATRONES NORMALES, MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

En esta sección se analiza la posibilidad de obtener mezclas de concreto autocompactante a partir de concretos patrones normales mediante la adición de un aditivo superplastificante y la reducción de agua cuando se requiera para evitar segregaciones.

Se utilizaron tres concretos patrones de relaciones a/c= 0.50, 0.45 y 0.40 los cuales se hallaron previamente, estos concretos fueron utilizados como referencia en la comparación de las mezclas generadas y los concretos normales. También se utilizaron tres dosificaciones de aditivo superplastificante: 1.2, 1.6 y 2.0 % del peso de cemento

Básicamente el procedimiento de colocación de los materiales y dosificación óptima de agua para evitar segregaciones, fue el siguiente:

- 1.- Se colocan en la mezcladora los materiales del concreto patrón, excepto el agua y el aditivo.
- 2.- Se diluye el aditivo con la dosificación fijada en parte del agua correspondiente al concreto patrón.
- 3.- Se procede a mezclar los materiales secos con parte del agua y el aditivo preparados en el paso 2.

- 4.- Luego de 90 segundos de iniciado el mezclado se incrementa la cantidad de agua en la mezcla hasta obtener aparentemente un concreto muy fluido pero no segregado. El tiempo de mezclado total fue de 4 a 5 minutos.
- 5.- Se apunta la cantidad de agua utilizada.
- 6.- Con la mezcla lista se ejecuta el ensayo de Extensión de Flujo (D_{max} y T50) y la Caja L (Radio de bloqueo, T20 y T40), esperando obtener los siguientes valores para mezclas autocompactantes:
 - $D_{max} > 650 \text{ mm}$
 - $2 < T50 < 5 \text{ seg.}$
 - Radio de Bloqueo > 0.80

Las mezclas generadas fueron A501, A502, A503, A504 y A506 derivadas del concreto patrón normal P50 de relación $a/c=0.50$; además A451, A452, A453, A454, A455, A457, A458 y A459 derivadas del concreto patrón normal P45 de relación $a/c=0.45$; finalmente A401, A402, A403, A404 y A405 derivadas del concreto patrón normal P40 de relación $a/c=0.40$, cuyos resultados se encuentran en los cuadros 6.1.1.a, 6.1.1.b y 6.1.1.c del capítulo 6, respectivamente.

4.2.2 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS PATRONES NORMALES VARIANDO LA RELACION ARENA/PIEDRA (A/P), MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

El objetivo en esta sección es analizar la variación en el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto al cambiar la proporción de arena y piedra. Se buscaba que el incremento en la presencia de arena aportara mayor cantidad de material muy fino y de esa manera se generara incrementos en el contenido de pasta, al mismo tiempo que la disminución en la dosificación de agregado grueso disminuyera la tendencia al bloqueo de la mezcla de concreto

En vista que algunas de las mezclas obtenidas en la sección 4.2.1 pasaban satisfactoriamente el ensayo de Extensión de Flujo, pero mostraban bloqueo en la Caja L, se optó por cambiar la relación A/P de 50/50 a 53/47.

El procedimiento de colocación de materiales en la mezcladora y dosificación óptima de agua para evitar segregaciones, fue similar a la utilizada en la sección 4.2.1.

Las mezclas generadas fueron la A505, A507 y A456, cuyos resultados se muestran en el cuadro 6.1.2.a del capítulo 6.

4.2.3 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS FLUIDOS, INCREMENTANDO EL CONTENIDO DE PASTA Y MANTENIENDO CONSTANTE LA RELACION a/c Y LA DOSIFICACIÓN DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

En esta sección se analiza los cambios en el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto cuando se incrementa el contenido de pasta manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo. Para ello se analizaron dos mezclas derivadas, la primera, de un concreto

que cumplía el ensayo de extensión de flujo pero que presentaba bloqueo en la Caja L (A502) y la segunda, de una mezcla que ya era autocompactante (A454) pues había aprobado los dos ensayos anteriormente citados.

Las mezclas generadas fueron A502-1 derivada de la mezcla fluida A502; y la mezcla A454-1 derivada de la mezcla fluida A454, cuyos resultados se encuentran en el cuadro 6.1.3.a del capítulo 6.

4.2.4 MEZCLAS AUTOCOMPACTANTES GENERADAS CON EL FIN DE PROPONER EL PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES, TENIENDO EN CUENTA LAS RECOMENDACIONES OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS ANTERIORES Y CON RELACIONES a/c SIMILARES A LOS CONCRETOS PATRONES NORMALES.

Luego de obtener varias mezclas de concreto autocompactante en las secciones anteriores y entender como se genera y cual es el comportamiento característico de éstas, se necesitaba obtener algunas de ellas con relaciones a/c similares a la de los concretos patrones normales, de tal manera de poseer un rango amplio de mezclas de concreto autocompactante con relaciones a/c entre 0.50 y 0.336, y de esa manera poder estudiar las posibles tendencias y proponer algún procedimiento de diseño de mezcla.

Las mezclas adicionales de concreto autocompactante que fueron generadas son CAC50 y CAC40, sus resultados se encuentran en el cuadro 6.1.4.a del capítulo 6.

4.2.5 PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

Con el total de mezclas autocompactantes se generan dos curvas (*gráficos 4.5 y 4.6*) que proporcionan información sobre la relación a/c y la cantidad de cemento aproximada necesaria para generar concretos autocompactantes de una resistencia dada.

Las mezclas autocompactantes utilizadas para proponer el diseño de mezcla son: A458, A454, CAC40, A502-1 o CAC44 y CAC50.

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA A458	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C: 0.336	Cemento	0.1905	600.007
Aditivo: 2.00%	Agua	0.2013	201.317
	Arena	0.2878	766.436
	Piedra	0.2841	766.436
	Aditivo	0.0113	12.000
Agua usada: 201.3 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2346.197

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA A454	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C: 0.36	Cemento	0.1881	592.462
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2133	213.282
	Arena	0.2841	756.798
	Piedra	0.2806	756.798
	Aditivo	0.0089	9.479
Agua usada: 213.3 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2328.819

DISEÑO DE MEZCLA CAC50		DISEÑO SECO		
		Material	Volumen Absoluto x 1m ³ (m ³)	Peso Seco x 1m ³ (kg)
A/C:	0.50	Cemento	0.1746	550.000
Aditivo:	1.20%	Agua	0.2750	275.000
		Arena	0.2612	695.790
		Piedra	0.2579	695.790
		Aditivo	0.0062	6.600
Agua usada:		Aire	0.0250	0.000
275.0 l		TOTAL	1.0000	2223.180

DISEÑO DE MEZCLA CAC40		DISEÑO SECO		
		Material	Volumen Absoluto x 1m ³ (m ³)	Peso Seco x 1m ³ (kg)
A/C:	0.40	Cemento	0.1865	587.500
Aditivo:	1.20%	Agua	0.2350	235.000
		Arena	0.2752	732.874
		Piedra	0.2717	732.874
		Aditivo	0.0067	7.050
Agua usada:		Aire	0.0250	0.000
235.0 l		TOTAL	1.0000	2295.299

DISEÑO DE MEZCLA A502-1, CAC44		DISEÑO SECO		
		Material	Volumen Absoluto x 1m ³ (m ³)	Peso Seco x 1m ³ (kg)
A/C:	0.44	Cemento	0.1804	568.409
Aditivo:	1.20%	Agua	0.2501	250.100
		Arena	0.2707	721.049
		Piedra	0.2673	721.049
		Aditivo	0.0064	6.821
Agua usada:		Aire	0.0250	0.000
250.1 l		TOTAL	1.0000	2267.429

El procedimiento de diseño de mezcla es el siguiente (ver diagrama de flujo):

- 1) Se elige la resistencia en compresión a los 7 días del concreto, requerida por el proyecto.
- 2) Con la resistencia a los 7 días como dato, se utiliza el gráfico 4.5 para generar la relación agua/cemento (a/c) correspondiente a dicha resistencia.
- 3) Luego con la relación a/c se obtiene, utilizando el gráfico 4.6, la cantidad aproximada de cemento necesaria para generar una mezcla de concreto autocompactante con dicha relación a/c.
- 4) Con la relación a/c y la cantidad de cemento fijada se puede calcular la cantidad de agua
- 5) La dosificación de aditivo se obtiene dependiendo de la relación a/c con la que se trabaja, se recomienda que para relaciones a/c entre 0.50 y 0.40 se utilice 1.2% de dosificación de aditivo, relaciones cercanas a 0.36 se dosifique 1.6% y relaciones menores a 0.336 trabajen con 2.0% de aditivo.

- 6) Luego de obtener las dosificaciones del cemento, agua y aditivo, se puede calcular el volumen de pasta presente en la mezcla de concreto para 1 m^3 de mezcla, el volumen restante (1-Vol. Pasta) será ocupado por los agregados. La dosificación de los agregados se puede calcular en función del volumen total que ocuparán y de la relación arena/piedra (A/P) que se establece por el método más conveniente para el diseño de mezcla.

- 7) Con todas las dosificaciones de materiales en seco y corregidos por humedad, se procede a someter la mezcla de concreto a los ensayos de Extensión de Flujo y Caja L, luego pueden ocurrir dos situaciones:
 - 7.1) Si la mezcla aprueba los ensayos, se continua con el siguiente paso.

 - 7.2) Si la mezcla no aprueba los ensayos, entonces se procede a incrementar el contenido de pasta y/o dosificación de aditivo, manteniendo constante la relación a/c, hasta que ella muestre un comportamiento autocompactante en los ensayos.

- 8) Luego que la mezcla aprueba los ensayos anteriormente citados, se procede a obtener la resistencia a la compresión del concreto endurecido. Si la mezcla arroja un resultado igual o mayor al esperado, entonces el diseño de mezcla terminó, si por el contrario la resistencia fue menor a la esperada, entonces se procede a disminuir la relación a/c y repetir los pasos a partir del número 3.

Nota: a) Si la mezcla muestra indicios de segregación, entonces se recomienda disminuir la dosificación de aditivo.

Gráfico 4.5

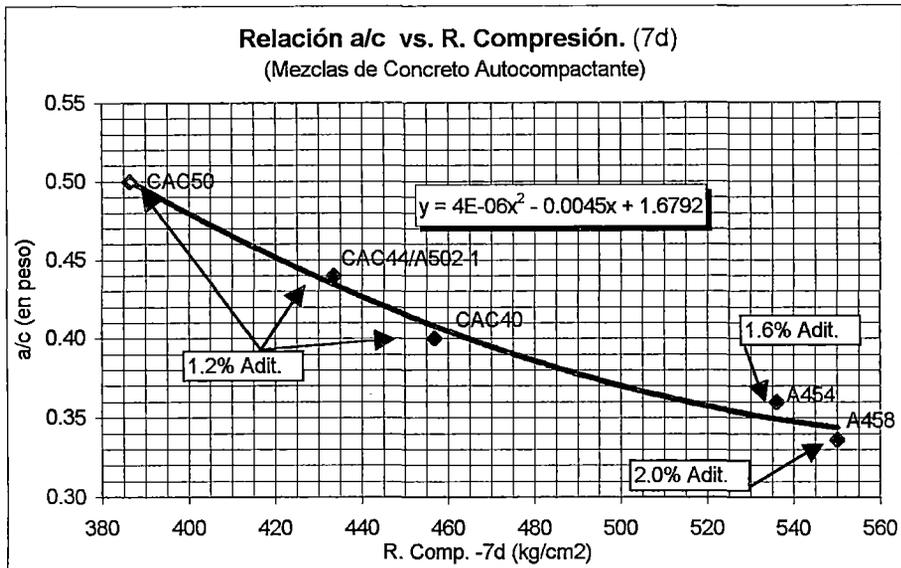


Gráfico 4.6

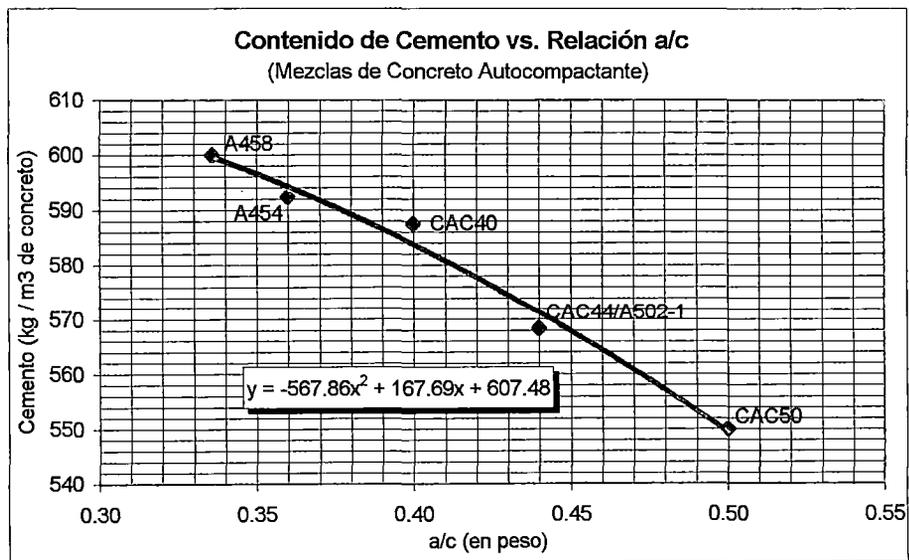
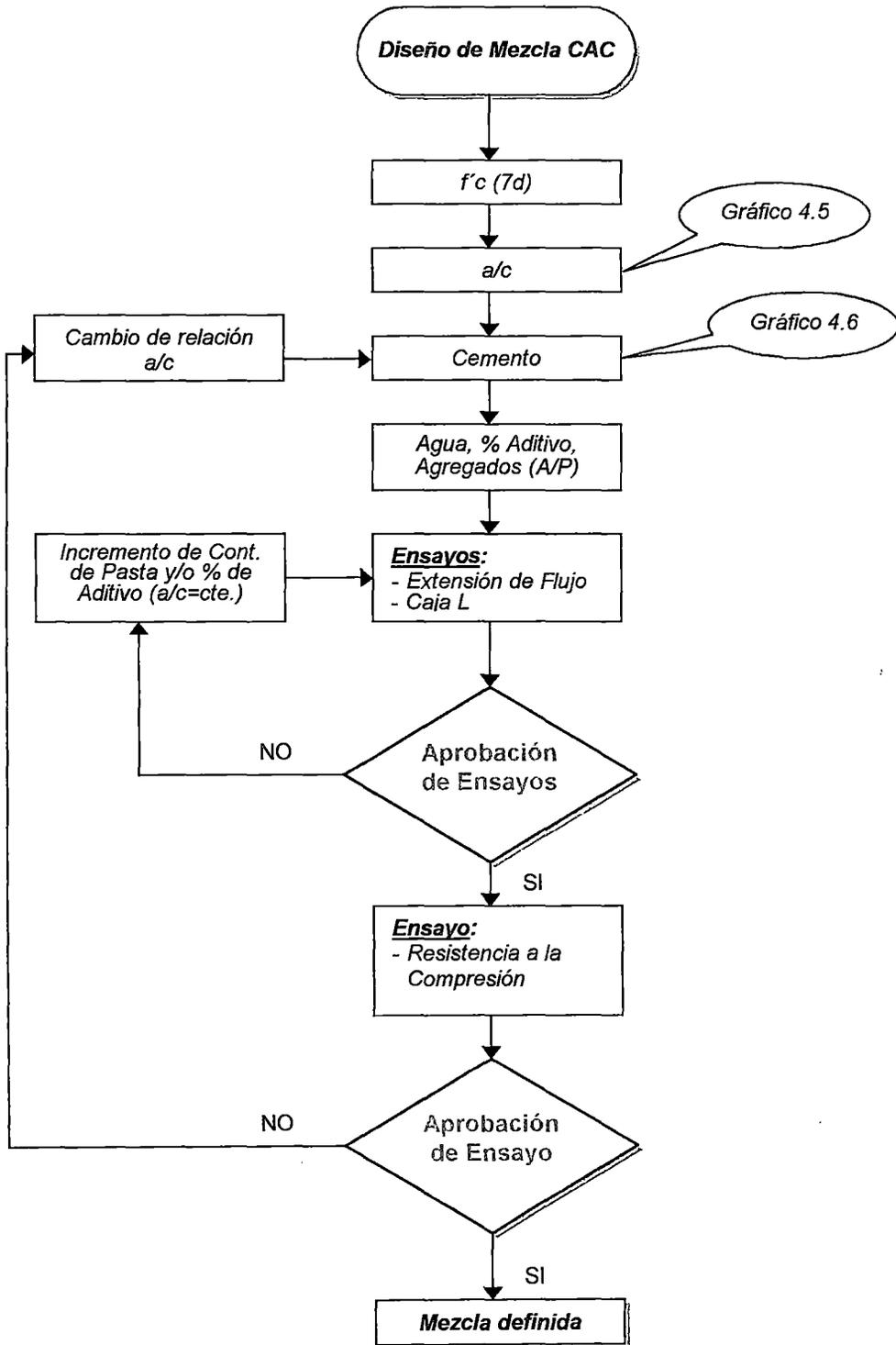


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE



POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 5

**PROPIEDADES DEL CONCRETO AL
ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO**

A continuación se presenta una breve explicación de cada una de las propiedades que fueron analizadas en las mezclas fluidas de concreto A502, A454 y A403 tanto al estado fresco como endurecido, dichas propiedades generalmente son medidas para los concretos normales y que en esta investigación se miden a los concretos fluidos. El ensayo de Extensión de Flujo y Caja L que miden la capacidad de deformación y resistencia al bloqueo de las mezclas fluidas de concreto son explicadas en el capítulo 3.

Con el fin de comprobar la autocompactación de estas mezclas y además la variación en el comportamiento de las mismas al aplicar compactación externa o no, se ensayó cada una de dos maneras: la primera siguiendo las normas ya establecidas y la segunda eliminando todo tipo de compactación inducida. Los ensayos en los que se trabajó de esa forma son: Peso Unitario, Contenido de Aire, Exudación y las probetas en los ensayos de Compresión, Tracción, Módulo de Elasticidad y Absorción. En el ensayo de Consistencia la compactación normal se dio para los concretos patrones normales, mientras que en los concretos fluidos se realizó el ensayo de Extensión de Flujo, ensayo en el cual se elimina todo tipo de consolidación inducida.

5.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO FRESCO

5.1.1 CONSISTENCIA (NTP 339.035, ASTM C143)

Se denomina consistencia a la resistencia que opone una mezcla de concreto a sufrir deformaciones y se mide mediante el Ensayo de Asentamiento o Slump en el "Cono de Abrams", prueba sencilla que se puede realizar tanto en laboratorio como en el campo y consiste en llenar un recipiente troncocónico en tres capas de igual volumen compactadas cada una de ellas con 25 golpes de varilla lisa metálica normada, luego se procede a levantar dicho recipiente y se mide el asentamiento o descenso que sufrió la mezcla con respecto a la altura del cono.

La consistencia es uno de los principales indicadores de trabajabilidad de los concretos, pero no el único, por ejemplo pueden existir dos mezclas de igual consistencia (asentamiento) pero no necesariamente de igual trabajabilidad, porque pueden tener distinta viscosidad e incluso resistencia a la segregación.

El ensayo de asentamiento es usado como herramienta para el diseño de mezcla de concretos normales y concretos de alto desempeño, la búsqueda de un asentamiento fijo para una resistencia mecánica dada, se logra mediante cambios en la dosificación de la mezcla de concreto hasta lograr el objetivo deseado.

Por la consistencia los concretos pueden agruparse como:

Consistencia	Asentamiento
Rígidos	< 2"
Plásticos	2 – 4 "
Blandos	4 – 6 "
Fluidos	> 6 "

En concretos de consistencia normal (plásticos y blandos), es común medir solamente los asentamientos, sin embargo en mezcla fluidas, además del asentamiento, también se mide la extensión que alcanzó el flujo de la mezcla (gráfico 5.1).

El único inconveniente del ensayo de asentamiento es que no tiene en cuenta el tiempo que tarda la mezcla de concreto en asentarse totalmente, la velocidad de deformación, que indirectamente nos da una idea de la viscosidad de la mezcla, es un dato importante al momento de diseñar mezclas de concreto especiales.

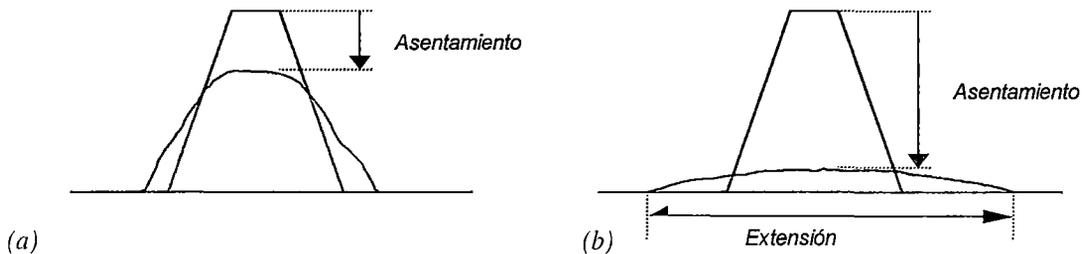


Gráfico 5.1. (a) Medición del asentamiento en concretos de consistencia normal, (b) Medición del asentamiento y extensión de flujo en concretos fluidos.

5.1.2 PESO UNITARIO (NTP 339.046, ASTM C138)

El peso unitario de un concreto es la relación entre el peso de un concreto fresco compactado y el volumen del recipiente que lo contiene, es decir nos indica cual es el peso del concreto por unidad de volumen. El procedimiento de dicho ensayo es muy simple se compacta una muestra de concreto fresco de la misma manera que en el ensayo de asentamiento en un recipiente normado, posteriormente se pesa dicha muestra y se divide el peso de ésta entre el volumen del recipiente.

El peso unitario real del concreto generalmente no es igual al peso unitario teórico obtenido del diseño de mezcla, por lo tanto este ensayo es una manera de controlar la uniformidad del concreto y de sus materiales componentes.

5.1.3 CONTENIDO DE AIRE (NTP 339.046, ASTM C138)

El contenido de aire de un concreto indica la cantidad de vacíos presentes internamente en toda la masa de concreto. El método de gravimétrico fue el usado para hallar el contenido de aire, para ello se utiliza los pesos unitarios reales (obtenidos por ensayo) y teóricos (obtenido del diseño de mezcla), y por comparación de volúmenes obtenidos se tiene el contenido de aire de la mezcla de concreto.

5.1.4 EXUDACION (NTP 339.077, ASTM C232)

La exudación del concreto es aquel tipo de segregación por el cual parte del agua utilizada en el diseño de mezcla asciende a la superficie del concreto recién colocado.

En las mezclas de concreto, si el agua de exudación es abundante entonces el recorrido de este material desde el interior de la mezcla hasta la superficie expuesta del concreto fresco provocará una mezcla porosa y débil, llena de vacíos y poco durable. Por el contrario si el agua de

exudación es escasa y la tasa de evaporación del agua en el medio ambiente en que se trabaja es mayor a la tasa de exudación del concreto, entonces se generarán superficies secas y con ello grietas por contracción en el concreto.

El porcentaje y la tasa de exudación en los concretos normales es mayor si se compara con los concretos de alto desempeño que han sufrido reducciones de agua para lograr relaciones a/c más bajas y con ello resistencias mecánicas más altas, por ello en los concretos de alto desempeño el proceso de curado debe ser más cuidadoso que en los concretos normales pues la probabilidad de sufrir contracciones por secado es mayor.

El procedimiento de cálculo del porcentaje de exudación es muy simple, en un recipiente normado se coloca una muestra de concreto fresco, y se va tomando las cantidades de agua que exuda a intervalos de tiempo determinados para obtener la tasa de exudación, con el total de agua exudada se calcula el porcentaje total de agua de exudación con respecto a la masa inicial del concreto.

5.1.5 TIEMPO DE FRAGUADO (NTP 339.082, ASTM C403)

Las mezclas de concreto mantienen su trabajabilidad durante cierto tiempo luego del cual empiezan a perder esa plasticidad que las caracteriza, a ese proceso se denomina fragua del concreto y el tiempo en el que se desarrolla está caracterizado por: el Tiempo de Fragua Inicial, tiempo en el cual el concreto empieza a perder la plasticidad que la caracteriza; y el Tiempo de Fragua Final, en el que la mezcla de concreto ya perdió toda capacidad de deformación.

Este ensayo es muy importante porque le da al constructor el tiempo que dispone para el proceso de vaciado y acabado del concreto, los resultados obtenidos serían de mucha ayuda en las discusiones comunes de obra entre el supervisor y el contratista sobre la habilidad del concreto luego de transcurrido el tiempo especificado, generados básicamente por el desconocimiento del comportamiento de dicho concreto.

Tanto el tiempo de fragua inicial como el final son hallados mediante un ensayo que consiste calcular la resistencia a la penetración de agujas metálicas con áreas definidas en muestras de concreto fresco. Para dos resistencias fijas, se obtienen los tiempos de fragua.

5.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

5.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034, ASTM C39)

La resistencia a la compresión del concreto es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin agrietarse o romperse, es la propiedad más característica del concreto y que además define su calidad. Se determina mediante ensayos de probetas cilíndricas normales de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, moldeadas y curadas de acuerdo a norma y que son sometidas a compresión axial en máquinas especiales de laboratorio, según el grafico 5.2(a).

La resistencia en general del concreto aumenta conforme pasa el tiempo y depende principalmente del contenido de humedad que tiene durante ese tiempo. Se sabe que la resistencia a la compresión es función de la relación agua/cemento principalmente, por ello la

búsqueda de resistencias elevadas y con ello mayor durabilidad, involucra obtener relaciones a/c más bajas.

5.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (NTP 339.084, ASTM C496)

El concreto también posee resistencia a la tracción, sin embargo por su bajo valor comparado con la resistencia a la compresión no es considerado para los diseños estructurales en concreto, dicha función la toma el refuerzo de acero. Esta resistencia se determina indirectamente por medio de una compresión diametral, utilizando la misma probeta de concreto de 15 x 30 cm. y la máquina de compresión, según el gráfico 5.2(b)

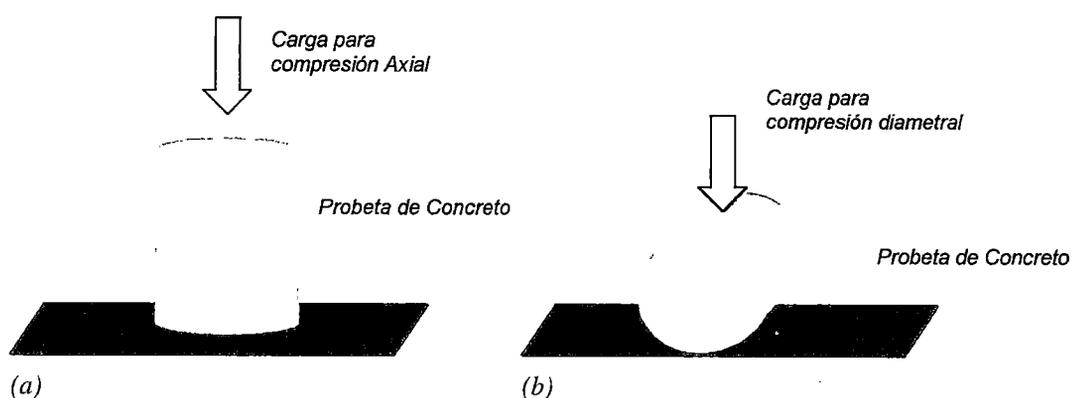


Gráfico 5.2. (a) Aplicación de carga en el ensayo de Resistencia a la Compresión, (b) Aplicación de carga en el ensayo de Resistencia a la Tracción por compresión diametral

5.2.3 MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C469)

El módulo de elasticidad es una medida de las propiedades elásticas del concreto, también es un indicador de su rigidez. Como el concreto no es un material linealmente elástico, no presenta en ningún momento algún tramo recto (ley de Hooke), por lo tanto el denominado "Módulo de Elasticidad del Concreto" es simplemente la pendiente de la secante a la curva esfuerzo – deformación desde el origen a un punto de esfuerzo determinado (40% de la resistencia a la compresión).

Para determinar el módulo de elasticidad se utilizó el método de los Niveles Ópticos cuyo equipo característico son los "Espejos de Martens". El procedimiento consiste en obtener lecturas de la deformación que sufre una probeta de concreto, similar a las usadas en los ensayos de compresión y tracción por compresión diametral, esta lectura se obtiene en los espejos del equipo de Martens al aplicar una carga de compresión axial.

5.2.4 ABSORCIÓN (ASTM C642-90)

Es la propiedad de los concretos endurecidos por la cual absorben fluidos del medio que los rodea, esta absorción de fluidos es un indicador de durabilidad de los concretos, porque la mayor

absorción de estos materiales indica que se tiene un concreto muy permeable y en el que pueden ingresar fácilmente sales, sulfatos y otros materiales muy dañinos para el concreto, desde el medio que lo rodea.

El procedimiento para medir dicha absorción utiliza agua y consiste en obtener el peso seco de una muestra de concreto endurecido, para luego sumergir dicha muestra en un recipiente con agua hasta lograr peso constante, después se compara el peso de agua absorbido con el peso seco de la misma muestra y así se obtiene el porcentaje de agua absorbida por el concreto. La muestra de concreto fue una probeta cilíndrica de 10 cm de diámetro y 20cm. de altura.

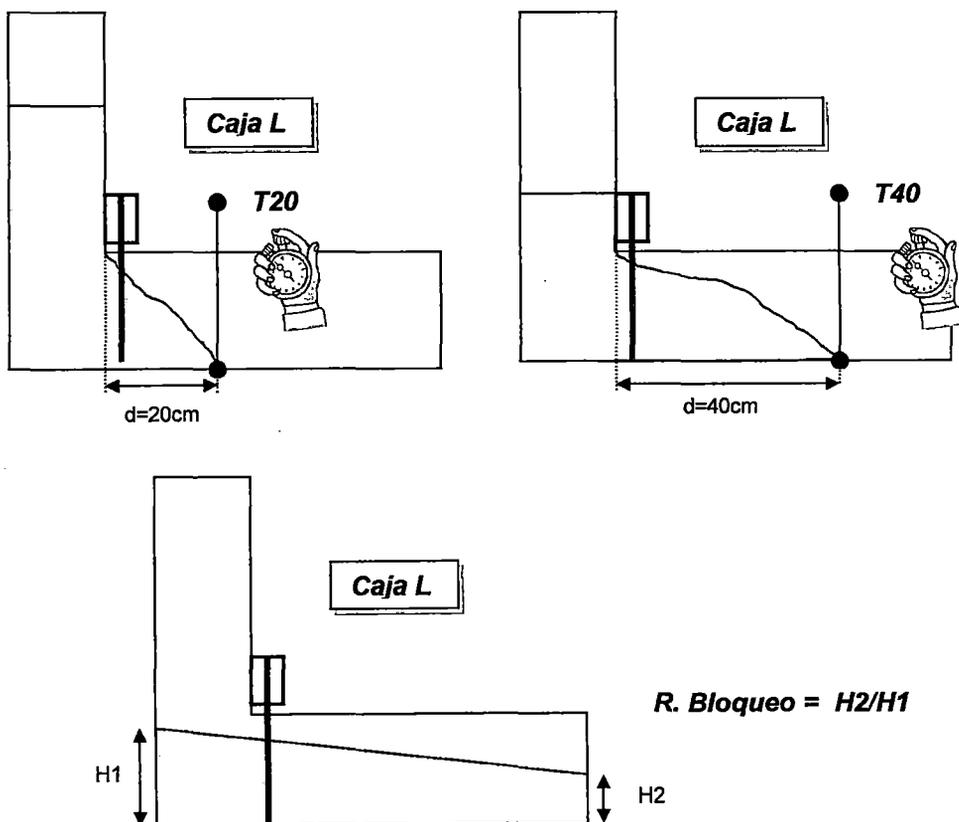
POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 6

CUADROS DE RESULTADOS Y GRAFICOS

- Dmax.** Diámetro máximo obtenido por la mezcla fluida de concreto en el ensayo de Extensión de Flujo. Mide la capacidad de fluir de la mezcla de concreto en un medio libre. Equipo Cono de Abrams.
- T50.** Tiempo que demora la mezcla fluida de concreto en alcanzar 50 cm de diámetro en el ensayo de Extensión de Flujo. Mide el tiempo de desplazamiento de la mezcla de concreto en un medio libre, además proporciona información sobre la velocidad y viscosidad del concreto. Equipo Cono de Abrams.
- R. Bloqueo** Radio de Bloqueo resultante de la relación entre alturas alcanzadas por la mezcla en la sección horizontal de la Caja L. Mide la capacidad de deformarse, atravesar obstáculos y autonivelarse en zonas con alta densidad de refuerzo de acero y/o obstáculos (medio restringido). Equipo Caja L.
- T20** Tiempo que demora la mezcla fluida de concreto en alcanzar 20cm. de recorrido en la sección horizontal de la Caja L, medidos a partir de la compuerta que divide la sección vertical de la horizontal. Mide el tiempo de desplazamiento de la mezcla de concreto en un medio restringido, además proporciona información sobre la velocidad del concreto en dicho medio. Equipo Caja L
- T40** Tiempo que demora la mezcla de concreto fluido en alcanzar 40cm. de recorrido en la sección horizontal de la Caja L y medidos a partir de la compuerta que divide la sección vertical de la horizontal. Mide el tiempo de desplazamiento de la mezcla de concreto en un medio restringido, además proporciona información sobre la velocidad del concreto en dicho medio. Equipo Caja L



Asentamiento Asentamiento o Slump medido en el ensayo del Cono de Abrams.

a/c Relación agua/cemento en peso

A/P Relación arena/piedra en peso

La presente investigación se divide en dos partes:

La primera sección realiza el análisis de la variación en el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto y la tendencia que éstas tenían hacia la autocompactación, de esa manera se podía generar un procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes y al mismo tiempo tener una idea más clara de cómo funcionan y como se hacen estos concretos. Para ello se generaron una serie de mezclas fluidas derivadas de concretos patrones normales de relación $a/c = 0.50, 0.45$ y 0.40 , mediante reducción de agua y adicionando un aditivo superplastificante (Sika Viscocrete1- Policarboxilato modificado) , luego se varió la relación arena/piedra y finalmente se analizaron los cambios en el comportamiento de las mezclas al variar el contenido de pasta. Estas mezclas fueron sometidas a dos ensayos para medir sus propiedades autocompactantes: Ensayo de Extensión de Flujo y Caja L, ambos especiales para estos tipos de concreto. Las variaciones en la capacidad de fluir y deformarse (D_{max} y R. Bloqueo) tanto en un medio libre como en un medio restringido, además de los tiempos de desplazamiento en dichos medios (T50, T20 y T40), son analizados y los resultados presentados en este capítulo.

La segunda sección desarrolla el estudio de la variación en las propiedades de 3 mezclas fluidas de concreto, tanto al estado fresco como al estado endurecido. El objetivo principal era comprobar la autocompactación de las mezclas fluidas comparando los resultados obtenidos en mezclas ensayadas según los procedimientos normados con otras en las cuales se eliminó toda forma de compactación inducida. También se compararon las mezclas fluidas escogidas con los concretos patrones normales que las originaron. Los concretos fueron sometidos a los ensayos de: peso unitario, contenido de aire, porcentaje de exudación, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y a la tracción del concreto endurecido, módulo de elasticidad y porcentaje de absorción, además los ensayos extensión de flujo y caja L, cuyos procedimientos de ensayo eliminan toda forma de compactación, también fueron ejecutados pero solo para los concretos fluidos.

A continuación se presenta los resultados obtenidos:

6.1 COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS FLUIDAS DE CONCRETO

6.1.1 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS PATRONES NORMALES MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

6.1.1.a Cuadro: Resumen de mezclas generadas a partir del concreto patrón a/c=0.50

Mezcla		P50	A501	A502	A503	A504	A506
Arena/Piedra (peso)		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
Agua/Cemento inicial (peso)		0.50					
Aditivo (% del peso de cemento)		-	1.20%		1.60%		2.00%
Agua (l / m3 de conc.)		244.0	225.7	220.1	211.4	197.4	187.6
Reducción de agua (%)		-	7.5	9.8	13.4	19.1	23.1
Agua/Cemento final (peso)		0.500	0.455	0.440	0.419	0.384	0.361
Agua/Cemento final (vol.)		1.575	1.432	1.386	1.319	1.210	1.139
Cemento (kg / m3 de conc.)		488.0	496.4	500.2	504.7	513.9	519.1
Cemento (m3 / m3 de conc.)		0.155	0.158	0.159	0.160	0.163	0.165
Pasta (m3 / m3 de conc.)		0.399	0.389	0.385	0.379	0.368	0.362
Extensión de Flujo	Dmax(mm)	-	705	655	730	655	680
	T50 (seg)	-	2	2	2	6	8
	Segregación (*)	-	2	0	2	0	0
	Acumulación de piedra en el centro	-	x	-	x	-	-
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	x	-	x	-	-
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	-	0.38	0.33	0.22	-	-
	T20 (seg)	-	3	3	2	13	10
	T40 (seg)	-	7	6	8	-	25
	Bloqueo (*)	-	2	2	2	3	3

Notas: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

- Las mezclas con denominación A501...A506 fueron obtenidas partiendo del concreto patrón a/c=0.50, utilizando aditivo superplastificante y con reducción de agua.
- La mezcla con denominación P50 es el concreto patrón de relación a/c=0.50

6.1.1.b Cuadro: Resumen de mezclas generadas a partir del concreto patrón a/c=0.45

Mezcla		P45	A451	A452	A453	A454	A455	A457	A458	A459
Arena/Piedra (peso)		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
Agua/Cemento inicial (peso)		0.45								
Aditivo (% del peso de cemento)		-	1.20%			1.60%			2.00%	
Agua (l / m3 de conc.)		255.0	225.1	214.1	223.3	213.3	202.6	209.3	201.3	187.1
Reducción de agua (%)		-	11.7	16.0	12.4	16.4	20.5	17.9	21.1	26.6
Agua/Cemento final (peso)		0.450	0.385	0.361	0.382	0.360	0.337	0.352	0.336	0.306
Agua/Cemento final (vol.)		1.417	1.212	1.136	1.203	1.134	1.062	1.110	1.057	0.965
Cemento (kg / m3 de conc.)		566.7	585.0	593.5	584.7	592.5	600.8	593.8	600.0	611.0
Cemento (m3 / m3 de conc.)		0.180	0.186	0.188	0.186	0.188	0.191	0.189	0.190	0.194
Pasta (m3 / m3 de conc.)		0.435	0.417	0.409	0.418	0.410	0.402	0.409	0.403	0.393
Extensión de Flujo	Dmax(mm)	-	760	745	790	790	700	795	775	695
	T50 (seg)	-	3	3	3	2	5	5	4	9
	Segregación (*)	-	0	0	3	0	0	2	0	0
	Acumulación de piedra en el centro	-	-	-	x	-	-	x	-	-
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	-	0.33	0.10	0.07	0.85	0.50	0.81	0.85	0.23
	T20 (seg)	-	1	3	4	2	4	4	3	10
	T40 (seg)	-	3	10	12	6	8	9	7	21
	Bloqueo (*)	-	2	2	2	0	1	0	0	2

Nota: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

- Las mezclas con denominación A451...A459 fueron obtenidas partiendo del concreto patrón a/c=0.45, utilizando aditivo superplastificante y con reducción de agua.
- La mezcla con denominación P45 es el concreto patrón de relación a/c=0.45

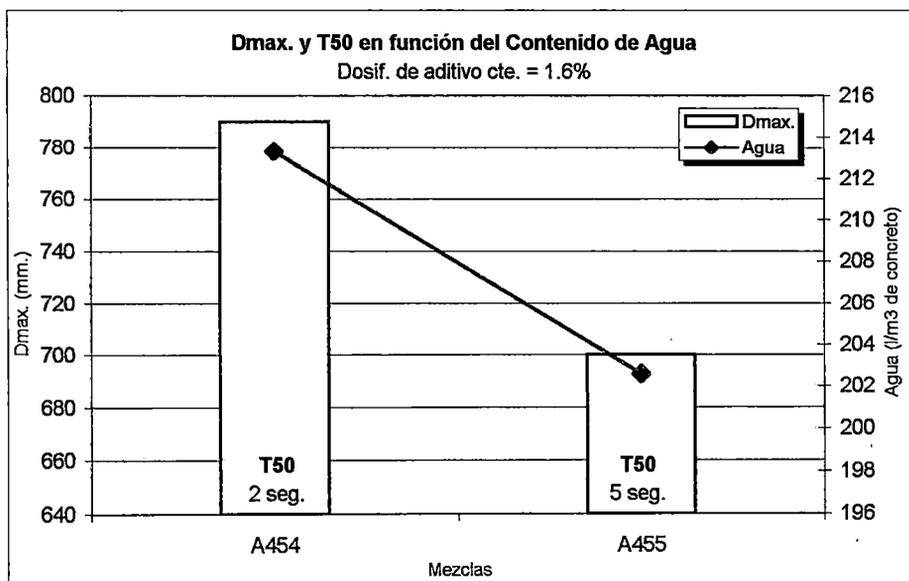
6.1.1.c Cuadro: Resumen de mezclas generadas a partir del concreto patrón a/c=0.40

Mezcla		P40	A401	A402	A403	A404	A405
Arena/Piedra (peso)		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
Agua/Cemento inicial (peso)		0.40					
Aditivo (% del peso de cemento)		-	1.20%	1.60%		2.00%	
Agua (l / m3 de conc.)		280.0	237.6	228.5	219.9	221.9	216.7
Reducción de agua (%)		-	15.1	18.4	21.5	20.8	22.6
Agua/Cemento final (peso)		0.400	0.324	0.308	0.293	0.298	0.289
Agua/Cemento final (vol.)		1.260	1.019	0.972	0.924	0.939	0.911
Cemento (kg / m3 de conc.)		700.0	734.3	740.7	749.2	744.3	749.4
Cemento (m3 / m3 de conc.)		0.222	0.233	0.235	0.238	0.236	0.238
Pasta (m3 / m3 de conc.)		0.502	0.479	0.475	0.469	0.472	0.469
Extensión de Flujo	Dmax(mm)	-	715	810	755	815	865
	T50 (seg)	-	5	6	6	3	5
	Segregación (*)	-	0	1	0	2	0
	Acumulación de piedra en el centro	-	-	x	-	x	-
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	-	-	-	x	-
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	-	0.81	0.75	0.95	0.56	0.90
	T20 (seg)	-	3	3	4	5	5
	T40 (seg)	-	8	8	10	11	10
	Bloqueo (*)	-	0	0	0	1	0

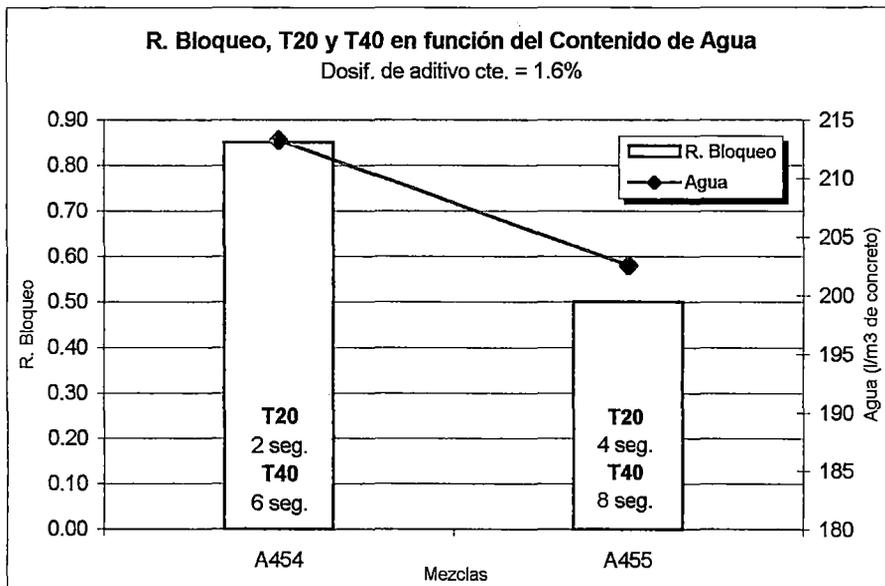
Nota: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

- Las mezclas con denominación A401...A405 fueron obtenidas partiendo del concreto patrón a/c=0.40, utilizando aditivo superplastificante y con reducción de agua.
- La mezcla con denominación P40 es el concreto patrón de relación a/c=0.40

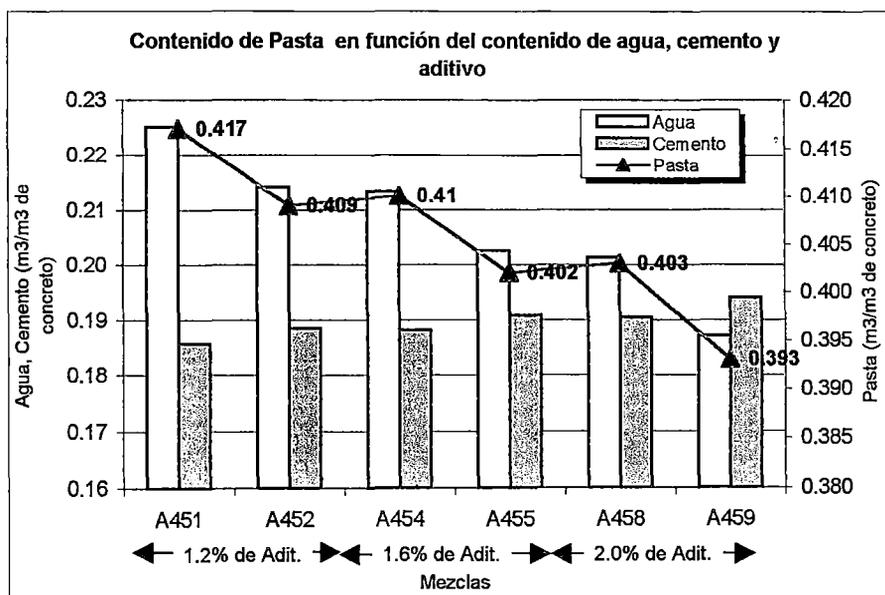
6.1.1.d Gráfico: Capacidad de fluir (Dmax.) y tiempo de desplazamiento (T50) del concreto en un medio libre, en función del contenido de agua, manteniendo constante la dosificación de aditivo.
(Ensayo de extensión de flujo - Equipo Cono de Abrams).



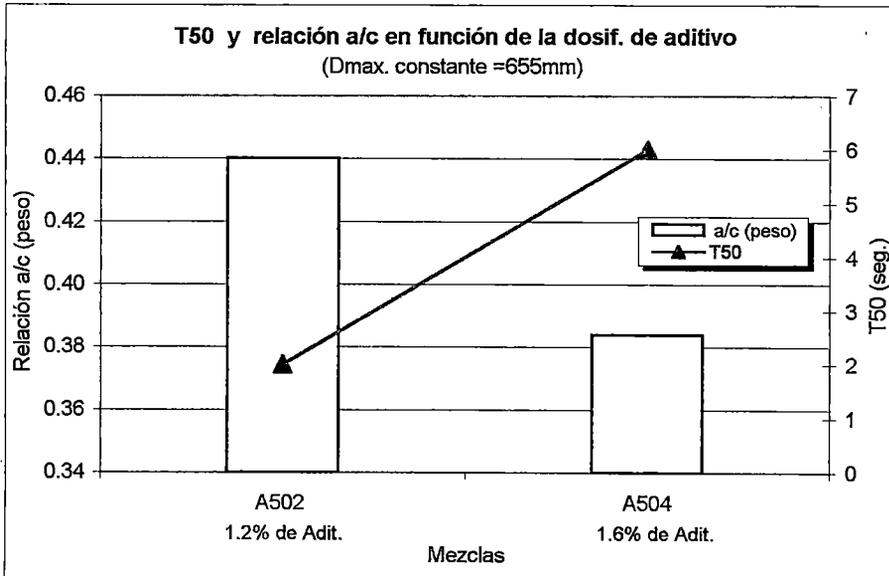
6.1.1.e Gráfico: Capacidad de atravesar zonas con alta densidad de acero (Radio de Bloqueo) y tiempos de desplazamiento (T20 y T40) del concreto, en función del contenido de agua, manteniendo constante la dosificación de aditivo. (Ensayo Caja L).



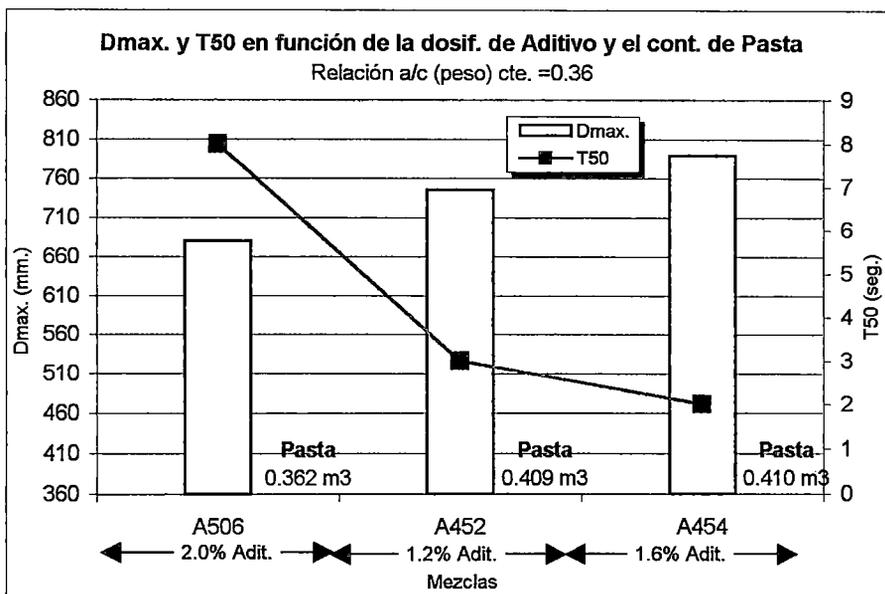
6.1.1.f Gráfico: Contenido de Pasta en función del contenido de agua, cemento y aditivo en la mezcla de concreto.



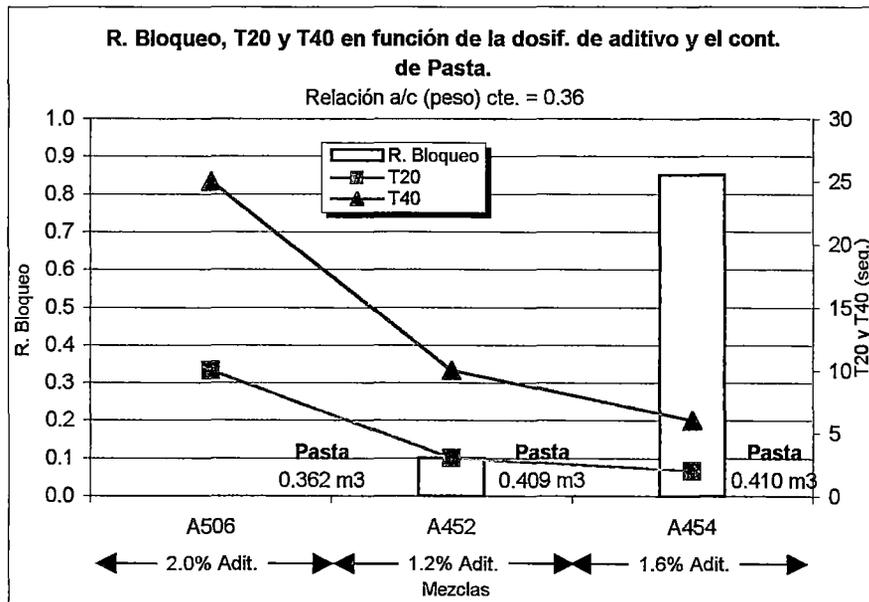
6.1.1.g Gráfico: Tiempo de desplazamiento (T50) del concreto en un medio libre y relación a/c, en función de la dosificación de aditivo, manteniendo constante la capacidad de fluir (Dmax.)
(Ensayo de extensión de flujo – Equipo Cono de Abrams).



6.1.1.h Gráfico: Capacidad de fluir (Dmax.) y tiempo de desplazamiento (T50) del concreto en un medio libre, en función de la dosificación de aditivo y el contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c
(Ensayo de extensión de flujo – Equipo Cono de Abrams).



6.1.1.i Gráfico: Capacidad de atravesar zonas con alta densidad de acero (Radio de Bloqueo) y tiempos de desplazamiento (T20 y T40) del concreto, en función de la dosificación de aditivo y el contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c (Ensayo Caja L).



6.1.2 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS PATRONES NORMALES VARIANDO LA RELACION ARENA/PIEDRA (A/P), MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

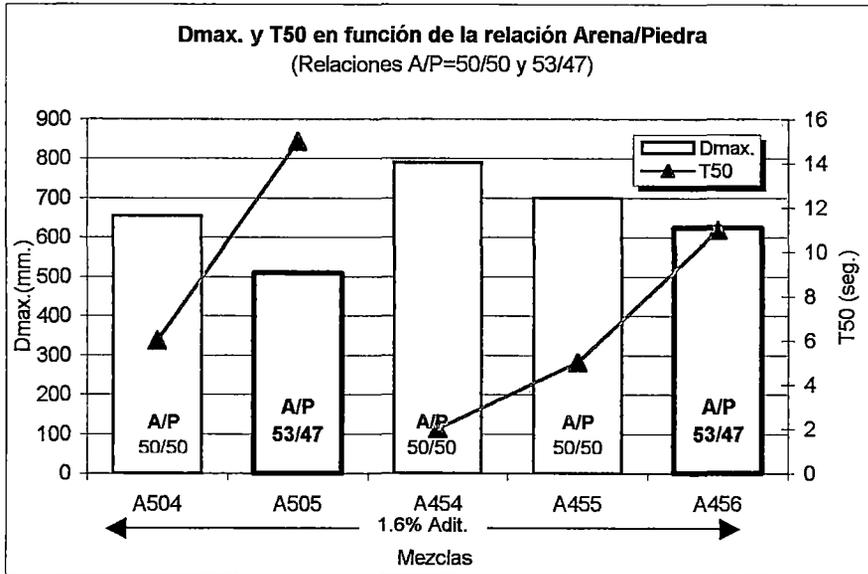
6.1.2.a Cuadro: Resumen de mezclas generadas variando la relación arena/piedra (A/P)

Mezcla		P50	A505	A507	P45	A456
Arena/Piedra (peso)		50/50	53/47	53/47	50/50	53/47
Agua/Cemento inicial (peso)		0.50		0.45		
Aditivo (% del peso de cemento)		-	1.60%	2.00%	-	1.60%
Agua (l / m³ de conc.)		244.0	185.4	177.0	255.0	195.6
Reducción de agua (%)		-	24.0	27.5	-	23.3
Agua/Cemento final (peso)		0.500	0.355	0.336	0.450	0.323
Agua/Cemento final (vol.)		1.575	1.119	1.060	1.417	1.016
Cemento (kg / m³ de conc.)		488.0	521.8	526.1	566.7	606.3
Cemento (m³ / m³ de conc.)		0.155	0.166	0.167	0.180	0.192
Pasta (m³ / m³ de conc.)		0.399	0.359	0.354	0.435	0.397
Extensión de Flujo	Dmax(mm)	-	510	525	435	625
	T50 (seg)	-	15	14	-	11
	Segregación (*)	-	0	0	-	0
	Acumulación de piedra en el centro	-	-	-	-	-
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	-	-	-	-
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	-	-	-	-	0.17
	T20 (seg)	-	17	15	-	6
	T40 (seg)	-	-	-	-	18
	Bloqueo (*)	-	3	3	-	2

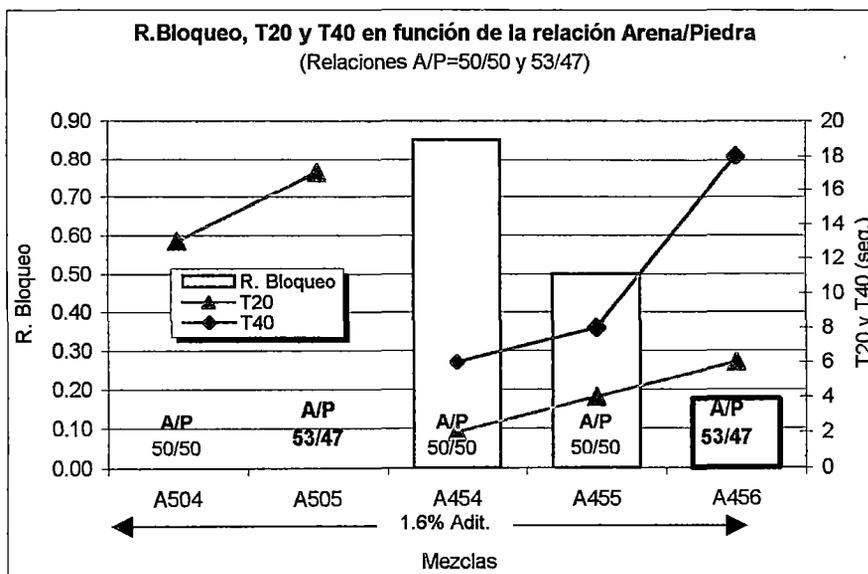
Nota: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

- Las mezclas con denominación A505,A507 fueron obtenidas partiendo del concreto patrón a/c=0.50, utilizando aditivo superplastificante, reducción de agua y cambiando la relación A/P
- La mezcla con denominación A456 fue obtenida partiendo del concreto patrón a/c=0.45, utilizando aditivo superplastificante, reducción de agua y cambiando la relación A/P
- La mezclas P50 y P45 son los concretos patrones de relación a/c=0.50 y 0.45

6.1.2.b Gráfico: Capacidad de fluir (Dmax.) y tiempo de desplazamiento (T50) del concreto en un medio libre, en función de la relación arena/piedra (A/P), manteniendo constante la dosificación de aditivo.
(Ensayo de extensión de flujo – Equipo Cono de Abrams).



6.1.2.c Gráfico: Capacidad de atravesar zonas con alta densidad de acero (Radio de Bloqueo) y tiempos de desplazamiento (T20 y T40) del concreto, en función de la relación arena/piedra (A/P), manteniendo constante la dosificación de aditivo.
(Ensayo Caja L).



6.1.3 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS FLUIDOS, INCREMENTANDO EL CONTENIDO DE PASTA Y MANTENIENDO CONSTANTE LA RELACION a/c Y LA DOSIFICACIÓN DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

6.1.3.a Cuadro: Resumen de mezclas generadas incrementando el contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo.

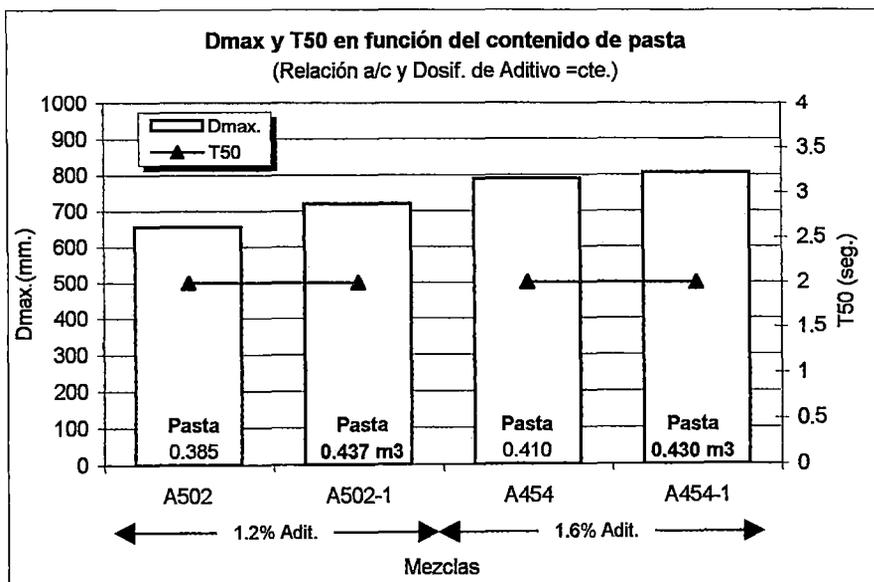
Mezcla		P50	A502	A502-1	P45	A454	A454-1
Arena/Piedra (peso)		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
Agua/Cemento inicial (peso)		0.50			0.45		
Aditivo (% del peso de cemento)		1.20%			1.60%		
Agua (l / m ³ de conc.)		244.0	220.1	250.1	255.0	213.3	223.3
Reducción de agua (%)		-	9.8	-2.5	-	16.4	12.4
Agua/Cemento final (peso)		0.500	0.440	0.440	0.450	0.360	0.360
Agua/Cemento final (vol.)		1.575	1.386	1.386	1.417	1.134	1.134
Cemento (kg / m ³ de conc.)		488.0	500.2	568.4	566.7	592.5	620.2
Cemento (m ³ / m ³ de conc.)		0.155	0.159	0.180	0.180	0.188	0.197
Pasta (m ³ / m ³ de conc.)		0.399	0.385	0.437	0.435	0.410	0.430
Extensión de Flujo	Dmax(mm)	-	655	720	-	790	805
	T50 (seg)	-	2	2	-	2	2
	Segregación (*)	-	0	0	-	0	0
	Acumulación de piedra en el centro	-	-	-	-	-	-
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	-	-	-	-	-
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	-	0.33	0.83	-	0.85	0.89
	T20 (seg)	-	3	2	-	2	2
	T40 (seg)	-	6	3	-	6	5
	Bloqueo (*)	-	2	0	-	0	0

Nota: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

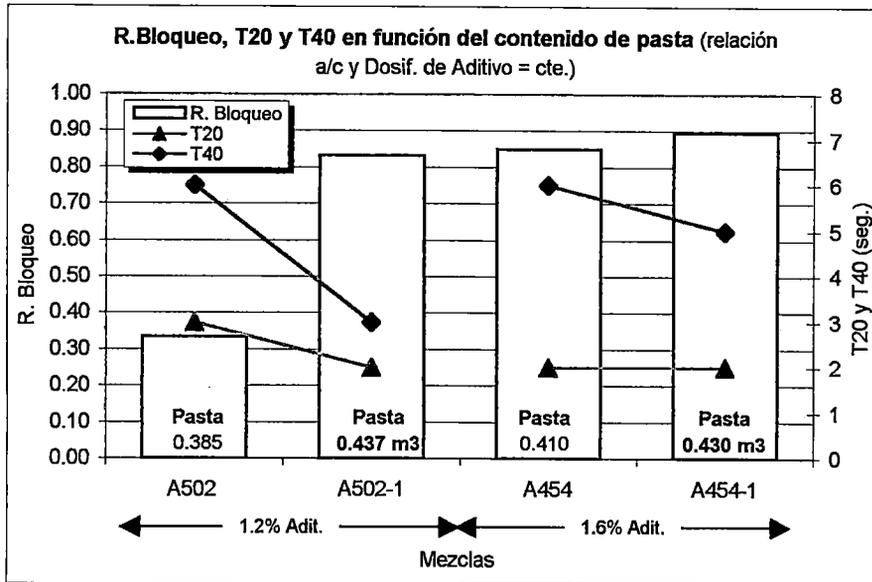
- La mezclas con denominación A502-1 y A454-1 fueron obtenidas partiendo de las mezclas A502 y A454 respectivamente, mediante incremento en el contenido de pasta.
- La mezclas con denominación P50 y P45 son los concretos patrones de relación a/c=0.50 y 0.45

6.1.3.b Gráfico: Capacidad de fluir (Dmax.) y tiempo de desplazamiento (T50) del concreto en un medio libre, en función del contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo.

(Ensayo de extensión de flujo – Equipo Cono de Abrams).



6.1.3.c Gráfico: Capacidad de atravesar zonas con alta densidad de acero (Radio de Bloqueo) y tiempos de desplazamiento (T20 y T40) del concreto, en función del contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo. (Ensayo Caja L).



6.1.4 MEZCLAS DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE GENERADAS CON EL FIN DE COMPARARLAS CON CONCRETOS PATRONES NORMALES DE SIMILAR RELACION a/c

6.1.4.a Cuadro: Resumen de mezclas de concreto autocompactante generadas con el fin de compararlas con concretos patrones normales de similar relación a/c.

Mezcla		CAC50	CAC44	CAC40	P50	P45	P40
Arena/Piedra (peso)		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
Agua/Cemento inicial (peso)							
Aditivo (% del peso de cemento)		1.20%	1.20%	1.20%			
Agua (l / m ³ de conc.)		275.0	250.1	235.0	244.0	255.0	280.0
Reducción de agua (%)					-	-	-
Agua/Cemento final (peso)		0.500	0.440	0.400	0.500	0.450	0.400
Agua/Cemento final (vol.)		1.575	1.386	1.260	1.575	1.417	1.260
Cemento (kg / m ³ de conc.)		550.0	568.4	587.5	488.0	566.7	700.0
Cemento (m ³ / m ³ de conc.)		0.175	0.180	0.187	0.155	0.180	0.222
Pasta (m ³ / m ³ de conc.)		0.456	0.437	0.428	0.399	0.435	0.502
Extensión de Flujo	Dmax(mm)	730	720	690			
	T50 (seg)	2	2	2			
	Segregación (*)	0	0	0			
	Acumulación de piedra en el centro	-	-	-			
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	-	-			
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	0.84	0.83	0.89			
	T20 (seg)	1	2	1			
	T40 (seg)	2	3	1.8			
	Bloqueo (*)	0	0	0			
Resistencia	Resistencia en Compresión 7d (kg/cm ²)	386.5	433.6	456.8	318.4	362.0	386.8

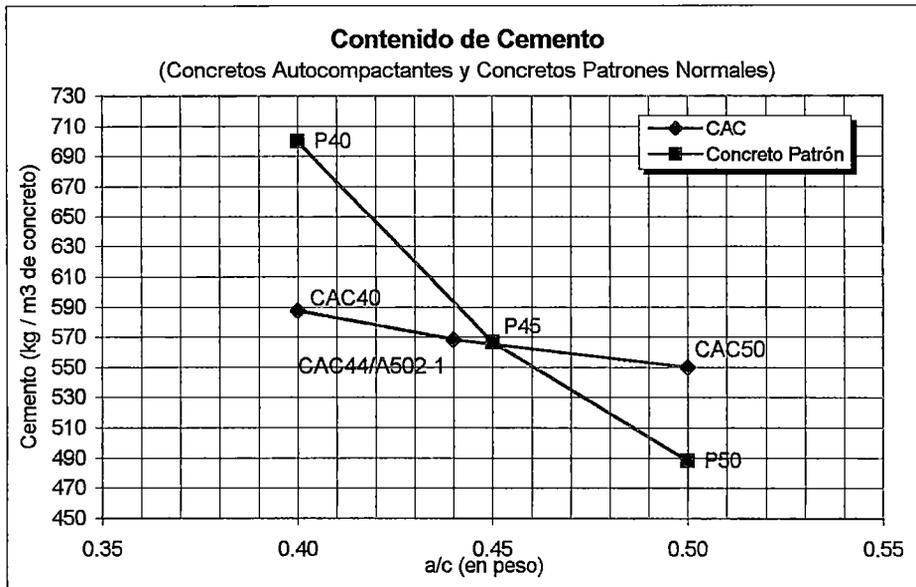
Nota: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

-Las mezclas CAC50, CAC 44 y CAC40 son concretos autocompactantes de relación a/c=0.50, 0.44 y 0.40

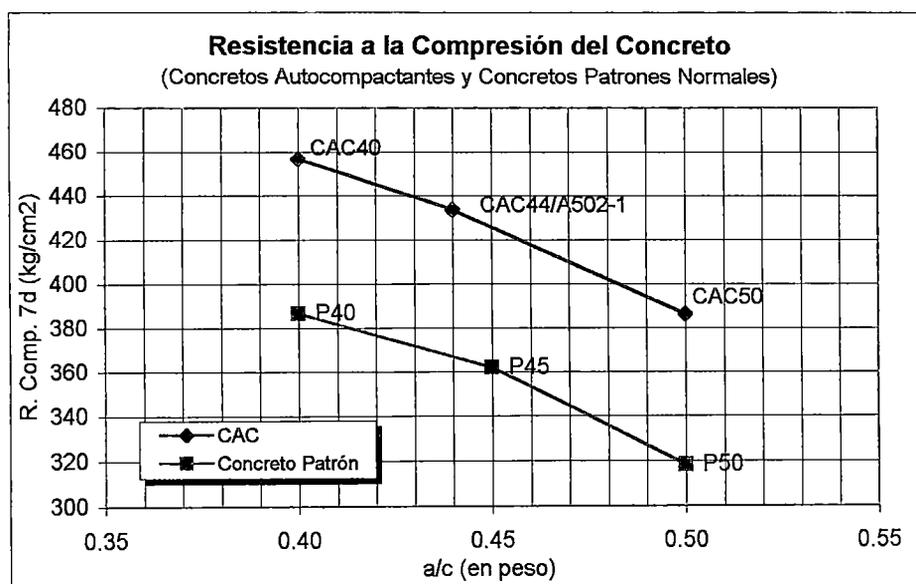
-La mezcla CAC44 es similar a la mezcla A502-1

-La mezclas con denominación P50,P45 y P40 son los concretos patrones de relación a/c=0.50, 0.45 y 0.40

6.1.4.b Gráfico: Contenido de cemento de los concretos autocompactantes y concretos patrones normales de similar relación a/c.



6.1.4.c Gráfico: Resistencia a la compresión de los concretos autocompactantes y concretos patrones normales de similar relación a/c.



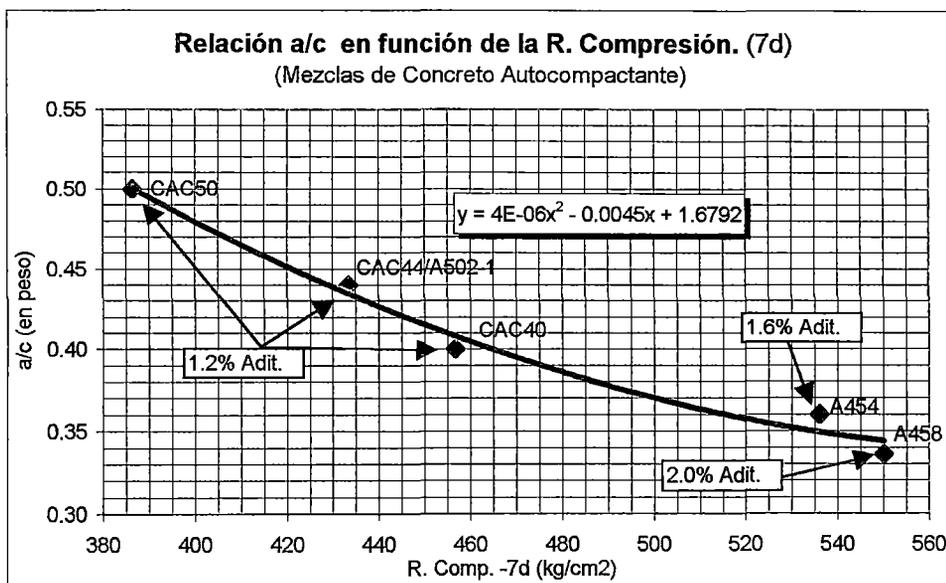
6.1.5 PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

6.1.5.a Cuadro: Resumen de todas las mezclas de concreto autocompactante que demostraron buen comportamiento.

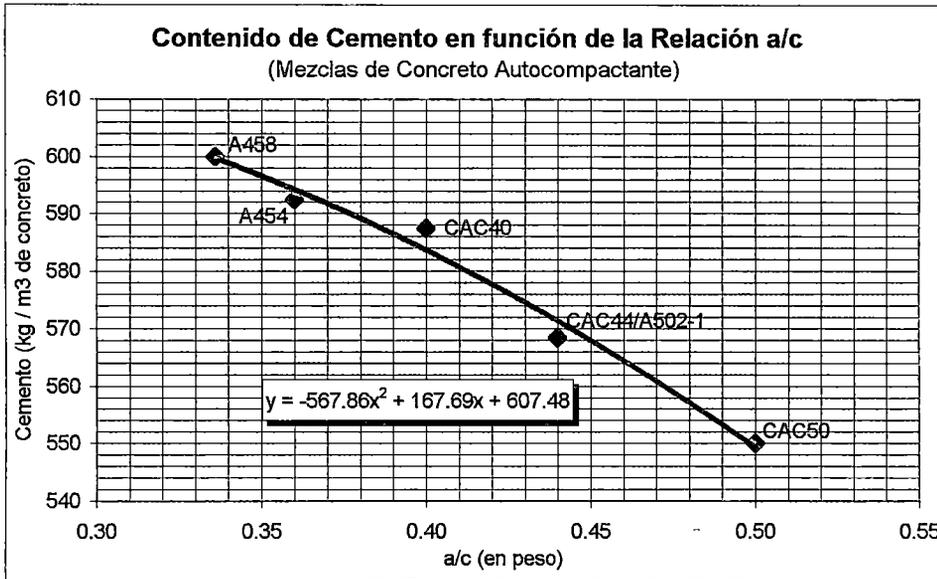
Mezcla		CAC50	CAC44	CAC40	A454	A458
Arena/Piedra (peso)		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50
Agua/Cemento inicial (peso)					0.45	0.45
Aditivo (% del peso de cemento)		1.20%	1.20%	1.20%	1.60%	2.00%
Agua (l / m ³ de conc.)		275.0	250.1	235.0	213.3	201.3
Reducción de agua (%)					16.4	21.1
Agua/Cemento final (peso)		0.500	0.440	0.400	0.360	0.336
Agua/Cemento final (vol.)		1.575	1.386	1.260	1.134	1.057
Cemento (kg / m ³ de conc.)		550.0	568.4	587.5	592.5	600.0
Cemento (m ³ / m ³ de conc.)		0.1746	0.1804	0.1865	0.1881	0.1905
Pasta (m ³ / m ³ de conc.)		0.456	0.437	0.428	0.410	0.403
Extensión de Flujo	D _{max} (mm)	730	720	690	790	775
	T50 (seg)	2	2	2	2	4
	Segregación (*)	0	0	0	0	0
	Acumulación de piedra en el centro	-	-	-	-	-
	Pasta sin piedra en el perímetro	-	-	-	-	-
Caja L	Radio de Bloqueo H2/H1	0.84	0.83	0.89	0.85	0.85
	T20 (seg)	1	2	1	2	3
	T40 (seg)	2	3	1.8	6	7
	Bloqueo (*)	0	0	0	0	0
Resistencia	Resistencia en Compresión (7d)	386.5	433.6	456.8	536.1	550.1
Cont. Aire (%)		3.07	2.86	2.40	2.19	2.34

Nota: (*) Muy Fuerte=3, Fuerte=2, Ligero=1, Nulo=0

6.1.5.b Gráfico: Relación a/c en función de la Resistencia en Compresión a los 7 días de los Concretos Autocompactantes.



6.1.5.c Gráfico: Cantidad de Cemento en función de la Relación a/c de los Concretos Autocompactantes



6.2 CUADROS Y GRAFICOS COMPARATIVOS DE 3 MEZCLAS FLUIDAS DE CONCRETO

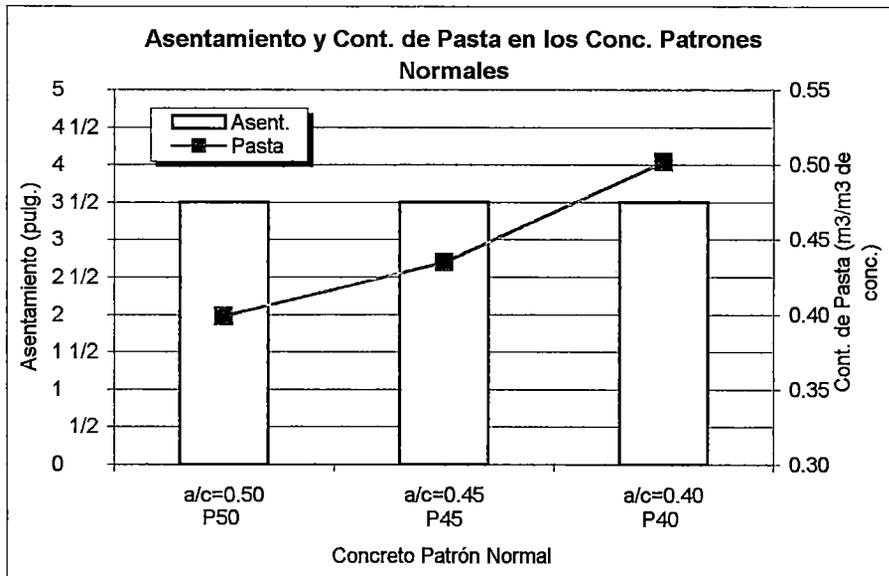
6.2.1 ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

6.2.1.1 Extensión de Flujo, Caja L y Asentamiento Normal del Concreto

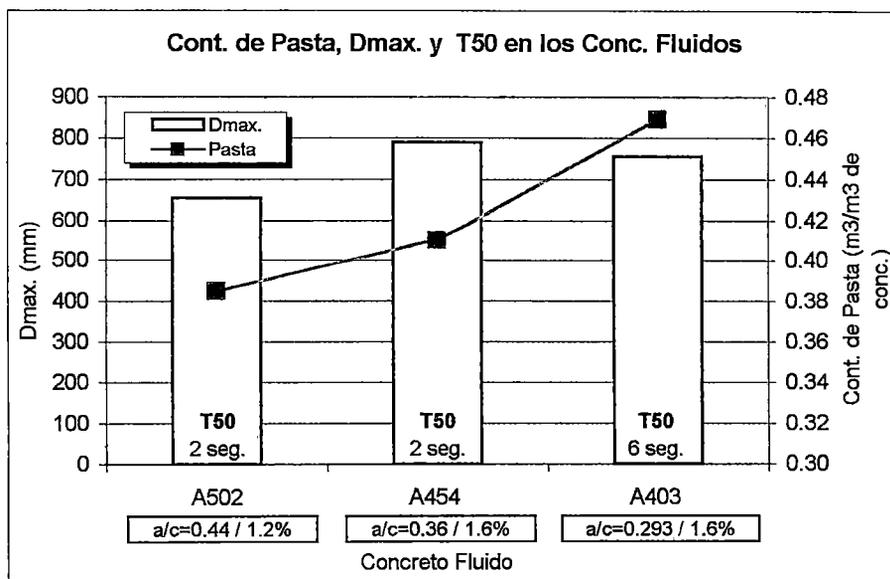
6.2.1.1.a Cuadro: Resumen de los ensayos de Extensión de Flujo, Caja L y Asentamiento Normal

MEZCLA	ADITIVO (% del peso de cemento)	ASENTA- MIENTO (pulg)	EXTENSION DE FLUJO		CAJA L		
			Dmax. (mm)	T50 (seg)	R.Bloqueo	T20 (seg)	T40 (seg)
Patrón a/c=0.50 (P50)		3 1/2					
A502	1.2		655	2	0.33	3	6
Patrón a/c=0.45 (P45)		3 1/2					
A454	1.6		790	2	0.85	2	6
Patrón a/c=0.40 (P40)		3 1/2					
A403	1.6		755	6	0.95	4	10

6.2.1.1.b Gráfico: Asentamiento y contenido de pasta, en los concretos patrones normales.
(Ensayo de asentamiento en el Cono de Abrams)



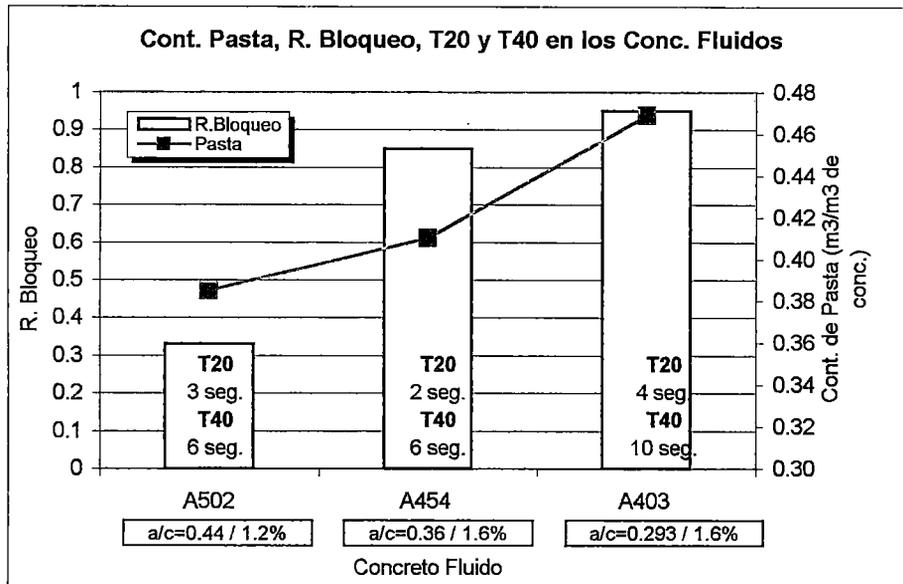
6.2.1.1.c Gráfico: Capacidad de fluir (Dmax.), tiempo de desplazamiento (T50) y contenido de pasta de los concretos fluidos en un medio libre.
(Ensayo de extensión de flujo – Equipo Cono de Abrams)



Notas:

- La mezcla A502 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50)
- La mezcla A454 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45)
- La mezcla A403 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40)

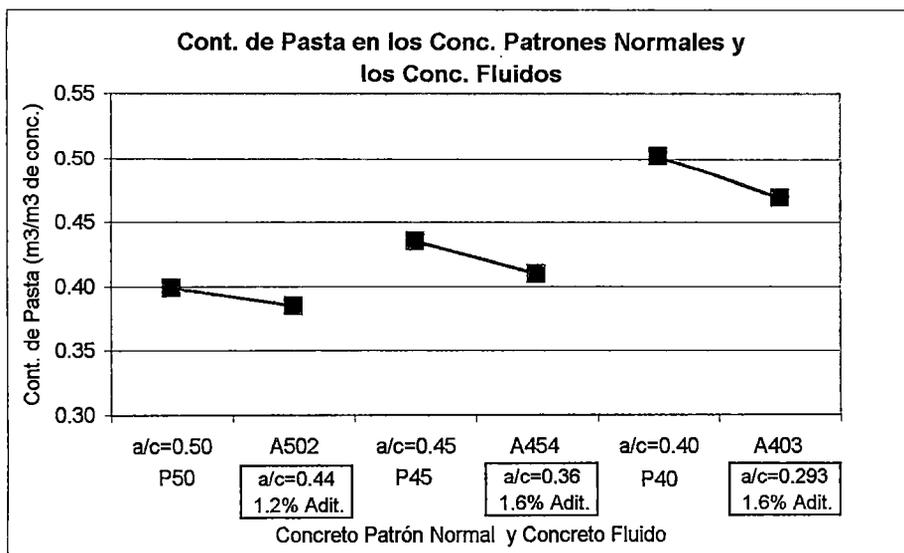
6.2.1.1.d Gráfico: Capacidad de atravesar zonas con alta densidad de acero (Radio de Bloqueo), tiempos de desplazamiento (T20 y T40) y contenido de pasta de los concretos fluidos.
(Ensayo Caja L)



Notas:

- La mezcla A502 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50)
- La mezcla A454 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45)
- La mezcla A403 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40)

6.2.1.1.e Gráfico: Contenido de pasta en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.



Notas:

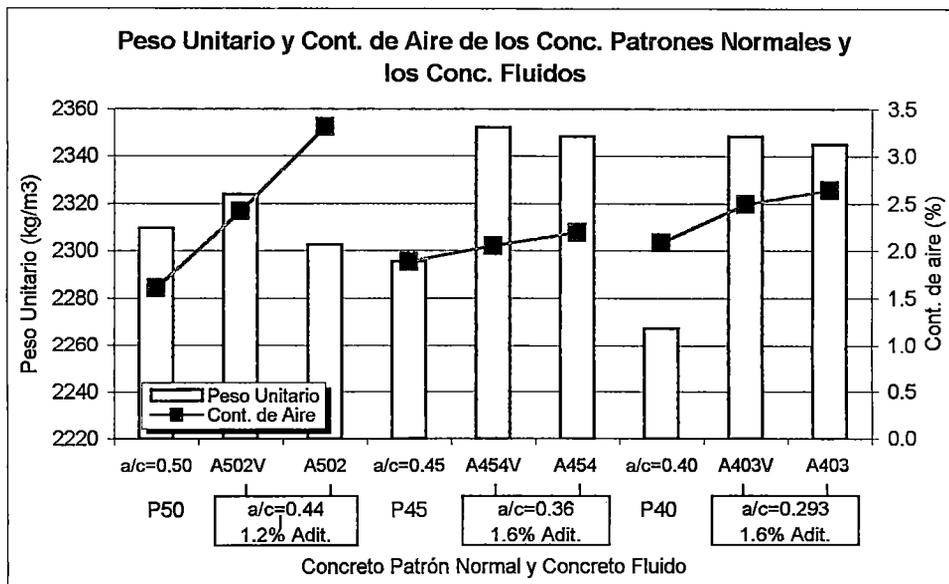
- La mezcla A502 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50)
- La mezcla A454 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45)
- La mezcla A403 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40)

6.2.1.2 Peso Unitario y Contenido de Aire del Concreto

6.2.1.2.a Cuadro: Resumen de los ensayos de Peso Unitario y Contenido de Aire del Concreto

MEZCLA	PESO UNITARIO (kg/m ³)	CONTENIDO DE AIRE (%)
Patrón a/c=0.50 (P50)	2309.6	1.61
A502V - Mezcla Varillada	2323.7	2.42
A502 - Mezcla No Varillada	2302.5	3.31
Patrón a/c=0.45 (P45)	2295.5	1.89
A454V - Mezcla Varillada	2352.0	2.05
A454 - Mezcla No Varillada	2348.4	2.19
Patrón a/c=0.40 (P40)	2267.2	2.08
A403V - Mezcla Varillada	2348.4	2.49
A403 - Mezcla No Varillada	2344.9	2.64

6.2.1.2.b Gráfico: Peso Unitario y Contenido de Aire de los concretos patrones normales y los concretos fluidos (varillados y no varillados).



Notas:

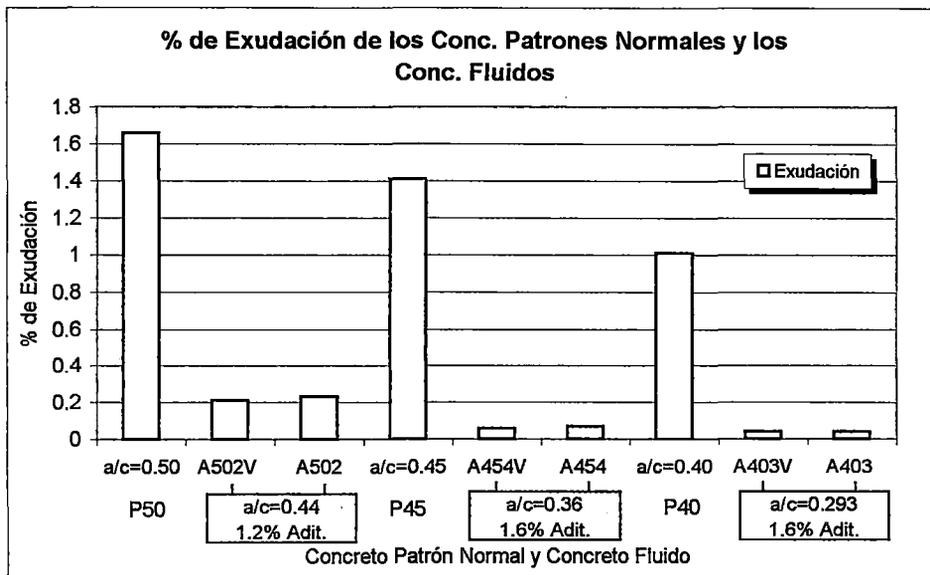
- Las mezclas A502V, A454V y A403V fueron compactadas.
- Las mezclas A502, A454 y A403 no fueron compactadas.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45).
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40).

6.2.1.3 Exudación del Concreto

6.2.1.3.a Cuadro: Resumen del ensayo de Exudación del Concreto

MEZCLA	EXUDACION ¹ (%)
Patrón a/c=0.50 (P50)	1.66
A502V - Mezcla Varillada	0.21
A502 - Mezcla No Varillada	0.23
Patrón a/c=0.45 (P45)	1.41
A454V - Mezcla Varillada	0.06
A454 - Mezcla No Varillada	0.07
Patrón a/c=0.40 (P40)	1.01
A403V - Mezcla Varillada	0.04
A403 - Mezcla No Varillada	0.04

6.2.1.3.b Gráfico: Porcentaje de Exudación de los concretos patrones normales y los concretos fluidos (varillados y no varillados).



Notas:

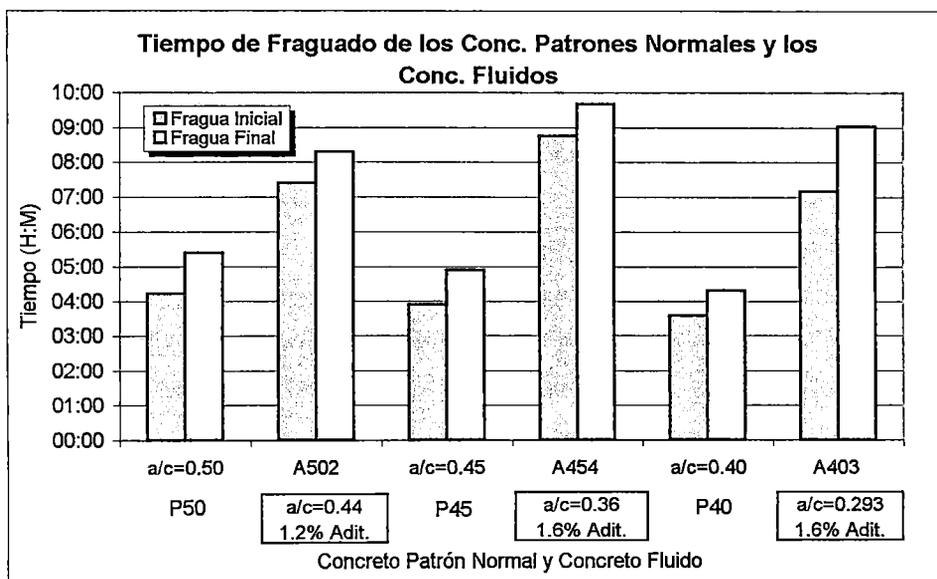
- Las mezclas A502V, A454V y A403V fueron compactadas.
- Las mezclas A502, A454 y A403 no fueron compactadas.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45).
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40).

6.2.1.4 Tiempo de Fraguado del Concreto

6.2.1.4.a Cuadro: Resumen del ensayo de Tiempo de Fraguado del Concreto

MEZCLA	TIEMPO DE FRAGUA	
	Inicial (h:m)	Final (h:m)
Patrón a/c=0.50 (P50)	04:13	05:24
A502	07:24	08:18
Patrón a/c=0.45 (P45)	03:55	04:54
A454	08:45	09:40
Patrón a/c=0.40 (P40)	03:36	04:19
A403	07:10	09:02

6.2.1.4.b Gráfico: Tiempos de Fraguado de los concretos patrones normales y los concretos fluidos.



Notas:

- Los morteros A502, A454 y A403 no fueron compactados.
- La mezcla A502 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50)
- La mezcla A454 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45)
- La mezcla A403 fue generada a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40)

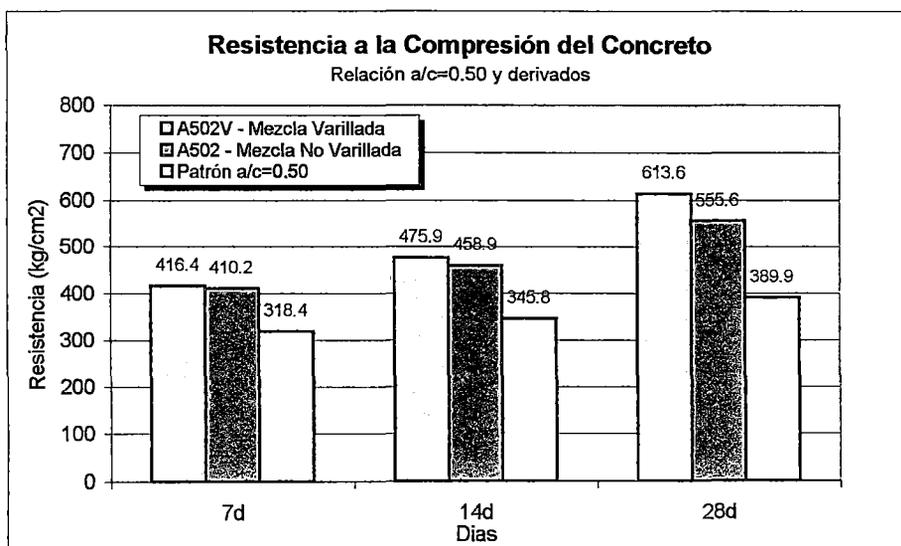
6.2.2 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

6.2.2.1 Resistencia a la Compresión del Concreto

6.2.2.1.a Cuadro: Resumen del ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto a 7, 14 y 28 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	7d (kg/cm ²)	14d (kg/cm ²)	28d (kg/cm ²)
Patrón a/c=0.50 (P50)	318.4	345.8	389.9
A502V - Mezcla Varillada	416.4	475.9	613.6
A502 - Mezcla No Varillada	410.2	458.9	555.6
Patrón a/c=0.45 (P45)	362.0	398.6	427.2
A454V - Mezcla Varillada	508.4	583.5	657.9
A454 - Mezcla No Varillada	536.1	598.1	661.0
Patrón a/c=0.40 (P40)	386.8	423.8	441.1
A403V - Mezcla Varillada	542.6	620.7	723.0
A403 - Mezcla No Varillada	546.6	617.7	720.7

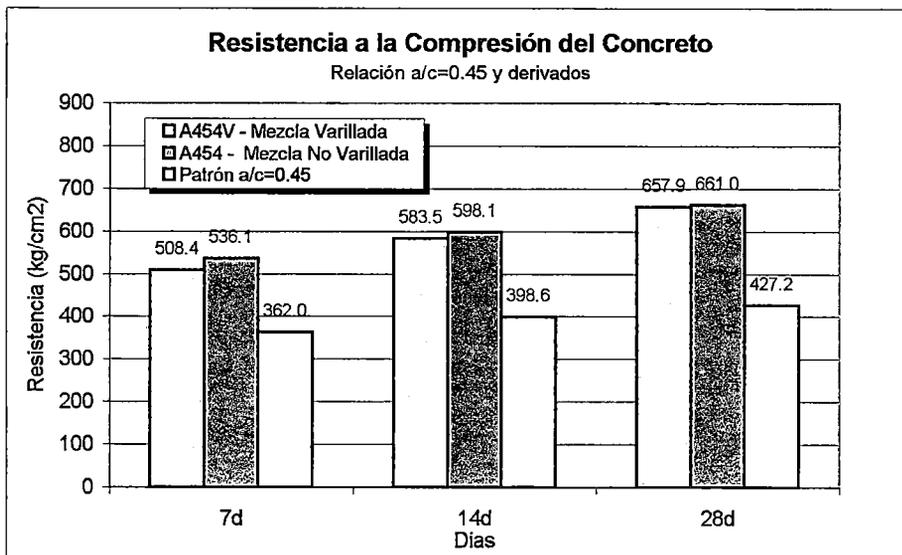
6.2.2.1.b Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación a/c=0.50 y el concreto fluido A502 (varillado y no varillado), en función de la edad.



Notas:

- Las mezclas A502V fue compactada.
- Las mezclas A502 no fue compactada.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).

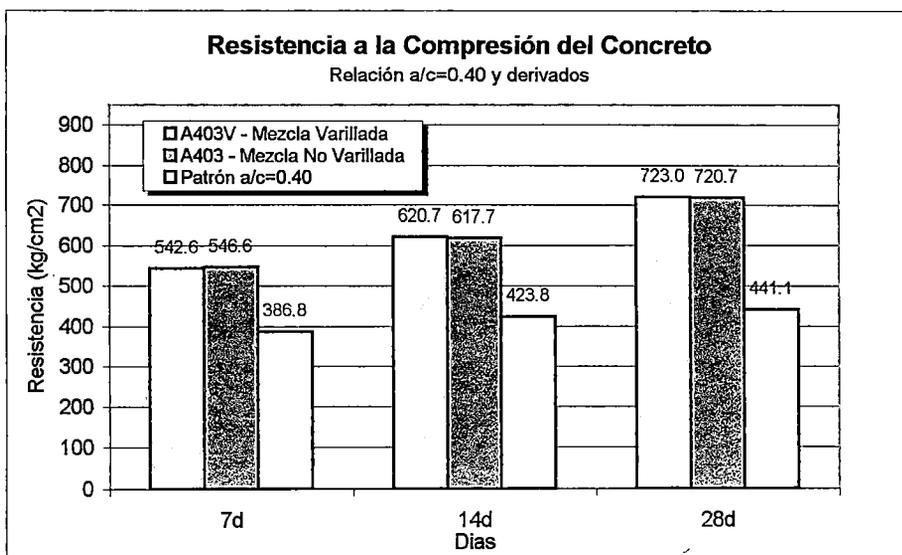
6.2.2.1.c Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación a/c=0.45 y el concreto fluido A454 (varillado y no varillado), en función de la edad.



Notas:

- Las mezclas A454V fue compactada.
- Las mezclas A454 no fue compactada.
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45).

6.2.2.1.d Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación a/c=0.40 y el concreto fluido A403 (varillado y no varillado), en función de la edad.



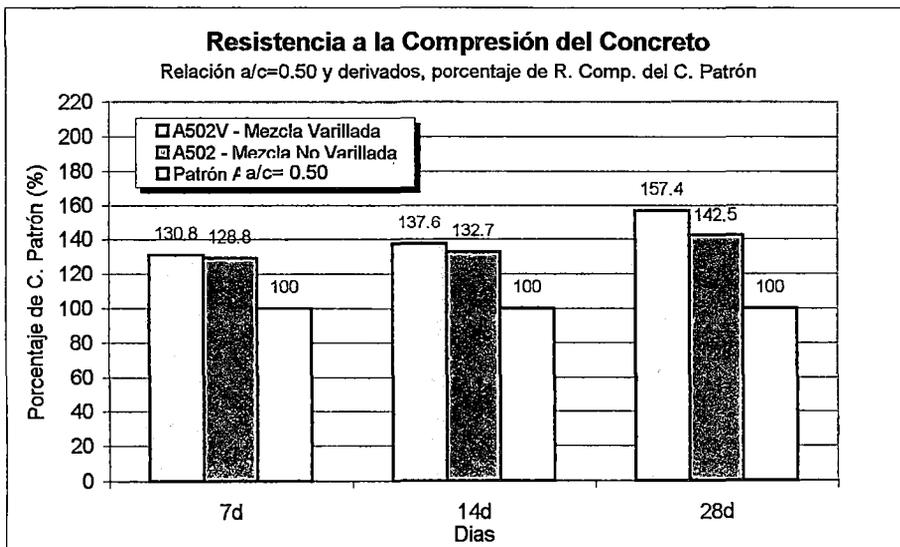
Notas:

- Las mezclas A403V fue compactada.
- Las mezclas A403 no fue compactada.
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40).

6.2.2.1.e Cuadro: Resistencia a la Compresión del Concreto, porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón normal

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	7d (%)	14d (%)	28d (%)
Patrón a/c=0.50 (P50)	100.0	100.0	100.0
A502V - Mezcla Varillada	130.8	137.6	157.4
A502 - Mezcla No Varillada	128.8	132.7	142.5
Patrón a/c=0.45 (P45)	100.0	100.0	100.0
A454V - Mezcla Varillada	140.4	146.4	154.0
A454 - Mezcla No Varillada	148.1	150.1	154.7
Patrón a/c=0.40 (P40)	100.0	100.0	100.0
A403V - Mezcla Varillada	140.3	146.5	163.9
A403 - Mezcla No Varillada	141.3	145.8	163.4

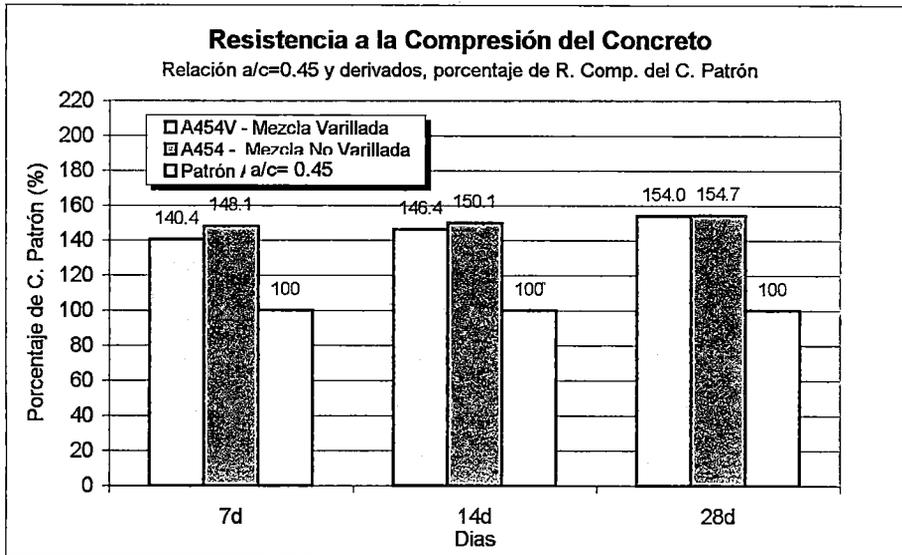
6.2.2.1.f Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto fluido A502 (varillado y no varillado) expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón normal de relación a/c=0.50, en todas las edades.



Notas:

- Las mezclas A502V fue compactada.
- Las mezclas A502 no fue compactada.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).

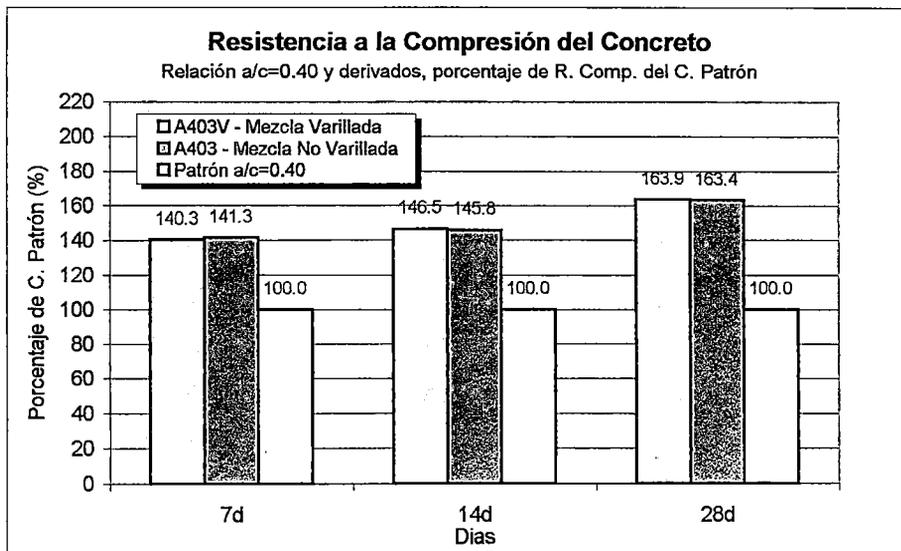
6.2.2.1.g Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto fluido A454 (varillado y no varillado) expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón normal de relación $a/c=0.45$, en todas las edades.



Notas:

- Las mezclas A454V fue compactada.
- Las mezclas A454 no fue compactada.
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación $a/c=0.45$ (P45).

6.2.2.1.h Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto fluido A403 (varillado y no varillado) expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón normal de relación $a/c=0.40$, en todas las edades.



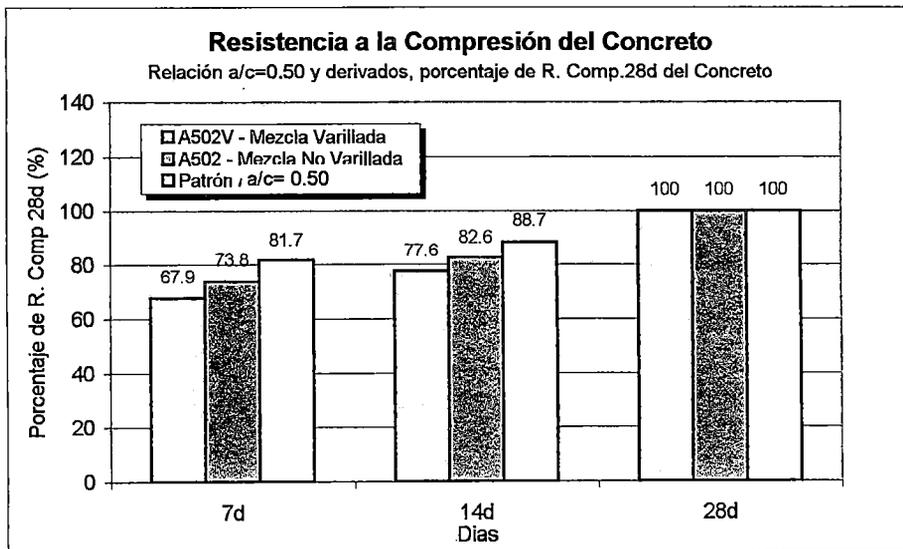
Notas:

- Las mezclas A403V fue compactada.
- Las mezclas A403 no fue compactada.
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación $a/c=0.40$ (P40).

6.2.2.1.i Cuadro: Resistencia a la Compresión del Concreto, porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto a los 28 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	7d (%)	14d (%)	28d (%)
Patrón a/c=0.50 (P50)	81.7	88.7	100.0
A502V - Mezcla Varillada	67.9	77.6	100.0
A502 - Mezcla No Varillada	73.8	82.6	100.0
Patrón a/c=0.45 (P45)	84.7	93.3	100.0
A454V - Mezcla Varillada	77.3	88.7	100.0
A454 - Mezcla No Varillada	81.1	90.5	100.0
Patrón a/c=0.40 (P40)	87.7	96.1	100.0
A403V - Mezcla Varillada	75.0	85.9	100.0
A403 - Mezcla No Varillada	75.8	85.7	100.0

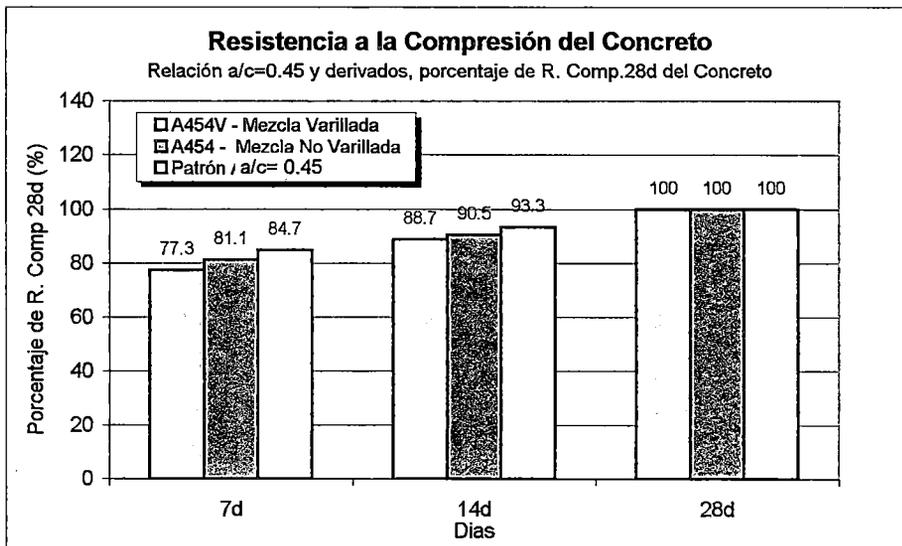
6.2.2.1.j Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación a/c=0.50 y del concreto fluido A502 (varillado y no varillado) expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por ellos a la edad de 28 días.



Notas:

- Las mezclas A502V fue compactada.
- Las mezclas A502 no fue compactada.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).

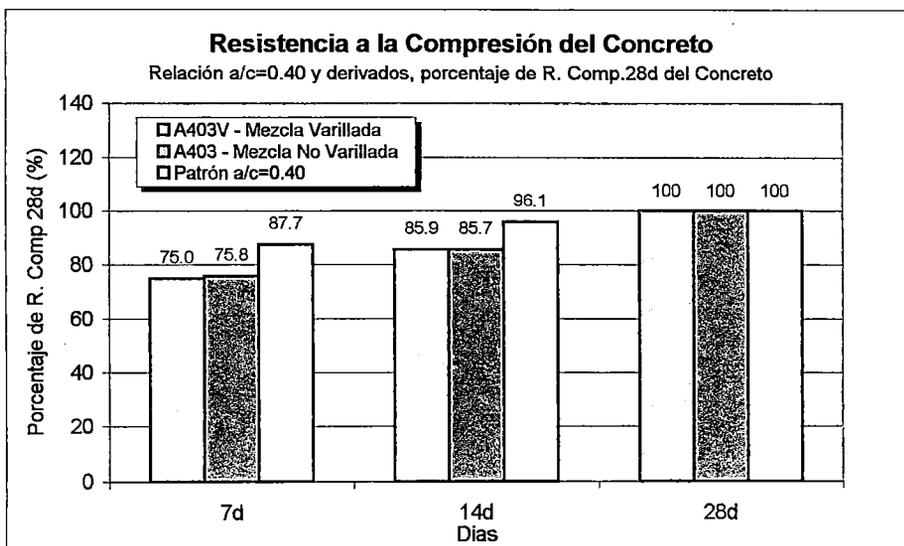
6.2.2.1.k Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación $a/c=0.45$ y del concreto fluido A454 (varillado y no varillado) expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por ellos a la edad de 28 días.



Notas:

- Las mezclas A454V fue compactada.
- Las mezclas A454 no fue compactada.
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación $a/c=0.45$ (P45).

6.2.2.1.l Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación $a/c=0.40$ y del concreto fluido A403 (varillado y no varillado) expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por ellos a la edad de 28 días.



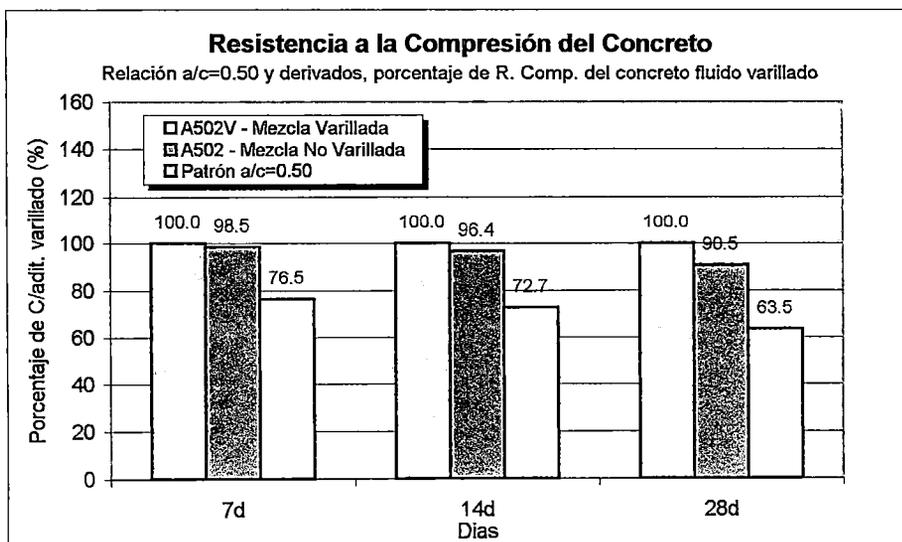
Notas:

- Las mezclas A403V fue compactada.
- Las mezclas A403 no fue compactada.
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación $a/c=0.40$ (P40).

6.2.2.1.m Cuadro: Resistencia a la Compresión del Concreto, porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado o compactado

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	7d (%)	14d (%)	28d (%)
Patrón a/c=0.50 (P50)	76.5	72.7	63.5
A502V - Mezcla Varillada	100.0	100.0	100.0
A502 - Mezcla No Varillada	98.5	96.4	90.5
Patrón a/c=0.45 (P45)	71.2	68.3	64.9
A454V - Mezcla Varillada	100.0	100.0	100.0
A454 - Mezcla No Varillada	105.4	102.5	100.5
Patrón a/c=0.40 (P40)	71.3	68.3	61.0
A403V - Mezcla Varillada	100.0	100.0	100.0
A403 - Mezcla No Varillada	100.7	99.5	99.7

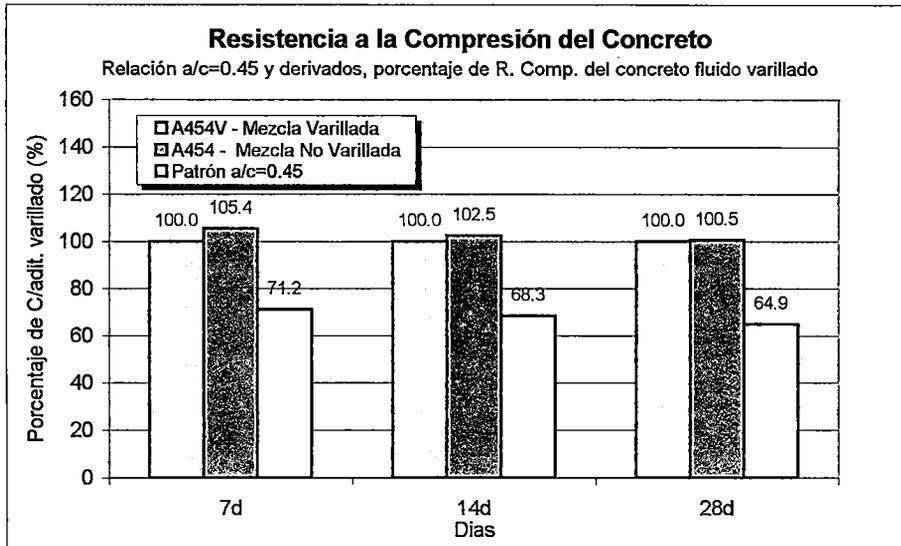
6.2.2.1.n Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación a/c=0.50 y del concreto fluido no varillado A502, expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado A502V, en todas las edades.



Notas:

- Las mezclas A502V fue compactada.
- Las mezclas A502 no fue compactada.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).

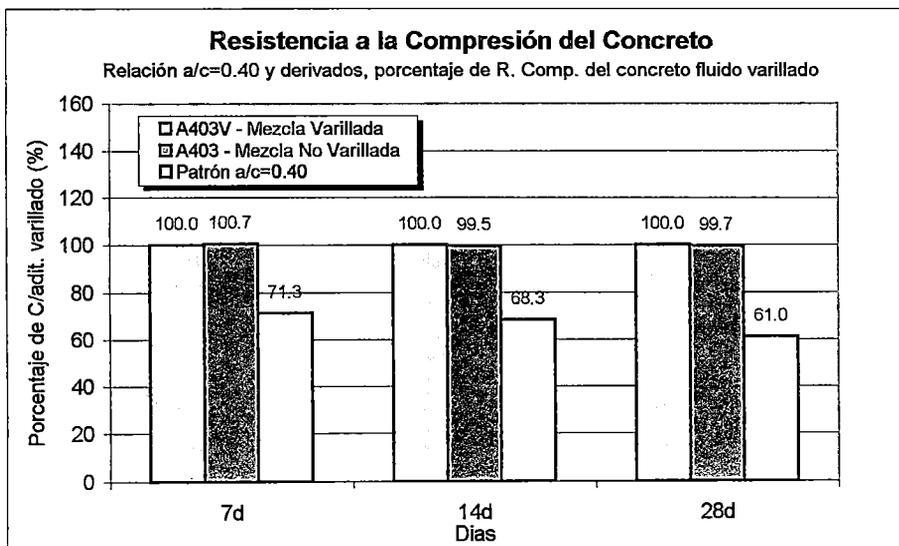
6.2.2.1.o Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación $a/c=0.45$ y del concreto fluido no varillado A454, expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado A454V, en todas las edades.



Notas:

- Las mezclas A454V fue compactada.
- Las mezclas A454 no fue compactada.
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación $a/c=0.45$ (P45).

6.2.2.1.p Gráfico: Resistencia a la compresión del concreto patrón normal de relación $a/c=0.40$ y del concreto fluido no varillado A403, expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado A403V, en todas las edades.



Notas:

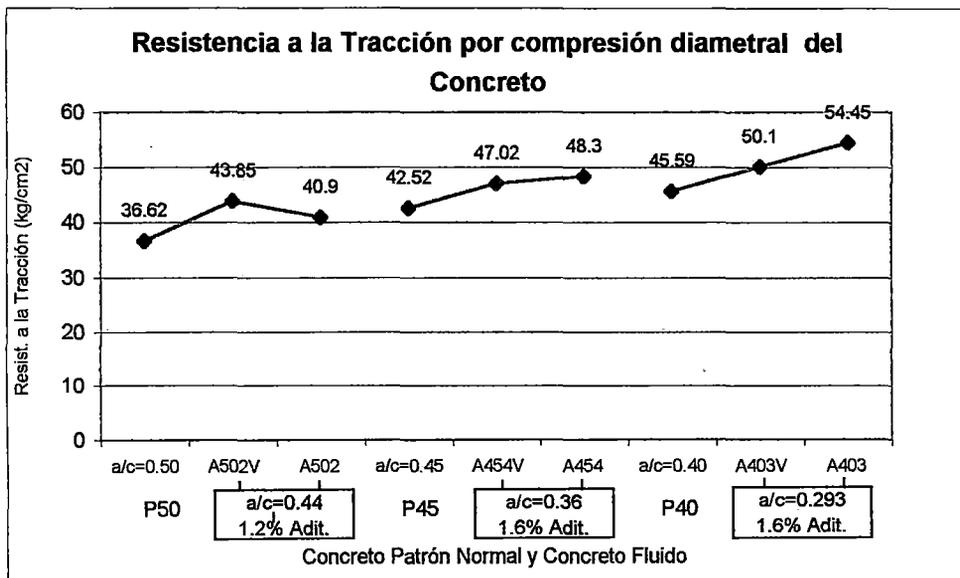
- Las mezclas A403V fue compactada.
- Las mezclas A403 no fue compactada.
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación $a/c=0.40$ (P40).

6.2.2.2 Resistencia a la Tracción por compresión diametral del Concreto

6.2.2.2.a Cuadro: Resumen del ensayo de Resistencia a la Tracción por compresión diametral del Concreto

MEZCLA	RESISTENCIA A LA TRACCION (kg/cm ²)
Patrón a/c=0.50 (P50)	36.6
A502V - Mezcla Varillada	43.9
A502 - Mezcla No Varillada	40.9
Patrón a/c=0.45 (P45)	42.5
A454V - Mezcla Varillada	47.0
A454 - Mezcla No Varillada	48.3
Patrón a/c=0.40 (P40)	45.6
A403V - Mezcla Varillada	50.1
A403 - Mezcla No Varillada	54.5

6.2.2.2.b Gráfico: Resistencia a la tracción por compresión diametral de los concretos patrones normales y los concretos fluidos (varillados y no varillados).



Notas:

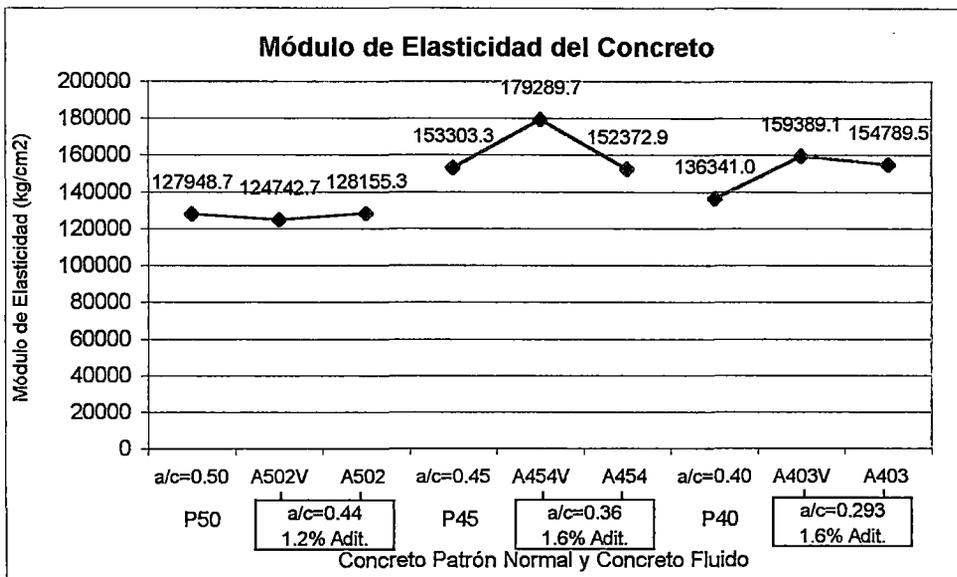
- Las mezclas A502V, A454V y A403V fueron compactadas.
- Las mezclas A502, A454 y A403 no fueron compactadas.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45).
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40).

6.2.2.3 Módulo de Elasticidad del Concreto

6.2.2.3.a Cuadro: Resumen del ensayo de Módulo de Elasticidad del Concreto

MEZCLA	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
Patrón a/c=0.50 (P50)	127948.7
A502V - Mezcla Varillada	124742.7
A502 - Mezcla No Varillada	128155.3
Patrón a/c=0.45 (P45)	153303.3
A454V - Mezcla Varillada	179289.7
A454 - Mezcla No Varillada	152372.9
Patrón a/c=0.40 (P40)	136341.0
A403V - Mezcla Varillada	159389.1
A403 - Mezcla No Varillada	154789.5

6.2.2.3.b Gráfico: Módulo de Elasticidad de los concretos patrones normales y los concretos fluidos (varillados y no varillados).



Notas:

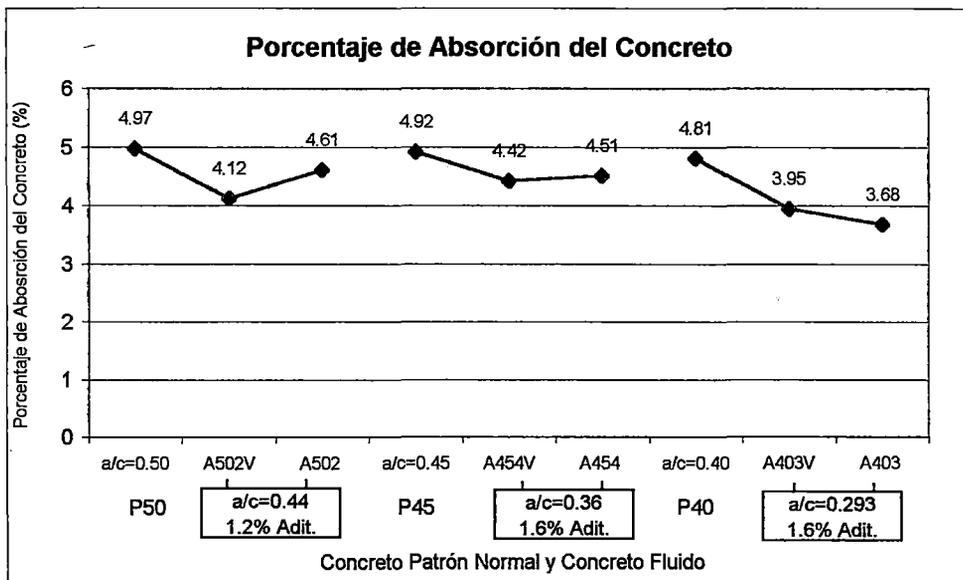
- Las mezclas A502V, A454V y A403V fueron compactadas.
- Las mezclas A502, A454 y A403 no fueron compactadas.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45).
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40).

6.2.2.4 Porcentaje de Absorción del Concreto

6.2.2.4.a Cuadro: Resumen del ensayo de Porcentaje de Absorción del Concreto

MEZCLA	ABSORCION DE AGUA (%)
Patrón a/c=0.50 (P50)	4.97
A502V - Mezcla Varillada	4.12
A502 - Mezcla No Varillada	4.61
Patrón a/c=0.45 (P45)	4.92
A454V - Mezcla Varillada	4.42
A454 - Mezcla No Varillada	4.51
Patrón a/c=0.40 (P40)	4.81
A403V - Mezcla Varillada	3.95
A403 - Mezcla No Varillada	3.68

6.2.2.4.b Gráfico: Porcentaje de absorción de los concretos patrones normales y los concretos fluidos (varillados y no varillados).



Notas:

- Las mezclas A502V, A454V y A403V fueron compactadas.
- Las mezclas A502, A454 y A403 no fueron compactadas.
- Las mezclas A502V y A502 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.50 (P50).
- Las mezclas A454V y A454 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.45 (P45).
- Las mezclas A403V y A403 tienen la misma dosificación y fueron generadas a partir del conc. patrón de relación a/c=0.40 (P40).

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 7

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos en la presente investigación, ellos son agrupados de la siguiente manera:

En la primera sección se realizó el análisis de la variación en el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto y la tendencia que éstas tenían hacia la autocompactación, de esa manera se podía generar un procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes y al mismo tiempo tener una idea más clara de cómo funcionan y como se hacen estos concretos. Para ello se generaron una serie de mezclas fluidas derivadas de concretos patrones normales de relación $a/c = 0.50, 0.45$ y 0.40 , mediante reducción de agua y adicionando un aditivo superplastificante (Sika Viscocrete1- Policarboxilato modificado), luego se varió la relación arena/piedra y finalmente se analizaron los cambios en el comportamiento de las mezclas al variar el contenido de pasta. Estas mezclas fueron sometidas a dos ensayos para medir sus propiedades autocompactantes: Ensayo de Extensión de Flujo y Caja L, ambos especiales para estos tipos de concreto. Las variaciones en la capacidad de fluir y deformarse (D_{max} y R. Bloqueo) tanto en un medio libre como en un medio restringido, además de los tiempos de desplazamiento en dichos medios (T_{50} , T_{20} y T_{40}), son analizados y los resultados presentados en este capítulo.

La segunda sección desarrolló el estudio de la variación en las propiedades de 3 mezclas fluidas de concreto, tanto al estado fresco como al estado endurecido. El objetivo principal era comprobar la autocompactación de las mezclas fluidas comparando los resultados obtenidos en mezclas ensayadas según los procedimientos normados con otras en las cuales se eliminó toda forma de compactación inducida. También se compararon las mezclas fluidas escogidas con los concretos patrones normales que las originaron. Los concretos fueron sometidos a los ensayos de: peso unitario, contenido de aire, porcentaje de exudación, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y a la tracción del concreto endurecido, módulo de elasticidad y porcentaje de absorción, además los ensayos extensión de flujo y caja L, cuyos procedimientos de ensayo eliminan toda forma de compactación, también fueron ejecutados pero solo para los concretos fluidos.

A continuación se realizará el análisis de dicha información:

7.1 COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS FLUIDAS DE CONCRETO

7.1.1 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS PATRONES NORMALES MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Cuadro 6.1.1.a, 6.1.1.b y 6.1.1.c: En estos cuadros se presenta la mayor cantidad de datos que puedan caracterizar a una mezcla fluida de concreto. Se muestran 3 cuadros para los concretos fluidos derivados de los concretos patrones normales de relación a/c (en peso) = $0.50, 0.45$ y 0.40 , los cuales fueron obtenidos mediante adición de aditivo superplastificante en dosificaciones de $1.2, 1.6$ y 2.0% del peso de cemento y reducción de la cantidad de agua para evitar la segregación de la mezcla.

En el cuadro 6.1.1.b solo las mezclas A454 y A458 aprobaron los ensayos de extensión de flujo y caja L demostrando excelente trabajabilidad, es decir buena capacidad de fluir y

deformarse en cualquier medio, además de hacerlo en poco tiempo. En el cuadro 6.1.1.c las mezclas A401, A403 y A405 aprobaron los valores de D_{max} y R. Bloqueo en los ensayos de extensión de flujo y caja L respectivamente, sin embargo, los valores de T50, T20 y T40 eran altos y demostraban que eran mezclas con características autocompactantes pero con viscosidades altas. En el cuadro 6.1.1.a no se obtuvo ninguna mezcla autocompactante.

Gráfico 6.1.1.d: Se presenta la capacidad de fluir (D_{max}) y el tiempo de desplazamiento (T50) de las mezclas fluidas de concreto en un medio libre, en función del contenido de agua en el ensayo de Extensión de Flujo, manteniendo constante la dosificación de aditivo.

En este gráfico se puede notar que de dos mezclas generadas del mismo concreto patrón, aquella con mayor cantidad de agua por 1 m^3 de concreto, y por lo tanto mayor relación a/c , presenta mejor capacidad de fluir en un medio libre expresado en un valor más alto de diámetro máximo (D_{max}) y menor tiempo en alcanzar 50 cm de diámetro (T50) en el ensayo de extensión de flujo. El contenido de agua de las mezclas, A454 y A455, es de 213.3 y 202.6 l/m^3 de concreto respectivamente, los valores de $D_{max}/T50$ son 790mm/2seg y 700mm/5 seg.; la caída del contenido de agua en 10.7 l/m^3 de concreto provoca una disminución en 90mm. del D_{max} y un incremento de 3 seg. en el valor de T50.

Ambas mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.1.e: Se presenta la capacidad de fluir y autonivelarse (R. Bloqueo), y los tiempos de desplazamiento (T20 y T40) de las mezclas fluidas de concreto, en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos, en función del contenido de agua en el ensayo Caja L, manteniendo constante la dosificación de aditivo.

En este gráfico se puede apreciar que de dos mezclas generadas del mismo concreto patrón, aquella con mayor cantidad de agua por 1 m^3 de concreto, y por lo tanto mayor relación a/c , presenta mejor capacidad de fluir y autonivelarse en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos expresado en valores más altos de Radio de Bloqueo (R. Bloqueo) y menores tiempos en alcanzar 20 y 40 cm (T20 y T40) de recorrido en la sección horizontal de la Caja L en el ensayo del mismo nombre. El contenido de agua de ambas mezclas, A454 y A455, es de 213.3 y 202.6 l/m^3 de concreto respectivamente, los valores de R. Bloqueo/T20/T40 son 0.85/2seg./6seg. y 0.50/4seg./8seg.; la caída del contenido de agua en 10.7 l/m^3 de concreto provoca una disminución en 0.35 del R. Bloqueo y un incremento de 2 seg. en el valor de T20 y T40.

Ambas mezclas no presentaron indicios de segregación.

Del análisis de los gráficos 6.1.1.d y 6.1.1.e se puede concluir que al reducir la relación a/c en una mezcla de concreto y provocar un incremento en la concentración de cemento con respecto al agua, acompañado de una disminución del contenido de pasta (efecto generado al disminuir la cantidad de agua y adicionar aditivo superplastificante), se produce un efecto negativo en el comportamiento autocompactante de las mezclas, expresado en disminuciones en la capacidad de fluir en un medio libre y en un medio restringido (bloqueo), además de generar tiempos de desplazamiento lentos en las mezclas de concreto.

Gráfico 6.1.1.f: Se presenta el Contenido (en volumen) de Pasta, Agua y Cemento en función de la dosificación de aditivo en la mezcla de concreto.

En el gráfico se puede notar que el contenido de pasta en la mezcla de concreto decrece a medida que disminuye la dosificación de agua y la relación a/c , y se incrementa la dosificación de aditivo. Por ejemplo, para los concretos generados a partir del concreto patrón normal de relación $a/c = 0.45$ y con 1.2% de dosificación de aditivo, en las mezclas A451 y A452 el contenido de pasta decrece de 0.417 a $0.409 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto respectivamente cuando la dosificación de agua pasa de 225.1 a 214.1 l/m^3 de concreto y el cemento de 0.186 a $0.188 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto; cambios similares ocurren en todas las mezclas generadas del mismo modo.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.1.g: Se presenta el tiempo de desplazamiento (T50) y la relación a/c de las mezclas fluidas de concreto, en función de la dosificación de aditivo y manteniendo constante la capacidad de fluir en un medio libre (Dmax.), en el ensayo de extensión de flujo.

En el presente gráfico se tiene dos mezclas de concreto fluido (A502 y A504), en él se puede notar que ambas tienen similar Dmax., sin embargo la relación a/c varía siendo de 0.44 para la mezcla A502 y 0.384 para la A504. La dosificación de aditivo es mayor en la mezcla que posee relación a/c más baja debido a que la mayor concentración de cemento en ésta genera un concreto más cohesivo y viscoso, y por lo tanto menos fluido. Finalmente los valores de T50 son diferentes presentando mayor tiempo la mezcla de menor relación a/c debido también a la mayor viscosidad de dicha mezcla.

Ambas mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.1.h: Se presenta la capacidad de fluir (Dmax.) y el tiempo de desplazamiento (T50) de las mezclas fluidas de concreto en un medio libre, en función de la dosificación de aditivo y el contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c , en el ensayo de extensión de flujo.

En el gráfico se puede notar que de tres mezclas de igual relación $a/c = 0.36$, aquella con mayor contenido de pasta por 1 m^3 de concreto, presenta valores más altos de diámetro máximo (Dmax.) y menor tiempo en alcanzar 50 cm de diámetro (T50) en el ensayo de extensión de flujo. La mezcla A454 fue la que arrojó mejores resultados $D_{max}/T_{50} = 790\text{mm./}2\text{seg.}$ para un contenido de pasta de 0.410 m^3 por 1 m^3 de concreto.

De los resultados se deduce que la mayor dosificación de aditivo no necesariamente produce mejores resultados de Dmax. y T50, para que ello ocurra debe existir la suficiente cantidad de pasta en la mezcla de concreto de tal manera que el comportamiento autocompactante se genere. En el gráfico presentado, la mezcla A506 a pesar de tener la mayor dosificación de aditivo (2.0%) no posee los mejores resultados en el ensayo de extensión de flujo $D_{max}/T_{50} = 680\text{mm./}8\text{seg.}$, debido al contenido de pasta de 0.362 m^3 por 1 m^3 de concreto, cantidad que resulta insuficiente; sin embargo la mezcla A452 con 0.409 m^3 de pasta por 1 m^3 de concreto, es decir 0.047 m^3 más que la mezcla anterior, y a pesar de tener menor dosificación de aditivo (1.2%) ya presenta resultados satisfactorios $D_{max}/T_{50} = 745\text{mm./}3\text{seg.}$, los cuales son notablemente mejorados al aumentar el contenido de pasta a 0.410 m^3 y la dosificación de aditivo a 1.6% en la mezcla A454. Es necesario notar que en el último caso dicho aumento solo es considerable en la dosificación de aditivo pero no tanto en el contenido de pasta, pues el aumento

registrado fue solo de 0.001 m^3 , por lo tanto también se puede decir que, en algunos casos, a relación a/c y cantidad de pasta constantes el incremento en la dosificación de aditivo mejora los resultados en el ensayo de extensión de flujo.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.1.i: Se presenta la capacidad de fluir y autonivelarse (R. Bloqueo), y los tiempos de desplazamiento (T20 y T40) de las mezclas fluidas de concreto, en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos, en función de la dosificación de aditivo y el contenido de pasta, manteniendo constante la relación a/c, en el ensayo Caja L.

En el gráfico se puede notar que de tres mezclas de igual relación a/c = 0.36, aquella con mayor contenido de pasta por 1 m^3 de concreto, presenta valores más altos de Radio de Bloqueo (R. Bloqueo) y menores tiempos en alcanzar 20 y 40 cm (T20 y T40) de recorrido en la sección horizontal de la Caja L en el ensayo del mismo nombre. La mezcla A454 fue la que arrojó mejores resultados $R.Bloqueo/T20/T40 = 0.85/2\text{seg.}/6\text{seg.}$ para un contenido de pasta de 0.410 m^3 por 1 m^3 de concreto.

De los resultados se deduce que la mayor dosificación de aditivo no necesariamente produce mejores resultados de R.Bloqueo, T20 y T40, para que ello ocurra debe existir la suficiente cantidad de pasta en la mezcla de concreto de tal manera que el comportamiento autocompactante se genere. En el gráfico presentado la mezcla A506 a pesar de tener la mayor dosificación de aditivo (2.0%) no posee los mejores resultados en el ensayo de caja L $R.Bloqueo/T20/T40 = -/10\text{seg.}/25\text{seg.}$, debido al contenido de pasta de 0.362 m^3 por 1 m^3 de concreto, cantidad que resulta insuficiente; sin embargo la mezcla A452 con 0.409 m^3 de pasta por 1 m^3 de concreto, es decir 0.047 m^3 más que la mezcla anterior, y a pesar de tener menor dosificación de aditivo (1.2%) ya presenta resultados satisfactorios $R.Bloqueo/T20/T40 = 0.10/3\text{seg.}/10\text{seg.}$ los cuales son notablemente mejorados al aumentar el contenido de pasta a 0.410 m^3 y la dosificación de aditivo a 1.6% en la mezcla A454. Es necesario notar que en el último caso dicho aumento solo es considerable en la dosificación de aditivo pero no tanto en el contenido de pasta, pues el aumento registrado fue solo de 0.001 m^3 , por lo tanto también se puede decir que a relación a/c y cantidad de pasta constantes el incremento en la dosificación de aditivo mejora los resultados en el ensayo de caja L.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Del análisis de los gráficos 6.1.1.h y 6.1.1.i se puede concluir que, simplemente manteniendo constante una relación a/c y mediante incremento en el contenido de pasta y/o dosificación de aditivo en una mezcla fluida de concreto, el comportamiento autocompactante de ella mejora notablemente, en especial la capacidad de fluir y autonivelarse en un medio con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos. Este efecto positivo se expresa en incrementos en los valores de diámetro máximo (Dmax) en el ensayo de extensión de flujo y Radio de Bloqueo (R. Bloqueo) en el ensayo de Caja L, además de generar tiempos de desplazamiento rápidos en las mezclas de concreto.

7.1.2 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS PATRONES NORMALES VARIANDO LA RELACION ARENA/PIEDRA (A/P), MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Cuadro 6.1.2.a: En este cuadro se presenta la mayor cantidad de datos que puedan caracterizar a una mezcla fluida de concreto la cual sufrió cambios en la relación arena / piedra (A/P) de 50/50 a 53/47, con el fin de estudiar los cambios en su comportamiento y tratando de alcanzar los valores mínimos establecidos en los ensayos de extensión de flujo y la caja L. Se presenta 1 cuadro para los concretos fluidos derivados de los concretos patrones normales de relación a/c (en peso) = 0.50 y 0.45, los cuales fueron obtenidos mediante adición de aditivo superplastificante en dosificaciones de 1.6 y 2.0% del peso de cemento, reducción de la cantidad de agua para evitar la segregación de la mezcla y modificación de la relación A/P.

Se notó que cantidades excesivas de agregado grueso generaban problemas de bloqueo en la Caja L (R.Bloqueo<0.80), si a mayor dosificación de agregados existe una menor presencia de pasta de cemento, entonces se puede decir que el problema de bloqueo se genera por excesiva cantidad de agregado grueso e insuficiente cantidad de pasta de cemento, además de problemas derivados de la viscosidad de la mezcla de concreto.

El problema de viscosidad del concreto se puede solucionar mediante incremento en la dosificación del aditivo superplastificante o también adicionando más pasta a la mezcla; sin embargo ambas soluciones se centran en el manejo del cemento y el aditivo que son los materiales más caros en la mezcla de concreto. En esta sección se planteó la siguiente pregunta: ¿Qué podría pasar si la solución se diera manejando al agregado?, en vista de ello se optó por modificar la relación A/P a 53/47 de tal manera que la arena aportara más finos a la pasta formada por agua + cemento y así evitar que solo el cemento diera material fino para la generación de pasta, indirectamente también se lograría disminuir la presencia del agregado grueso y así tratar de eliminar los problemas de bloqueo generados por la interacción entre las partículas mayores en el concreto.

Gráfico 6.1.2.b: Se presenta la capacidad de fluir (Dmax.) y el tiempo de desplazamiento (T50) de las mezclas fluidas de concreto en un medio libre, en función de la relación arena/piedra (A/P) y manteniendo constante la dosificación de aditivo, en el ensayo de extensión de flujo.

En el gráfico se aprecia que las mezclas generadas con relación A/P=53/47 no tuvieron buenos resultados de Dmax. y T50 en el ensayo de extensión de flujo. La tendencia en el comportamiento de dichas mezclas (A505 y A456) fue la de disminuir el valor del diámetro máximo (Dmax.) y aumentar el tiempo necesario para alcanzar 50 cm. de diámetro (T50), es decir un comportamiento indeseable para un concreto fluido y más aun para un concreto fluido que sea autocompactante.

Al contacto con la mano estas mezclas presentan mayor rugosidad comparadas con las mezclas de relación A/P=50/50, debido a la mayor presencia de arena, ello originaría mayores fuerzas de fricción interna en el concreto que origina una mezcla más viscosa o menos fluida.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.2.c: Se presenta la capacidad de fluir y autonivelarse (R.Bloqueo) y los tiempos de desplazamiento (T20 y T40) de las mezclas fluidas de concreto, en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos, en función de la relación arena/piedra (A/P) y manteniendo constante la dosificación de aditivo, en el ensayo de Caja L.

En el gráfico se aprecia que las mezclas generadas con relación A/P=53/47 no tuvieron buenos resultados de R.Bloqueo, T20 y T40. La tendencia en el comportamiento de dichas mezclas (A505 y A456) fue la de disminuir el valor del Radio de Bloqueo (R. Bloqueo) y aumentar el tiempo necesario para alcanzar 20 y 40 cm (T20 y T40) de recorrido en la sección horizontal de la Caja L, es decir un comportamiento indeseable para un concreto fluido y más aun para un concreto fluido que sea autocompactante.

Al contacto con la mano estas mezclas presentan mayor rugosidad comparadas con las mezclas de relación A/P=50/50, debido a la mayor presencia de arena, ello originaría mayores fuerzas de fricción interna en el concreto que nos lleva a una mezcla más viscosa o menos fluida y además con marcada tendencia al bloqueo.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Del análisis de los gráficos 6.1.2.b y 6.1.2.c se puede concluir que al incrementar la relación arena/piedra (A/P) y disminuir la relación a/c, con una misma dosificación de aditivo, solo se consigue generar mezcla fluidas rugosas con menor capacidad de fluir y deformarse, expresado en disminuciones en la capacidad de fluir en un medio libre y en un medio restringido (bloqueo), además de generar tiempos de desplazamiento lentos en las mezclas de concreto.

Parece que incrementar la relación A/P cuando se utiliza una arena con poco contenido de finos, ideal para concretos normales, solo trae consigo disminuir el comportamiento autocompactante.

7.1.3 MEZCLAS GENERADAS A PARTIR DE CONCRETOS FLUIDOS, INCREMENTANDO EL CONTENIDO DE PASTA Y MANTENIENDO CONSTANTE LA RELACION a/c Y LA DOSIFICACIÓN DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Cuadro 6.1.3.a: En este cuadro se presenta la mayor cantidad de datos que puedan caracterizar a una mezcla fluida de concreto la cual sufrió incrementos en el contenido de pasta manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo con el fin de estudiar los cambios en su comportamiento y tratando de alcanzar los valores mínimos establecidos en los ensayos de extensión de flujo y la caja L. Se presenta 1 cuadro para los concretos fluidos derivados de los concretos también fluidos A502 y A454, los cuales fueron obtenidos en la sección 6.1.1 mediante adición de aditivo superplastificante en dosificaciones de 1.2 y 1.6% del peso de cemento respectivamente y reducción de la cantidad de agua para evitar la segregación de la mezcla.

Se notó que el cambio de relación A/P de 50/50 a 53/47 no mejoró los resultados en los ensayos de extensión de flujo y caja L. En vista de los malos resultados obtenidos en la sección 7.1.2 se optó por incrementar el contenido de pasta en la mezcla de concreto manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo, y así tratar de obtener mejoras en el comportamiento autocompactante de las mezclas fluidas de concreto.

Gráfico 6.1.3.b: Se presenta la capacidad de fluir (Dmax.) y el tiempo de desplazamiento (T50) de las mezclas fluidas de concreto en un medio libre, en función del contenido de pasta y manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo, en el ensayo de extensión de flujo.

En el gráfico se puede notar que incrementos en el contenido de pasta manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo mejora notablemente los valores de Dmax/T50. Por ejemplo, en el gráfico se tiene la mezcla A502 con Dmax/T50 de 655mm./2seg., 0.385 m³ de pasta por 1m³de concreto y 1.2% de dosificación de aditivo; al incrementar en 0.052 m³ de pasta y obtener la mezcla A502-1 los valores de Dmax/T50 cambian a 720mm./2seg. es decir se incrementa la extensión lograda por la mezcla y se mantiene el valor de T50. Un caso similar ocurre con las mezclas A454 y A454-1, la segunda mezcla tiene 0.02 m³ de pasta más que la primera y los valores de Dmax/T50 son: 790mm./2seg y 805mm./2seg respectivamente.

Todas mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.3.c: Se presenta la capacidad de fluir y autonivelarse (R.Bloqueo) y los tiempos de desplazamiento (T20 y T40) de las mezclas fluidas de concreto, en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos, en función del contenido de pasta y manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo, en el ensayo de Caja L.

En el grafico se puede notar que incrementos en el contenido de pasta manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo mejora notablemente los valores de R.Bloqueo/T20/T40. Por ejemplo, en el gráfico se tiene la mezcla A502 con R.Bloqueo/T20/T40 de 0.33/3seg/6seg., 0.385 m³ de pasta por 1m³de concreto y 1.2% de dosificación de aditivo; al incrementar en 0.052 m³ de pasta y obtener la mezcla A502-1 los valores de R.Bloqueo/T20/T40 cambian a 0.83/2seg/3seg. es decir se incrementa el Radio de Bloqueo logrado por la mezcla y disminuyen los valores de T20 y T40. Un caso similar ocurre con las mezclas A454 y A454-1, la segunda mezcla tiene 0.02 m³ de pasta más que la primera y los valores de R.Bloqueo/T20/T40 son: 0.85/2seg/6seg y 0.89/2seg/5seg respectivamente.

En este gráfico se aprecia claramente las mejoras en el comportamiento autocompactante de las mezclas fluidas al incrementar el contenido de pasta manteniendo constante la relación a/c y la dosificación de aditivo. La eliminación del bloqueo en la mezcla A502 nos indica que este procedimiento es una buena manera de lograr mezclas autocompactantes, es decir de excelente fluidez, bloqueo nulo y adecuada resistencia a la segregación.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

7.1.4 MEZCLAS DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE GENERADAS CON EL FIN DE COMPARARLAS CON CONCRETOS PATRONES NORMALES DE SIMILAR RELACION a/c

Cuadro 6.1.4.a: En este cuadro se presenta la mayor cantidad de datos que puedan caracterizar a una mezcla de concreto autocompactante de relación a/c similar al concreto patrón normal, con el fin de comparar algunas de sus propiedades. Se presenta 1 cuadro para los concretos patrones

normales de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40) y los concretos autocompactantes de relación $a/c=0.50$ (CAC50), 0.44 (CAC44) y 0.40 (CAC40) generados a partir de las experiencias obtenidas en las secciones anteriores.

Gráfico 6.1.4.b: Se presenta el contenido de cemento de los concretos autocompactantes y concretos patrones normales de similar relación a/c .

Del gráfico se puede notar que el rango de peso de cemento necesario por 1 m^3 de concreto entre relaciones a/c de 0.40 y 0.50 es mayor en los concretos normales que en los concretos autocompactantes, aproximadamente 212 kg/m^3 de concreto para los primeros y solo 37.5 kg/m^3 de concreto para los segundos. Además se aprecia que para relaciones a/c menores a 0.45 el contenido de cemento es menor en los concretos autocompactantes que en los concretos patrones normales de similar relación a/c . Por ejemplo la mezcla de concreto patrón de relación $a/c=0.40$ necesita de 700 kg/m^3 de concreto para lograr una trabajabilidad adecuada representada en un asentamiento de $3 \frac{1}{2}$ " pulgadas en el ensayo del cono de Abrams, mientras que la mezcla de concreto autocompactante solo requiere de 587.5 kg/m^3 de concreto para lograr un comportamiento autocompactante es decir una trabajabilidad que supera largamente a la mezcla de concreto normal.

Los mayores contenidos de cemento en los concretos de consistencia normal para relaciones a/c menores a 0.45 con respecto a los concretos autocompactantes, pueden ser explicados por el incremento de la tendencia a la floculación de las partículas de cemento en suspensión, a medida que disminuye la relación a/c y aumenta la concentración de cemento con respecto al agua. El proceso de floculación origina la formación de una red de partículas de cemento que atrapan parte del agua, impidiendo que esta se encuentre disponible para la hidratación superficial del cemento y para la fluidificación de la mezcla, por ello al disminuir la relación a/c la necesidad de agua se incrementa para lograr la consistencia (asentamiento) deseada y directamente también aumenta el contenido de cemento para conservar la relación a/c .

En los concretos autocompactantes y concretos fluidos simples, la propiedad antifloculante de los aditivos superplastificantes logra usar al máximo el poder fluidificante del agua y que en conjunto con el efecto dispersante del aditivo en las partículas de cemento, generan una alta capacidad de fluir en las mezclas de concreto. Por ello se necesita un menor contenido de agua para hacer fluida la mezcla y directamente debido a la relación a/c , se utiliza menor cantidad de cemento. Esta es la razón por la cual las mezclas autocompactantes necesitan menor contenido de cemento para relaciones a/c menores a 0.45, comparado con concretos patrones normales.

Gráfico 6.1.4.c: Se presenta la resistencia a la compresión de los concretos autocompactantes y concretos patrones normales de similar relación a/c .

En el gráfico se puede notar que en todos los casos las mezclas autocompactantes mostraron mayor resistencia en compresión que los concretos patrones normales de similar relación a/c , aproximadamente en 20%. En las mezclas de relación a/c mayores a 0.45 las mayores resistencias de los concretos autocompactantes eran de esperarse debido a los mayores contenidos de cemento, sin embargo las mezclas autocompactantes de relaciones a/c menores a

0.45 a pesar de tener menor contenido de cemento que los concretos normales, mostraron mayores resistencias.

7.1.5 PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

Cuadro 6.1.5.a: En este cuadro se presenta la mayor cantidad de datos que puedan caracterizar a una mezcla de concreto autocompactante con el fin de generar un procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes. Se presenta 1 cuadro para los concretos autocompactantes que aprobaron satisfactoriamente los ensayos de extensión de flujo y caja L de relación $a/c=0.50$ (CAC50), 0.44 (CAC44), 0.40 (CAC40), 0.36 (A454) y 0.336 (A458).

Las mezclas de relación $a/c=0.324$ (A401), 0.293 (A403) y 0.289 (A405) generadas en la sección 6.1.1 poseen alta viscosidad y cohesión fruto de las grandes concentraciones de cemento y poca presencia de agua, dichas mezclas a pesar de tener buenos valores de D_{max} y no presentar bloqueo alguno, son muy lentas y su uso sería poco recomendable. Por dichas razones ellas no fueron utilizadas en la generación de tendencias para encontrar un procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes

Gráfico 6.1.5.b: Se presenta la variación de la Relación a/c en función de la Resistencia a la Compresión (7d) de las mezclas generadas de concreto autocompactante.

En el este gráfico se puede notar una clara tendencia en la dispersión de los puntos, se propone una curva cuya entrada es la resistencia mecánica en compresión a los 7 días del concreto y el dato de salida es la relación a/c correspondiente a dicha resistencia requerida. Es el primer cuadro propuesto para el procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes.

La dosificación de aditivo se incrementa a medida que la relación a/c disminuye, ello ocurre básicamente porque la mayor concentración de cemento con respecto al agua genera aumento en la viscosidad y cohesión de la mezcla. Se puede decir que con relaciones a/c entre 0.50 y 0.40 se debe utilizar 1.2% de dosificación de aditivo, a una relación a/c de 0.36 se incrementa la dosificación a 1.6% y a 0.336 de relación a/c se utiliza la máxima dosificación analizada, 2.0%.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.1.5.c: Se presenta la variación del Contenido de Cemento en función de la Relación a/c de las mezclas generadas de concreto autocompactante.

En el gráfico se puede notar otra clara tendencia en la dispersión de los puntos, se propone una curva cuya entrada es la relación a/c obtenida del gráfico 6.1.5.b y el dato de salida es el contenido de cemento aproximado correspondiente a dicha relación a/c requerida. Es el segundo cuadro propuesto para el procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes.

Todas mezclas no presentaron indicios de segregación.

7.2 CUADROS Y GRAFICOS COMPARATIVOS DE 3 MEZCLAS FLUIDAS DE CONCRETO

Como ya se explicó al inicio de este capítulo, en la segunda parte del análisis de los resultados se desarrollará el estudio de la variación en las propiedades de 3 mezclas fluidas de concreto, tanto al estado fresco como al estado endurecido, teniendo como objetivo principal comprobar la autocompactación de las mezclas fluidas comparando los resultados obtenidos en mezclas ensayadas según los procedimientos normados con otras en las cuales se eliminó toda forma de compactación inducida.

Estas mezclas fueron los concretos fluidos de relación $a/c=0.44$ (A502) derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$ (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%. Además se analizó los concretos patrones normales de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40)

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

	Concreto Patrón	Concreto Fluido
CONCRETO FRESCO		
Consistencia (Asentamiento)	X	
Extensión de Flujo		X
Caja L		X
Peso Unitario	X	X
Contenido de Aire	X	X
Porcentaje de Exudación	X	X
Tiempo de Fraguado	X	X
CONCRETO ENDURECIDO		
Resistencia a la Compresión	X	X
Resistencia a la Tracción por compresión diametral	X	X
Módulo de Elasticidad	X	X
Porcentaje de Absorción	X	X

7.2.1 ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

7.2.1.1 Extensión de Flujo, Caja L y Asentamiento Normal del Concreto

Cuadro 6.2.1.1.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de Asentamiento, para los concretos patrones normales, y Extensión de Flujo y Caja L para los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación $a/c=0.44$ (A502)

derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$ (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.1.1.b: Se presenta el Contenido de Pasta y el Asentamiento en función de la relación a/c en los concretos patrones normales.

Del gráfico se puede notar que a medida que disminuye la relación a/c y se mantiene constante el asentamiento de la mezcla, el contenido de pasta necesario para cumplir con dichas características se incrementa. Por ejemplo, para un asentamiento de $3\frac{1}{2}$ " la mezcla de relación $a/c=0.50$ (P50) necesita de 0.399 m^3 de pasta/ m^3 de concreto, incrementándose dicho valor a $0.435\text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto para la mezcla de relación $a/c=0.45$ (P45) y a $0.502\text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto para la mezcla de relación $a/c=0.40$ (P40).

Gráfico 6.2.1.1.c: Se presenta la capacidad de fluir (D_{max}), tiempo de desplazamiento (T_{50}) y contenido de pasta de las mezclas fluidas de concreto en un medio libre, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo, en el ensayo de extensión de flujo.

En el gráfico se puede notar que la mezcla A454 es la que mejores valores obtuvo en el ensayo de extensión de flujo: $D_{max}=790\text{mm}$ y $T_{50}=2\text{seg}$.

La mezcla A502 arrojó un valor de D_{max} (655mm.) muy cercano al límite inferior recomendable para concretos autocompactantes (650mm). Por otro lado el valor de $T_{50}=2\text{seg}$. resultaba bueno para una mezcla de concreto autocompactante.

La mezcla A403 tuvo un excelente valor de $D_{max}=755\text{mm}$., afectado por el alto valor de $T_{50}=6\text{seg}$. que demostraba que de las tres mezclas estudiadas ésta era la más lenta.

Se puede decir que las tres mezclas fluidas de concreto satisfacen los requerimientos de los concretos autocompactantes en el ensayo de extensión de flujo ($D_{max}>650\text{mm}$. y $2<T_{50}<5\text{seg}$.), sin embargo la mezcla A502 estaba muy cercana a los límites recomendados para concretos autocompactantes y la mezcla A403 es un concreto autocompactante pero de desplazamiento lento, propiedad que es poco recomendable para este tipo de concretos; solo la mezcla A454 arroja valores que aprueban dentro un rango seguro los requerimientos de los concretos autocompactantes.

También se debe dejar en claro que no solo porque una mezcla tiene alto contenido de pasta su comportamiento autocompactante será el mejor, eso se comprueba con la mezcla A403 que posee el mayor contenido de pasta de las tres mezclas presentadas en este gráfico, sin embargo debido a la alta concentración de cemento y la poca presencia de agua fruto de la baja relación a/c ocasiona que ésta sea una mezcla muy cohesiva y viscosa.

Gráfico 6.2.1.1.d: Se presenta la capacidad de fluir y autonivelarse, tiempos de desplazamiento, y contenido de pasta de las mezclas fluidas de concreto, en zonas con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo, en el ensayo de Caja L.

En el gráfico se puede notar que la mezcla A454 es la que mejores valores obtuvo en el ensayo de caja L. $R_{\text{Bloqueo}}/T_{20}/T_{40}= 0.85/2\text{seg.}/6\text{seg}$.

La mezcla A502 con $R.Bloqueo/T20/T40 = 0.33/3seg./6seg.$ presentó un radio de bloqueo muy por debajo del recomendado para concretos autocompactantes ($R.Bloqueo > 0.80$), los valores de T20 y T40 son buenos y muy parecidos a los obtenidos por la mezcla A454.

La mezcla A403 arrojó un valor de $R.Bloqueo/T20/T40 = 0.95/4seg./10seg.$, que resulta bastante bueno para el Radio de Bloqueo pero está afectado por el alto valor de T20 y especialmente de T40, lo que demuestra que de las tres mezclas es la más lenta en el ensayo de Caja L.

Se puede decir que dos mezclas (A454 y A403) satisfacen los requerimientos de los concretos autocompactantes en el ensayo de Caja L ($R. Bloqueo > 0.80$), sin embargo la mezcla A403 presenta un desplazamiento lento en la Caja L, propiedad que es poco recomendable para este tipo de concretos. Solo la mezcla A454 arroja valores que aprueban dentro un rango seguro los requerimientos de los concretos autocompactantes.

También se debe dejar en claro que no solo porque una mezcla tiene alto contenido de pasta su comportamiento autocompactante será el mejor, eso se comprueba con la mezcla A403 que posee el mayor contenido de pasta de las tres mezclas presentadas en este gráfico, sin embargo debido a la alta concentración de cemento y la poca presencia de agua fruto de la baja relación a/c ocasiona que esta sea una mezcla muy cohesiva y lenta en el ensayo de Caja L.

Gráfico 6.2.1.1.e: Se presenta el Contenido de Pasta en función de la relación a/c, y la dosificación de aditivo de los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Del gráfico se puede notar que todos los concretos fluidos (A502, A454 y A403) poseen menor cantidad de pasta de cemento que su respectivo concreto patrón normal del cual fueron generados. Además se puede notar el poder fluidificante del aditivo superplastificante, a pesar de poseer una relación a/c más baja y con ello menor cantidad de agua y mayor concentración de cemento, los concretos fluidos presentan una mayor trabajabilidad con respecto a los concretos patrones normales, llegando incluso a la autocompactación en las mezclas A454 y A403. Por ejemplo, la mezcla de concreto patrón normal P45 de relación a/c=0.45 tiene una concentración de cemento de 566.7 kg/m^3 de concreto, una dosificación de agua de 255 l/m^3 de concreto y una trabajabilidad representada en un asentamiento de $3 \frac{1}{2}$ " en el Cono de Abrams, por otro lado la mezcla A454 derivada del concreto patrón anterior posee una relación a/c=0.36 y una concentración de cemento de 592.5 kg/m^3 de concreto, 25.8 kg. más que la mezcla P45, una dosificación de agua de 213.3 l/m^3 de concreto, 41.7 l. menos que la mezcla P45, y una excelente trabajabilidad (asentamiento total en el cono de Abrams y $D_{max} > 650\text{mm.}$) que supera notablemente a la demostrada por el concreto patrón P45. Caso similar ocurre con las mezclas A502 y A403.

7.2.1.2 Peso Unitario y Contenido de Aire del Concreto

Cuadro 6.2.1.2.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de Peso Unitario y Contenido de Aire en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación a/c=0.50 (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación a/c=0.44 (A502) derivado del concreto patrón P50, a/c=0.36 (A454) derivado del concreto patrón P45 y a/c=0.293

(A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los concretos fluidos fueron ensayados de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado para estos dos ensayos (por ejemplo A502V); la segunda forma de ensayo eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.1.2.b: Se presenta el Peso Unitario y del Contenido de Aire en los concretos patrones normales y los concretos fluidos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo.

En el gráfico se puede notar que las mezclas varilladas A454V y A403V poseen Pesos Unitarios ligeramente mayores que sus respectivas mezclas que no fueron varilladas, en el caso de la mezcla A454 el Peso Unitario es de 2348.4 Kg/m³ mientras que la mezcla varillada A454V tiene 2352.0 Kg/m³, es decir solo 0.15% mayor que A454. Para la mezcla A403 el Peso Unitario es de 2344.9 Kg/m³ mientras que la mezcla varillada A403V tiene 2348.4 Kg/m³, solo 0.14% mayor que A403. El caso de la mezcla A502 es similar, cuando no es varillada el Peso Unitario es de 2302.5 Kg/m³ mientras que la mezcla varillada A502V tiene 2323.7 Kg/m³, es decir 0.90% mayor que A502, el mayor porcentaje de las tres mezclas.

Con respecto al contenido de aire el comportamiento es el siguiente: en el caso de la mezcla A454 el Contenido de Aire es de 2.19% mientras que la mezcla varillada A454V tiene 2.05%. Para la mezcla A403 el Contenido de Aire es de 2.64% mientras que la mezcla varillada A403V tiene 2.49%. El caso de la mezcla A502 es similar, cuando no es varillada el Contenido de Aire es de 3.31% mientras que la mezcla varillada A502V tiene 2.42%, la mezcla A502 es la que presenta el mayor contenido de aire y por lo tanto es el más desfavorable pues dicho valor no es recomendable para un buen concreto.

Se puede decir que la casi nula variación en el peso unitario y el contenido de aire entre las mezclas A454, A454V y A403, A403V, comprueba que estas mezclas a pesar de no recibir compactación externa pueden consolidarse por la acción de su propio peso, es decir se autocompactan.

7.2.1.3 Exudación del Concreto

Cuadro 6.2.1.3.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de Exudación en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación a/c=0.50 (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación a/c=0.44 (A502) derivado del concreto patrón P50, a/c=0.36 (A454) derivado del concreto patrón P45 y a/c=0.293 (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los concretos fluidos fueron ensayados de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado para este ensayo (por ejemplo A502V); la segunda forma de ensayo eliminó todo tipo de compactación externa de

tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación

Gráfico 6.2.1.3.b: Se presenta el Porcentaje de Exudación de los concretos patrones normales y los concretos fluidos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo.

En el gráfico se puede notar que las mezclas de concreto fluido A502, A454 y A403 varilladas o no, poseen % de exudación bastante menores que las respectivas mezclas de concreto patrón normal del cual fueron generadas. Este comportamiento se debe principalmente a la disminución del contenido de agua al usar el aditivo superplastificante. Al eliminar el agua en exceso, el porcentaje de este material que asciende a la superficie es mucho menor al de los concretos normales que no sufren reducción de agua.

La variación del % de exudación entre mezclas fluidas de concreto varilladas o no, es mínima. Por ejemplo, la mezcla A502 presenta 0.23% mientras que la A502V posee 0.21%, caso similar ocurre con la mezcla A454 que presenta 0.07% mientras que la A502V posee 0.06%, la mezcla A403 y A403V tiene % de exudación similar 0.04%.

Es necesario notar que los concretos que poseen valores muy bajos de exudación de agua, como en estos casos, requieren cuidados extras al momento de curar la mezcla, debido principalmente a que la tasa de exudación de agua del concreto fresco debe procurar ser siempre mayor a la tasa de evaporación del medio ambiente, de esa manera se asegura un medio húmedo en la superficie del concreto que se está hidratando. Además, las mezclas con bajo % de exudación son menos porosas debido a que el agua que no intervino en la hidratación y que normalmente forma cavidades en el interior de la mezcla, tiene menor presencia logrando con ello un material mas compacto.

7.2.1.4 Tiempo de Fraguado del Concreto

Cuadro 6.2.1.4.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de Tiempo de Fraguado en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación a/c=0.50 (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación a/c=0.44 (A502) derivado del concreto patrón P50, a/c=0.36 (A454) derivado del concreto patrón P45 y a/c=0.293 (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los concretos patrones normales y los concretos fluidos fueron ensayados de una sola manera: sin aplicar compactación de acuerdo a los procedimientos normados.

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación

Gráfico 6.2.1.3.b: Se presenta el Tiempo de Fraguado de los concretos patrones normales y los concretos fluidos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo.

En el gráfico se puede notar que las mezclas de concreto fluido A502, A454 y A403, poseen tiempos de fragua inicial y final bastante mayores que sus respectivas mezclas de

concreto patrón normal del cual fueron generadas. Este comportamiento se debe principalmente a la adición del aditivo superplastificante que además posee propiedades retardantes de fragua.

En el gráfico se puede apreciar que en los concretos patrones normales al disminuir la relación a/c los tiempos de fragua inicial y final también disminuyen, por ejemplo: la mezcla P50 de relación $a/c=0.50$ tiene una fragua inicial = 04:13 h:m y fragua final = 5:24 h:m, la mezcla P45 de relación $a/c=0.45$ tiene una fragua inicial = 03:55 h:m y fragua final = 4:54 h:m y la mezcla P40 de relación $a/c=0.40$ tiene una fragua inicial = 03:36 h:m y fragua final = 4:19 h:m. La concentración de agua con respecto al cemento es la principal influencia en los tiempos de fragua para los concretos que no tienen aditivo superplastificante y retardante en su composición.

En los concretos fluidos el mayor o menor tiempo de fragua depende de la dosificación de aditivo y también de la relación a/c , esto se puede notar si se comparan las mezclas A502 y A454, la primera tiene relación $a/c=0.44$ con fragua inicial = 07:24 h:m y fragua final = 8:18 h:m, la segunda mezcla posee relación $a/c=0.36$ con fragua inicial = 8:45 h:m y fragua final = 9:40 h:m, se nota que la mezcla A454 a pesar de tener menor relación a/c tiene tiempos de fragua mayores debido a la mayor dosificación de aditivo, 1.6% comparado con 1.2% de la mezcla A502. Pero si se mantiene constante la dosificación de aditivo se puede apreciar que cuando disminuye la relación a/c también lo hacen los tiempos de fragua, ello se comprueba si se comparan las mezclas A454 y A403, esta última posee relación $a/c=0.293$ con fragua inicial = 7:10 h:m y fragua final = 9:02 h:m., que son tiempos menores que la mezcla A454.

7.2.2 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

7.2.2.1 Resistencia a la Compresión del Concreto

Cuadro 6.2.2.1.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a la Compresión en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación $a/c=0.44$ (A502) derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$ (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los muestras de los concretos fluidos fueron obtenidas de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado (por ejemplo A502V); la segunda forma eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.1.b: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P50) de relación $a/c=0.50$ y el concreto fluido (A502) de relación $a/c=0.44$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días).

En el gráfico se puede notar que la mezcla de concreto fluido A502, varillada o no, posee resistencias más altas que el concreto patrón en todas las edades, por ejemplo: a los 28 días

A502V=613.6 kg/cm², A502=555.6 kg/cm² y P50=389.9 kg/cm², esto era de esperarse debido a la relación a/c más baja que posee. Además la mezcla de concreto fluido que fue varillada (A502V) en todas las edades resultó tener mayor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A502), es decir la mezcla fluida todavía no alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto no se autocompacta.

Gráfico 6.2.2.1.c: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P45) de relación a/c=0.45 y el concreto fluido (A454) de relación a/c=0.36 en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días).

En el gráfico se puede notar que la mezcla de concreto fluido A454, varillada o no, posee resistencias más altas que el concreto patrón en todas las edades, por ejemplo: a los 28 días A454V=657.9 kg/cm², A454=661.0 kg/cm² y P45=427.2 kg/cm², esto era de esperarse debido a la relación a/c más baja que posee. Además la mezcla de concreto fluido que fue varillada (A454V) en todas las edades resultó tener menor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A454), es decir la mezcla fluida alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto se autocompacta.

Gráfico 6.2.2.1.d: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P40) de relación a/c=0.40 y el concreto fluido derivado de él (A403) de relación a/c=0.293 en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días).

En el gráfico se puede notar que la mezcla de concreto fluido A403, varillada o no, posee resistencias más altas que el concreto patrón en todas las edades, por ejemplo: a los 28 días A403V=723.0 kg/cm², A403=720.7 kg/cm² y P40=441.1 kg/cm², esto era de esperarse debido a la relación a/c más baja que posee. Además la mezcla de concreto fluido que fue varillada (A403V) a los 7 días de edad de ensayo resultó tener menor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A403), es decir la mezcla fluida alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto se autocompacta; sin embargo a la edad de 14 y 28 días la mezcla A403V resultó tener mayor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A403), esta diferencia era mínima y por lo tanto podría despreciarse y considerarse de resistencias iguales.

Cuadro 6.2.2.1.e: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a la Compresión en los concretos patrones normales y los concretos fluidos, expresándolos como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón normal.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación a/c=0.50 (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación a/c=0.44 (A502) derivado del concreto patrón P50, a/c=0.36 (A454) derivado del concreto patrón P45 y a/c=0.293 (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los concretos fluidos fueron ensayados de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado para este ensayo (por ejemplo A502V); la segunda forma de ensayo eliminó todo tipo de compactación inducida de

tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.1.f: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P50) de relación $a/c=0.50$ y el concreto fluido (A502) de relación $a/c=0.44$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón P50.

Del gráfico se puede apreciar que la mezcla de concreto fluido A502, varillada o no, posee resistencias más altas que el concreto patrón en todas las edades, por ejemplo: a los 28 días A502V y A502 tienen 57.4% y 42.5% más que P50 respectivamente, esto era de esperarse debido a la relación a/c más baja que posee. Además la mezcla de concreto fluido que fue varillada (A502V) en todas las edades resultó tener mayor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A502), es decir la mezcla fluida todavía no alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto no se autocompacta.

Gráfico 6.2.2.1.g: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P45) de relación $a/c=0.45$ y el concreto fluido (A454) de relación $a/c=0.36$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón P45.

Del gráfico se puede apreciar que la mezcla de concreto fluido A454, varillada o no, posee resistencias más altas que el concreto patrón en todas las edades, por ejemplo: a los 28 días A454V y A454 tienen 54.0% y 57.7% más que P45 respectivamente, esto era de esperarse debido a la relación a/c más baja que posee. Además la mezcla de concreto fluido que fue varillada (A454V) en todas las edades resultó tener menor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A454), es decir la mezcla fluida alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto se autocompacta.

Gráfico 6.2.2.1.h: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P40) de relación $a/c=0.40$ y el concreto fluido (A403) de relación $a/c=0.293$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto patrón P40.

Del gráfico se puede apreciar que la mezcla fluida de concreto A403, varillada o no, posee resistencias más altas que el concreto patrón en todas las edades, por ejemplo: a los 28 días A403V y A403 tienen 63.9% y 63.4% más que P40 respectivamente, esto era de esperarse debido a la relación a/c más baja que posee. Además la mezcla de concreto fluido que fue varillada (A403V) a los 7 días de edad de ensayo resultó tener menor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A403), es decir la mezcla fluida alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto se autocompacta; sin embargo a la edad de 14 y 28 días la mezcla A403V resultó tener mayor resistencia comparada con la misma mezcla pero sin varillar (A403), esta diferencia fue solo de 0.7 y 0.5% más a la edad de 14 y 28 días, respectivamente.

Cuadro 6.2.2.1.i: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a la Compresión en los concretos patrones normales y los concretos fluidos, expresándolos como porcentaje de la resistencia obtenida por los concretos a los 28 días de edad de ensayo.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación $a/c=0.44$ (A502) derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$ (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los concretos fluidos fueron ensayados de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado para este ensayo (por ejemplo A502V); la segunda forma de ensayo eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.1.j: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P50) de relación $a/c=0.50$ y el concreto fluido (A502) de relación $a/c=0.44$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por los concretos a los 28 días de edad de ensayo.

Se puede notar que salvo la mezcla fluida de concreto varillado A502V, todas las demás tuvieron a los 7 días de edad de ensayo más del 70% de la resistencia obtenida a los 28 días.

Gráfico 6.2.2.1.k: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P45) de relación $a/c=0.45$ y el concreto fluido (A454) de relación $a/c=0.36$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por los concretos a los 28 días de edad de ensayo.

Se puede notar que todas las mezclas tuvieron a los 7 días de edad de ensayo más del 70% de la resistencia obtenida a los 28 días.

Gráfico 6.2.2.1.l: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P40) de relación $a/c=0.40$ y el concreto fluido (A403) de relación $a/c=0.293$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por los concretos a los 28 días de edad de ensayo.

Se puede notar que todas las mezclas tuvieron a los 7 días de edad de ensayo más del 70% de la resistencia obtenida a los 28 días.

Cuadro 6.2.2.1.m: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a la Compresión en los concretos patrones normales y los concretos fluidos, expresándolos como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación $a/c=0.44$ (A502) derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$

(A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los concretos fluidos fueron ensayados de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado para este ensayo (por ejemplo A502V); la segunda forma de ensayo eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.1.n: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P50) de relación $a/c=0.50$ y el concreto fluido (A502) de relación $a/c=0.44$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado A502V.

Se puede notar que la mezcla fluida de concreto no varillado A502, en todas las edades resultó tener menores resistencias comparadas con la mezcla fluida de concreto varillado A502V, por ejemplo: a los 28 días esta mezcla era 9.5% menor que A502V. Se puede decir entonces que la mezcla fluida todavía no alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto no se autocompacta.

Gráfico 6.2.2.1.o: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P45) de relación $a/c=0.45$ y el concreto fluido (A454) de relación $a/c=0.36$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado A454V.

Se puede notar que la mezcla fluida de concreto no varillado A454, en todas las edades resultó tener mayores resistencias comparadas con la mezcla fluida de concreto varillado A454V, por ejemplo: a los 28 días esta mezcla era 0.5% mayor que A454V. Se puede decir entonces que la mezcla fluida alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto se autocompacta.

Gráfico 6.2.2.1p: Se presenta la Resistencia a la Compresión del concreto patrón normal (P40) de relación $a/c=0.40$ y el concreto fluido (A403) de relación $a/c=0.293$ en función de la edad de ensayo (7, 14 y 28 días), expresado como porcentaje de la resistencia obtenida por el concreto fluido varillado A403V.

Se puede notar que la mezcla fluida de concreto no varillado A403 a los 7 días resultó tener mayor resistencia comparada con la mezcla fluida de concreto varillado A403V, esta diferencia era 0.7%. Se puede decir entonces que la mezcla fluida alcanza la compactación por la acción de su propio peso, por lo tanto se autocompacta. A la edad de 14 y 28 días la mezcla A403 resultó tener menor resistencia comparada con la mezcla A403V, pero solo 0.5 y 0.3% menos a la edad de 14 y 28 días respectivamente.

7.2.2.2 Resistencia a la Tracción por compresión diametral del Concreto

Cuadro 6.2.2.2.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de Resistencia a la Tracción por compresión diametral en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación $a/c=0.44$ (A502) derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$ (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los muestras de los concretos fluidos fueron obtenidas de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado (por ejemplo A502V); la segunda forma eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.2.b: Se presenta la Resistencia a la Tracción por compresión diametral de los concretos patrones normales y los concretos fluidos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo, a los 28 días de edad de ensayo.

En el gráfico se puede notar que todas las mezclas fluidas de concreto presentan resistencias a la tracción mayores comparadas con sus respectivos concretos patrones normales, este comportamiento era de esperarse debido a las relaciones a/c más bajas que poseen. Las mezclas no varilladas A454 y A403 poseen resistencias a la tracción mayores que sus respectivas mezclas que si fueron varilladas, en el caso de la mezcla A454 la resistencia es de 48.3 Kg/cm^2 mientras que la mezcla varillada A454V tiene 47.02 Kg/cm^2 , para la mezcla A403 la resistencia es de 54.45 Kg/cm^2 mientras que la mezcla varillada A403V tiene 50.1 Kg/cm^2 . El caso de la mezcla A502 es distinto, cuando no es varillada la resistencia es de 40.9 Kg/cm^2 mientras que la mezcla varillada A502V tiene 43.85 Kg/cm^2 . Se puede decir entonces que solo las mezclas A454 y A403 se consolidan bajo la acción de su propio peso, es decir se autocompactan.

7.2.2.3 Módulo de Elasticidad del Concreto

Cuadro 6.2.2.3.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de Módulo de Elasticidad en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación $a/c=0.50$ (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación $a/c=0.44$ (A502) derivado del concreto patrón P50, $a/c=0.36$ (A454) derivado del concreto patrón P45 y $a/c=0.293$ (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los muestras de los concretos fluidos fueron obtenidas de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado (por

ejemplo A502V); la segunda forma eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.3.b: Se presenta el Módulo de Elasticidad de los concretos patrones normales y los concretos fluidos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo, a los 28 días de edad de ensayo.

En el gráfico se puede notar que para las mezclas fluidas de concreto A454 y A403 cuando las muestras son varilladas se producen un incremento en el valor del módulo de elasticidad, es decir se deforman menos, comparados con las mezclas que si fueron varilladas A454V y A403V cuyos módulos de elasticidad son menores. Por ejemplo, la mezcla A454V tiene un módulo de elasticidad de 179289.7 kg/cm² mientras que la mezcla A454 posee 152372.9 kg/cm² aproximadamente 15% menos que la mezcla varillada. En el caso de la mezcla A502, sea varillado o no, sus valores de módulo de elasticidad son muy similares al del concreto patrón normal que la originó.

7.2.2.4 Porcentaje de Absorción del Concreto

Cuadro 6.2.2.4.a: En este cuadro se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de Porcentaje de Absorción en los concretos patrones normales y los concretos fluidos.

Los concretos patrones normales ensayados fueron los de relación a/c=0.50 (P50), 0.45 (P45) y 0.40 (P40); los concretos fluidos ensayados fueron los de relación a/c=0.44 (A502) derivado del concreto patrón P50, a/c=0.36 (A454) derivado del concreto patrón P45 y a/c=0.293 (A403) derivado del concreto patrón P40, el primero de los concretos fluidos tuvo una dosificación de aditivo de 1.2% mientras que los dos últimos 1.6%.

Los muestras de los concretos fluidos fueron obtenidas de dos maneras: la primera aplicando compactación mediante varillado, es decir, se utilizó el procedimiento normado (por ejemplo A502V); la segunda forma eliminó todo tipo de compactación inducida de tal manera de analizar la posible autocompactación de las mezclas fluidas de concreto (por ejemplo A502)

Todas las mezclas no presentaron indicios de segregación.

Gráfico 6.2.2.4.b: Se presenta el Porcentaje de Absorción de los concretos patrones normales y los concretos fluidos, en función de la relación a/c y la dosificación de aditivo, a los 28 días de edad de ensayo.

En el gráfico se puede notar que todas las mezclas fluidas de concreto presentan porcentajes de absorción menores que los respectivos concretos patrones normales de los cuales se originaron, es decir son menos permeables. Para la mezcla no varillada A454 el porcentaje de absorción es ligeramente mayor que la mezcla que si fue varillada A454V en solo 0.09%. En la mezcla no varillada A403 el porcentaje de absorción es menor que la mezcla que si fue varillada A403V en 0.27%. La mezcla A502 es la que presenta la mayor diferencia en el porcentaje de absorción, la mezcla varillada es menor en 0.49% con respecto a la mezcla que no fue varillada.

En resumen, la mezcla A502 a pesar de ser fluida y demostrar buenos resultados en el ensayo de Extensión de Flujo (Dmax. y T50), presentó problemas de bloqueo en la Caja L, alto contenido de aire, peso unitario y resistencias mecánicas menores comparados con la misma mezcla pero varillada o compactada según los procedimientos normales. En obra tendría serios problemas al encontrarse con zonas de alta concentración de refuerzo de acero o algún tipo de inserto. Se puede describir a la mezcla A502 como una mezcla fluida de concreto que todavía no alcanza el comportamiento autocompactante total, por lo tanto requiere de una compactación ligera.

La mezcla A454 presentó buenos resultados tanto en el ensayo de Extensión de Flujo como en la Caja L. Sin aplicar compactación alguna se obtuvo en los ensayos normales en concreto fresco y endurecido iguales o mejores resultados comparados con muestras de esta misma mezcla pero compactadas según la norma, es decir se comprobó la autocompactación de esta mezcla de concreto. Se puede describir a la mezcla A454 como una mezcla fluida de concreto con buena capacidad autocompactante, por ello no requiere compactación externa.

La mezcla A403 presentó buenos resultados de Diámetro Máximo (Dmax.) y Radio de Bloqueo (R.Bloqueo) en los ensayos de Extensión de Flujo y Caja L, respectivamente. Sin embargo, los valores de tiempo T50, T20 y T40 en ambos ensayos, demostraron que esta mezcla era muy lenta o viscosa, propiedad poco deseable en concreto fluidos y sobre todo en autocompactantes. Al igual que la mezcla A454, sin aplicar compactación alguna se obtuvo en los ensayos normales en concreto fresco y endurecido iguales o mejores resultados comparados con muestras de esta misma mezcla pero compactadas según la norma, es decir se comprobó la autocompactación. Se puede describir a la mezcla A403 como una mezcla fluida de concreto con buena capacidad autocompactante, pero afectada por una viscosidad y cohesión alta para este tipo de concretos que la hacen lenta.

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>

Capítulo 8

ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos en la presente investigación se desarrolló básicamente comparando los concretos autocompactantes generados con los concretos de alto desempeño de consistencia normal (asentamiento 3-4") obtenidos en dos tesis de investigación realizadas en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.

Las tesis utilizadas pertenecen a los ingenieros: Ismael Ari y Roberto Cerrón, ambos investigaron las variaciones en las propiedades al estado fresco y endurecido de los concretos debido a la adición de un aditivo superplastificante y mediante reducción de agua, con el fin de obtener mezclas con asentamiento de 3-4". La investigación realizada por el ingeniero Ari utilizó el mismo aditivo superplastificante empleado en la presente tesis (Sika Viscocrete1). El ingeniero Cerrón también utilizó un aditivo superplastificante pero de menor efecto y costo (Sikament10).

Este capítulo se divide en siete partes:

- Costos de los materiales utilizados.
- Costos y resistencias mecánicas a los 7 días de las mezclas de concreto.
- Generación de la curva resistencia-costo para los concretos autocompactantes y los concretos patrones desarrollados en esta tesis.
- Generación de las curvas resistencia-costo para los concretos de alto desempeño de consistencia normal.
- Generación de las curvas resistencia-costo más económicas de las mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal.
- Comparación de las curvas obtenidas en los dos pasos anteriores
- Relaciones beneficio/costo de las mezclas autocompactantes.

8.1 COSTOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Cuadro 8.1

MATERIAL	Unidad	Precio Unitario (Soles)	Precio Unitario (Dólares)
Cemento	bolsa	13.56	3.87
Agua	m ³	0.90	0.26
Arena	m ³	16.95	4.84
Piedra	m ³	39.85	11.39
Aditivo-Sika Viscocrete 1	kg	16.13	4.61
Aditivo-Sikament10	kg	6.54	1.87

8.2 COSTOS Y RESISTENCIAS MECÁNICAS A LOS 7 DÍAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Cuadro 8.2

Mezcla	Descripción	TESIS DE ORIGEN	Relación a/c	Resistencia (kg/cm ²)	Costo Soles/m ³ de concreto
P50	Concreto Patrón (Asent=3-4")	PINEDA	0.500	318.4	184.9
P45	Concreto Patrón (Asent=3-4")	PINEDA	0.450	362.0	208.2
P40	Concreto Patrón (Asent=3-4")	PINEDA	0.400	386.8	247.4
CAC50	Concreto Autocompactante	PINEDA	0.500	386.5	308.3
CAC44	Concreto Autocompactante	PINEDA	0.440	433.6	318.7
CAC40	Concreto Autocompactante	PINEDA	0.400	456.8	328.9
A454	Concreto Autocompactante	PINEDA	0.360	536.1	370.5
A458	Concreto Autocompactante	PINEDA	0.336	550.1	413.9

Cuadro 8.3

Mezcla	Descripción	TESIS DE ORIGEN	Relación a/c	Resistencia (kg/cm ²)	Costo Soles/m ³ de concreto
ARI-P50	Concreto Patrón (Asent=3-4")	ARI	0.500	293.5	182.8
ARI-P45	Concreto Patrón (Asent=3-4")	ARI	0.450	313.6	202.2
ARI-P40	Concreto Patrón (Asent=3-4")	ARI	0.400	344.9	232.8
ARI-A50/1.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.430	379.8	268.3
ARI-A50/1.2%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.415	410.7	286.2
ARI-A50/1.4%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.396	432.0	304.9
ARI-A45/1.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.376	405.7	301.2
ARI-A45/1.2%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.366	444.4	320.8
ARI-A45/1.4%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.349	455.3	342.1
ARI-A40/1.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.325	443.7	352.9
ARI-A40/1.2%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.302	465.5	380.2
ARI-A40/1.4%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	ARI	0.283	523.2	407.4

Cuadro 8.4

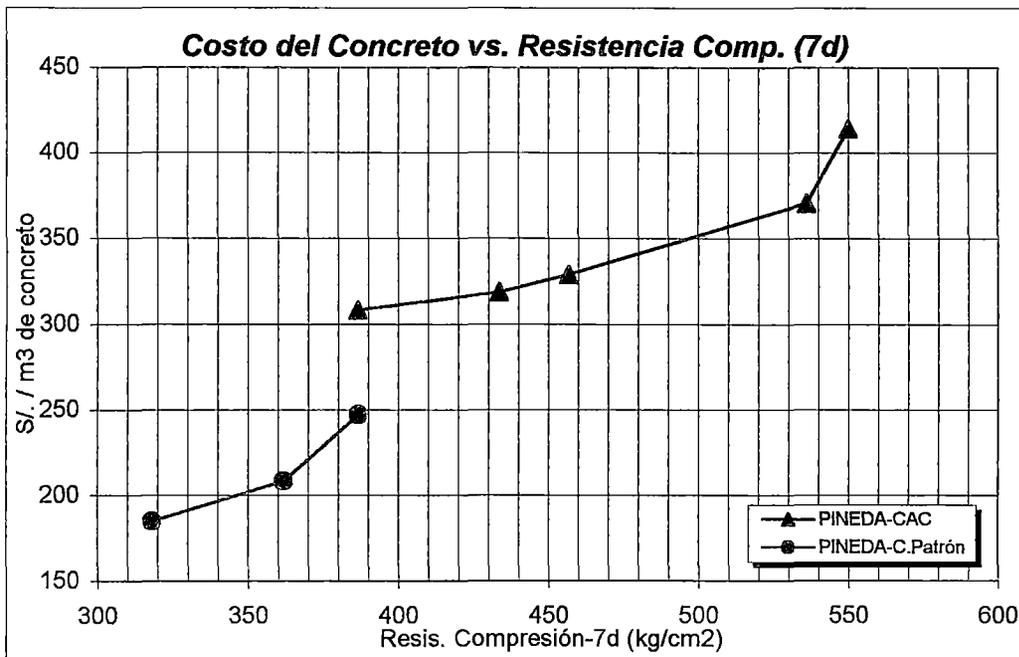
Mezcla	Descripción	TESIS DE ORIGEN	Relación a/c	Resistencia (kg/cm ²)	Costo Soles/m ³ de concreto
CERRON-P50	Concreto Patrón (Asent=3-4")	CERRON	0.500	275.8	175.3
CERRON-P45	Concreto Patrón (Asent=3-4")	CERRON	0.450	305.8	195.8
CERRON-P40	Concreto Patrón (Asent=3-4")	CERRON	0.400	341.0	222.9
CERRON-A50/0.5%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.448	350.4	194.5
CERRON-A50/1.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.417	372.3	212.5
CERRON-A50/2.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.376	421.9	247.4
CERRON-A50/3.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.330	436.2	284.0
CERRON-A45/0.5%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.405	385.1	216.9
CERRON-A45/1.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.385	401.6	236.5
CERRON-A45/2.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.333	432.0	278.6
CERRON-A45/3.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.298	459.7	319.6
CERRON-A40/0.5%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.360	413.6	248.6
CERRON-A40/1.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.339	445.4	272.2
CERRON-A40/2.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.299	465.3	320.3
CERRON-A40/3.0%	Concreto c/aditivo (Asent=3-4")	CERRON	0.271	496.4	367.8

En el anexo 6 se presenta los diseños de mezclas de las dos tesis utilizadas, además del cálculo de sus respectivos costos.

8.3 GENERACIÓN DE LA CURVA RESISTENCIA-COSTO PARA LOS CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES Y LOS CONCRETOS PATRONES DESARROLLADOS EN ESTA TESIS.

Con los datos obtenidos en el cuadro 8.2 se traza la curva resistencia-costo de los concretos autocompactantes y los concretos patrones desarrollados en esta tesis (ver gráfico 8.1).

Gráfico 8.1



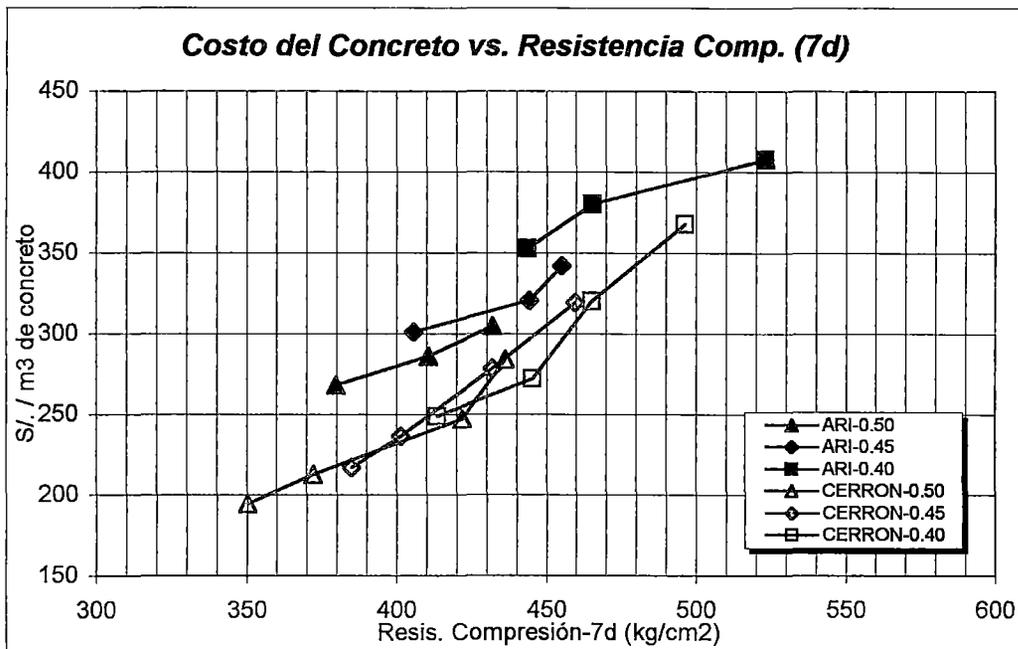
Donde:
PINEDA-CAC (Curva de mezclas autocompactantes, generadas en la presente tesis)
PINEDA-C.Patrón (Curva de mezclas de concreto patrón, generadas en la presente tesis)

8.4 GENERACIÓN DE LAS CURVAS RESISTENCIA-COSTO PARA LOS CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL.

Con los datos obtenidos en los cuadros 8.3 y 8.4 se traza la curva resistencia-costo de los concretos de alto desempeño de consistencia normal (asentamiento de 3-4") generados en las tesis de Ari y Cerrón (ver gráfico 8.2).

En dicho gráfico se aprecia que cada una de las dos tesis usadas genera tres curvas correspondientes a las mezclas generadas de tres concretos patrones que en los dos casos eran de relaciones $a/c= 0.50, 0.45$ y 0.40 . Dichas curvas están conformadas por tres puntos si utilizaron tres dosificaciones de aditivo (Ari), y cuatro puntos cuando se aplicó cuatro dosificaciones de aditivo (Cerrón).

Gráfico 8.2



Donde:

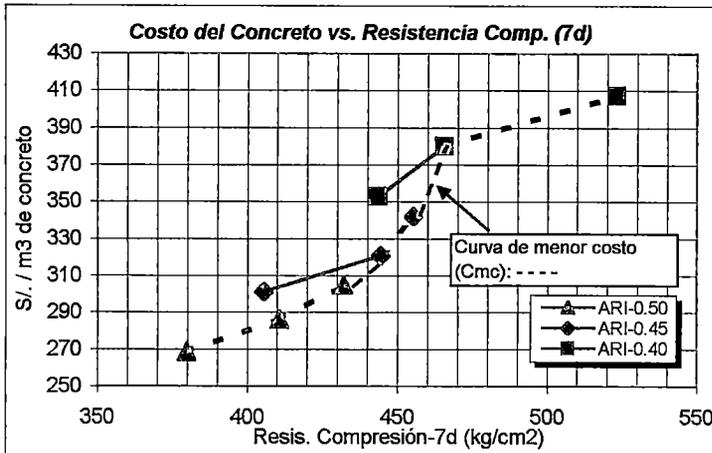
ARI-0.50,0.45 y 0.40 (Curva de mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal, generadas de conc. patrones $a/c=0.50, 0.45$ y 0.40 , respectivamente, en la tesis de Ari)

CERRON-0.50,0.45 y 0.40 (Curva de mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal, generadas de conc. patrones $a/c=0.50, 0.45$ y 0.40 , respectivamente, en la tesis de Cerrón)

8.5 GENERACIÓN DE LAS CURVAS RESISTENCIA-COSTO MÁS ECONÓMICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL.

La curva de menor costo en función de la resistencia a la compresión, se obtiene uniendo los puntos que pertenecen a mezclas cuyos costos de elaboración sean los menores comparados con otras mezclas de igual resistencia pero con costos más elevados, en la misma serie de datos.

Gráfico 8.3

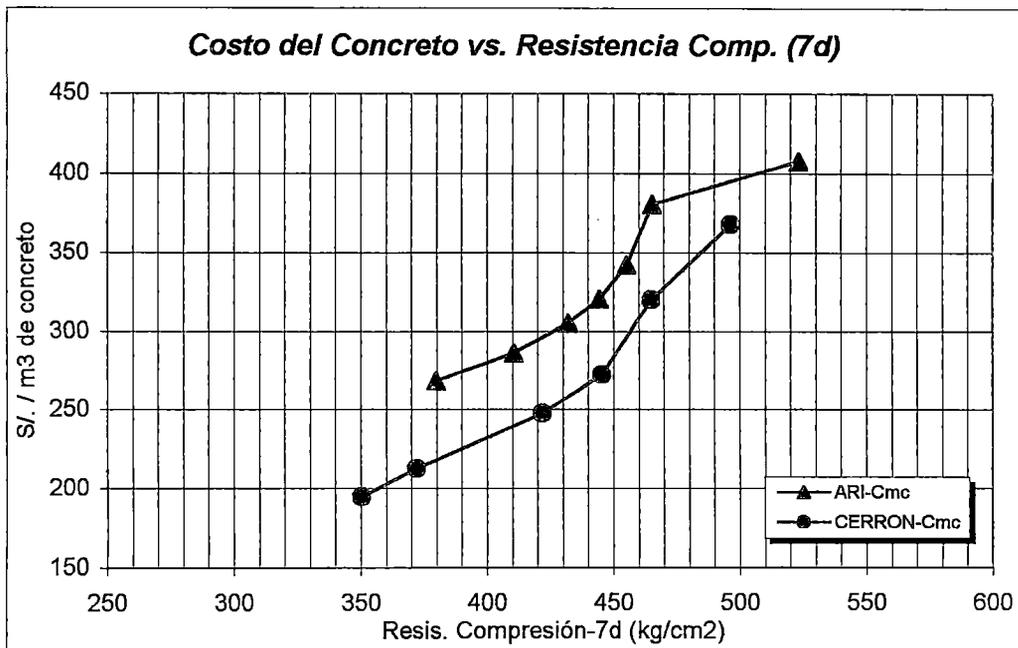


Por ejemplo, en el gráfico 8.3 se puede observar la dispersión de los puntos (resistencia, costo) en la tesis de Ari.

La línea discontinua indica el trazo de la curva de menor costo, los puntos encima de ella pertenecen a mezclas de similares resistencia pero con mayores costos de elaboración.

De igual manera se procede con la serie de datos obtenidos de la tesis desarrollada por Cerrón. En la figura 8.4 se precia las dos curvas de menor costo desarrolladas.

Gráfico 8.4

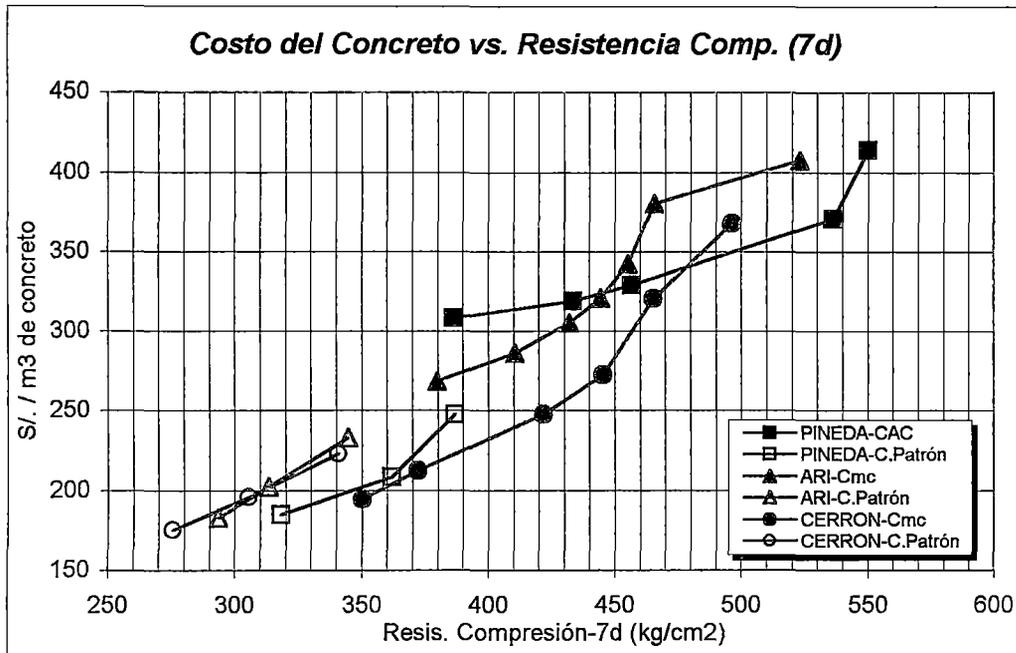


Donde:
 ARI-Cmc (Curva de menor costo de mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal, generadas en la tesis de Ari)
 CERRON-Cmc (Curva de menor costo de mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal, generadas en la tesis de Cerrón)

8.6 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS OBTENIDAS

Luego de generar todas las curvas necesarias, en el gráfico 8.5 se presenta las curvas resistencia-costo de los concretos autocompactantes, concreto de alto desempeño de consistencia normal y los concretos patrones usados.

Gráfico 8.5



Donde:	
PINEDA-CAC	(Curva de mezclas autocompactantes, generadas en la presente tesis)
PINEDA-C.Patrón	(Curva de mezclas de conc. patrón, generadas en la presente tesis)
ARI-Cmc	(Curva de menor costo de mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal, generadas en la tesis de Ari)
ARI-C.Patrón	(Curva de mezclas de conc. patrón, generadas en la tesis de Ari)
CERRON-Cmc	(Curva de menor costo de mezclas de concreto de alto desempeño de consistencia normal, generadas en la tesis de Cerrón)
CERRON-C.Patrón	(Curva de mezclas de conc. patrón, generadas en la tesis de Cerrón)

Del gráfico se puede notar que las curvas de menor costo pertenecientes a Ari y Cerrón, cortan a la curva resistencia-costo de los concretos autocompactantes. Dicho cruce de curvas genera dos zonas: la primera ubicada antes de la intersección, donde el costo de elaboración de concreto autocompactante es mayor que el de los concretos de alto desempeño de consistencia normal; y la segunda zona ubicada después de la intersección donde el costo del concreto autocompactante es menor.

Para una misma resistencia el costo de la mezcla generada por Ari es siempre mayor en comparación con la obtenida por Cerrón, sin embargo, las mezclas de Ari pueden desarrollar mayores resistencias. Los concretos de alto desempeño de consistencia normal no pueden alcanzar la máxima resistencia lograda por los concretos autocompactantes y mucho menos los concretos patrones pueden lograr las resistencias de los concretos autocompactantes y de alto desempeño de consistencia normal.

8.7 RELACIONES BENEFICIO/COSTO DE LAS MEZCLAS AUTOCOMPACTANTES.

La información obtenida de las dos tesis anteriormente mencionadas se refiere a concretos de alto desempeño, que a la edad de 7 días presentan resistencias mas o menos similares a las demostradas por los concretos autocompactantes, por ello la comparación entre ellas es la mejor manera de obtener una relación beneficio / costo.

El procedimiento para calcular la relación beneficio/costo se basa en obtener los costos de las mezclas de concreto a una misma resistencia y calcular el porcentaje de variación del costo del concreto autocompactante con respecto al concreto de alto desempeño de consistencia normal, este porcentaje representa el incremento o decremento de costo al utilizar las mezclas autocompactantes. La resistencia no varía, debido a que los costos de las mezclas de concreto son obtenidos para una misma resistencia, y en porcentaje puede ser considerado como 100%, este valor representa el beneficio. Entonces para una misma resistencia el beneficio no cambia, sin embargo al usar concreto autocompactante o concreto de alto desempeño de consistencia normal, el costo de elaboración si varia.

En el cuadro 8.5 y 8.6 se pueden observar las relaciones beneficio/costo de las mezclas autocompactantes, comparadas con las mezclas de concreto de alto desempeño y consistencia normal desarrolladas por Ari y Cerrón, respectivamente.

Las relaciones beneficio/costo de los concretos autocompactantes comparados con los concretos de alto desempeño de consistencia normal generados por Ari (cuadro 8.5), son importantes porque analizan el comportamiento de dos tipos de concreto especiales desarrollados con el mismo aditivo, pero con distintos procedimientos y objetivos. Para los concretos autocompactantes el aditivo superplastificante se utiliza principalmente como fluidificante, mientras que en los concretos de alto desempeño de consistencia normal este aditivo se usa como reductor de agua. En dicho cuadro se puede notar que a partir de 450 kg/cm². de resistencia a la compresión, la relación beneficio/costo es mayor a la unidad.

Cuadro 8.5

Resistencia (kg/cm ²)			Costo (Soles/m ³ de conc.)			Benef/Costo (C)/(F)
(a) PINEDA-CAC	(b) ARI	(C)=(a)/(b) (%)	(d) PINEDA-CAC	(e) ARI	(F)=(d)/(e) (%)	
390	390	100.0	309.0	274.0	112.8	0.89
400	400	100.0	311.5	280.0	111.3	0.90
410	410	100.0	313.5	286.0	109.6	0.91
420	420	100.0	316.0	294.5	107.3	0.93
430	430	100.0	318.0	303.0	105.0	0.95
440	440	100.0	321.5	315.0	102.1	0.98
450	450	100.0	326.0	332.0	98.2	1.02
460	460	100.0	331.5	360.0	92.1	1.09
470	470	100.0	336.0	382.5	87.8	1.14
480	480	100.0	341.0	387.0	88.1	1.13
490	490	100.0	346.5	392.0	88.4	1.13
500	500	100.0	351.5	396.5	88.7	1.13
510	510	100.0	357.0	401.0	89.0	1.12
520	520	100.0	362.0	406.0	89.2	1.12

Nota: Datos extraídos del gráfico 8.5

Cuadro 8.6

Resistencia (kg/cm ²)			Costo (Soles/m ³ de conc.)			Benef/Costo (C)/(F)
(a) PINEDA-CAC	(b) CERRON	(C)=(a)/(b) (%)	(d) PINEDA-CAC	(e) CERRON	(F)=(d)/(e) (%)	
390	390	100.0	309.0	225.0	137.3	0.73
400	400	100.0	311.5	232.0	134.3	0.74
410	410	100.0	313.5	239.0	131.2	0.76
420	420	100.0	316.0	246.0	128.5	0.78
430	430	100.0	318.0	256.0	124.2	0.81
440	440	100.0	321.5	266.5	120.6	0.83
450	450	100.0	326.0	283.0	115.2	0.87
460	460	100.0	331.5	307.5	107.8	0.93
470	470	100.0	336.0	327.5	102.6	0.97
480	480	100.0	341.0	343.0	99.4	1.01
490	490	100.0	346.5	358.0	96.8	1.03

Nota: Datos extraídos del gráfico 8.5

En el cuadro 8.6 las relaciones generadas son mayores a la unidad a partir de 480 kg/cm². Las mezclas generadas por Cerrón son menos costosas en comparación a Ari, por ello la mayor parte de las resistencias desarrolladas no presenta un beneficio mayor al costo. Sin embargo, es preciso aclarar que el aditivo usado por Cerrón es de menor efecto, como reductor de agua no alcanza las resistencias desarrolladas por Ari y como fluidificante no tiene la suficiente capacidad de lograr concretos autocompactantes por si solo pues genera altos contenidos de aire y necesita de agentes moduladores de viscosidad, según estudios realizados por la empresa Sika-España en la referencia [6].

Las resistencias mostradas por los concretos de alto desempeño de consistencia normal, fueron logradas usando cemento Pórtland tipo I y aditivo superplastificante, además de agregado y agua. El objetivo de estas mezclas era lograr altas resistencias, por ello se redujo el contenido de agua para conseguir relaciones a/c menores.

En la actualidad la tendencia para conseguir altas resistencias en los concretos, se basa en usar mezclas de concreto de alto desempeño que incorporen en sus materiales componentes la microsilíce, este producto junto con el cemento Pórtland y un aditivo superplastificante puede incrementar las resistencias logradas por mezclas que usan solo cemento Pórtland y aditivo superplastificante. La adición de este nuevo material al concreto para lograr resistencias mayores puede disminuir o aumentar el costo de producción de concreto al compararlo, a una misma resistencia, con un concreto autocompactante.

Hay que notar que en los beneficios solo se tiene en cuenta la resistencia lograda por las mezclas. Sin embargo, los concretos autocompactantes se caracterizan principalmente por: el aporte en el desarrollo de trabajabilidad y con ello incremento de productividad en el vaciado de concreto, vaciar elementos de difícil acceso que no podrían ser trabajados con concreto convencional, disminuir ruido en el ambiente de trabajo, eliminar retrabajos por malos vaciados de concreto, etc., todos estos beneficios no son considerados en el cálculo de la relación beneficio/costo, debido a la carencia de datos y ausencia de investigaciones sobre este tema en el país.

POSICIÓN EN LA TESIS

Capítulo 1 <i>Concreto Autocompactante. Definición y Conceptos Básicos</i>	Capítulo 2 <i>Materiales</i>	Capítulo 3 <i>Ensayos de Control del Concreto Autocompactante</i>
Capítulo 4 <i>Diseño de Mezclas</i>	Capítulo 5 <i>Propiedades del Concreto al Estado Fresco y Endurecido</i>	Capítulo 6 <i>Cuadros de Resultados y Gráficos</i>
Capítulo 7 <i>Análisis de los Resultados</i>	Capítulo 8 <i>Análisis de Costos</i>	Conclusiones y Recomendaciones

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego del análisis de los resultados obtenidos en el capítulo 6, se llegó a conclusiones y recomendaciones interesantes, que definitivamente ayudarán a entender como funcionan y como se hacen estos concreto, utilizando cemento Pórtland tipo I, Aditivo superplastificante, agregados y agua como únicos materiales componentes de la mezcla.

Espero proporcionar información que sirva a las futuras investigaciones sobre este tema, las recomendaciones propuestas son amplios temas de investigación, que de hacerlos ayudarían a generar en el país un tipo de concreto que supera largamente la trabajabilidad y calidad vistos hasta ahora por otros tipos de concreto, y que además en algunos años será de uso rutinario en todo el mundo. Por ello creo que la investigación continua nos ayudará a actualizar nuestros conocimientos en tecnología del concreto. Algunos países ya empezaron, hace una década, la carrera del concreto autocompactante y ya es hora que nuestro país la empiece.

Antes de presentar las conclusiones y recomendaciones finales de la presente investigación, quisiera recordar el trabajo realizado en los capítulos anteriores (6 y 7):

En la primera sección se realizó el análisis de la variación en el comportamiento de las mezclas fluidas de concreto y la tendencia que éstas tenían hacia la autocompactación, de esa manera se podía generar un procedimiento de diseño de mezcla de concretos autocompactantes y al mismo tiempo tener una idea más clara de como funcionan y como se hacen estos concretos. Para ello se generaron una serie de mezclas fluidas derivadas de concretos patrones normales de relación $a/c = 0.50, 0.45$ y 0.40 , mediante reducción de agua y adicionando un aditivo superplastificante (Sika Viscocrete1- Policarboxilato modificado), luego se varió la relación arena/piedra y finalmente se analizaron los cambios en el comportamiento de las mezclas al variar el contenido de pasta. Estas mezclas fueron sometidas a dos ensayos para medir sus propiedades autocompactantes: Ensayo de Extensión de Flujo y Caja L, ambos especiales para estos tipos de concreto. Las variaciones en la capacidad de fluir y deformarse (D_{max} y R. Bloqueo) tanto en un medio libre como en un medio restringido, además de los tiempos de desplazamiento en dichos medios (T_{50} , T_{20} y T_{40}), son analizados, y las conclusiones obtenidas, presentados en este capítulo.

La segunda sección desarrolló el estudio de la variación en las propiedades de 3 mezclas fluidas de concreto, tanto al estado fresco como al estado endurecido. El objetivo principal era comprobar la autocompactación de las mezclas fluidas comparando los resultados obtenidos en mezclas ensayadas según los procedimientos normados con otras en las cuales se eliminó toda forma de compactación inducida. También se compararon las mezclas fluidas escogidas con los concretos patrones normales que las originaron. Los concretos fueron sometidos a los ensayos de: peso unitario, contenido de aire, porcentaje de exudación, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y a la tracción del concreto endurecido, módulo de elasticidad y porcentaje de absorción, además los ensayos extensión de flujo y caja L, cuyos procedimientos de ensayo eliminan toda forma de compactación, también fueron ejecutados pero solo para los concretos fluidos.

CONCLUSIONES

- 1.- Con los materiales usados en la tesis y con relaciones a/c entre 0.50 y 0.336 se demostró que los concretos fluidos que presentan autocompactación o también denominados Concretos Autocompactantes, son mezclas de excelente trabajabilidad que presentan: gran capacidad para deformarse y fluir libremente, baja viscosidad, buena cohesión para evitar segregaciones y ningún tipo de bloqueo. También demuestran mayores resistencias mecánicas a la compresión y tracción, así como baja permeabilidad y escasa exudación, debido principalmente a las bajas relaciones a/c que se pueden obtener utilizando el aditivo superplastificante necesario para generarlas.
- 2.- Mediante los ensayos de peso unitario, contenido de aire, resistencia mecánica, módulo de elasticidad y porcentaje de absorción, se comprobó la autocompactación de las mezclas fluidas de concreto que aprobaron los ensayos de extensión de flujo y Caja L. En las mezclas A454 y A403 la diferencia en los resultados generados por concretos compactados y no compactados de un mismo diseño de mezcla es despreciable y asegura la autocompactación del concreto.
- 3.- El exceso de agua y/o las altas dosificaciones de aditivo superplastificante provoca la inestabilidad en las mezclas fluidas de concreto. En ese ambiente de poca cohesión la tendencia a la segregación de la mezcla es alta al no poder conservar unidos todos los componentes de la mezcla de concreto.

La concentración del cemento con respecto al agua, es decir la relación a/c , también es un factor a considerar dentro la tendencia a la segregación que puede mostrar un concreto.

En esta investigación solo se pudo generar mezclas con relaciones a/c menores a 0.50, porque se detectó casos de segregación para relaciones a/c mayores, debido a la alta concentración de agua que sumado al efecto de dispersión del aditivo superplastificante, incluso con la menor dosificación utilizada, provocaba inestabilidad en la mezcla.

Para producir mezclas de concreto autocompactante con relaciones a/c mayores a 0.50, se puede reemplazar parte del cemento de una mezcla con relación a/c menor a 0.50 con algún material de relleno inerte o puzolánico, de igual o semejante finura del cemento, y con ello generar la misma cantidad de pasta en el concreto, como si todo el material fino estuviera formado por cemento. De esa manera la relación agua/cemento aumenta y la resistencia disminuye.

- 4.- Las mezclas de concreto al ser fluidas no necesariamente son autocompactantes, debido principalmente al bloqueo generado por la poca presencia de pasta (agua+cemento) e indirectamente por las mayores dosificaciones de agregado grueso que generan menores espacios entre sus partículas y que al chocar entre ellas producen fuerzas de fricción que frenan el libre movimiento de la mezcla total.

Con los materiales usados en esta tesis se detectó un buen comportamiento autocompactante de la mezcla fluida de concreto para contenidos de agregado grueso menores a 766 kg. de peso seco por 1 m³ de concreto.

La mezcla A502 es un claro ejemplo de un concreto fluido que no es autocompactante 100%, presenta un asentamiento total en el cono de Abrams, pero muestra bloqueo en un medio con alta densidad de refuerzo de acero u obstáculos. Además en los ensayos de concreto fresco y concreto endurecido realizados en la segunda parte del capítulo 6, la diferencia en los resultados generados por concretos compactados y no compactados de un mismo diseño de mezcla son apreciables y por ello no aseguraban la autocompactación del concreto.

- 5.- El contenido preciso de pasta en la mezcla es un requisito indispensable para generar un concreto autocompactante. Dicho contenido puede ser calculado partiendo de dosificaciones de cemento recomendadas por el procedimiento de diseño de mezcla propuesto en la presente tesis, la viscosidad y la capacidad de fluir libremente se analiza cualitativamente e indirectamente mediante los valores de T50 y Diámetro Máximo en el ensayo de Extensión de Flujo, la resistencia al bloqueo en un medio restringido se analiza utilizando el ensayo denominado "Caja L", finalmente la cohesión se analiza observando los indicios de segregación en las mezclas ensayadas.

Con los materiales usados en esta tesis se detectó un buen comportamiento autocompactante de la mezcla fluida de concreto a partir de 0.40 m³ de pasta por 1 m³ de concreto.

- 6.- En el ensayo de Extensión de Flujo, valores de Dmax. menores a 650 mm. indican una menor capacidad de la mezcla de concreto para fluir en un medio libre. Valores de T50 por encima de 5 segundos muestran mezclas de desplazamiento lento, es decir de alta viscosidad y/o cohesión, para concretos autocompactantes.

En la Caja L, radios de bloqueo menores a 0.80 indican que la mezcla tiene tendencia al bloqueo, la cual se incrementa a medida que dicho radio disminuye. Los tiempos T20 y T40 mayores a 3 y 6 seg. respectivamente, indican que la mezcla tiene desplazamiento lento en un medio restringido.

- 7.- Los valores típicos obtenidos en el ensayo de Extensión de Flujo y la Caja L pueden ser mejorados simplemente adicionando mayor cantidad de pasta de cemento en la mezcla de concreto y/o incrementando la dosificación de aditivo, manteniendo constante la relación a/c.
- 8.- El efecto dispersante del aditivo superplastificante decrece a medida que la relación a/c disminuye y la concentración de cemento se incrementa con respecto al agua, en tal ambiente si se mantiene constante la dosificación de aditivo y se disminuye la relación a/c, no se podrá mantener el comportamiento autocompactante de la mezcla pues la viscosidad se incrementará. Para evitar el caso anterior se debe aumentar la dosificación de aditivo a medida que se busca relaciones a/c bajas y altas resistencias mecánicas.

En esta tesis se encontró que en mezclas con relación a/c entre 0.50 y 0.40 se debe utilizar 1.2% de dosificación del aditivo ensayado, a una relación a/c de 0.36 se incrementa la dosificación a 1.6% y a 0.336 de relación a/c se utiliza la máxima dosificación analizada, 2.0%.

- 9.- Para materiales fijos (tipos de agregado, cemento y aditivo) existe un rango no muy grande de dosificación de cemento e indirectamente de pasta, dentro del cual se produce la autocompactación, valores por debajo de dicho rango usualmente generan mezclas fluidas pero con tendencia al bloqueo y a veces segregación, por el contrario valores superiores al rango acompañados de bajas relaciones a/c producen mezclas muy viscosas y cohesivas, que resultarían problemáticas para su uso en obra.

En la presente investigación y para los materiales usados se genera un buen comportamiento autocompactante para contenidos de cemento entre 550 y 600 kg. de cemento por 1 m^3 de concreto

- 10.-Para evitar mezclas muy costosas debido a las altas cantidades de cemento y aditivo, se debe cambiar parte del cemento por materiales puzolánicos o inertes, con tamaños de partículas y granulometrías similares a las del cemento, de tal manera que pueda formarse la pasta necesaria para el comportamiento autocompactante.
- 11.-Las mezclas fluidas de concreto que no alcanzan la autocompactación pueden eliminar los vacíos presentes en ellas con la aplicación de un vibrado ligero. Se prestará mucha atención a esta operación pues excesos en la energía de compactación aplicada podría generar segregación en el concreto fresco.
- 12.-Las mezclas autocompactantes con altas viscosidades resultado de las grandes concentraciones de cemento con respecto al agua y las bajas relaciones a/c, no son recomendables para ser usados en obra, debido a la mayor energía necesaria para trabajarla (bombeo, acabado, etc.) y además a la lenta velocidad de desplazamiento que muestran dichas mezclas.
- 13.-El control de cada uno de los materiales componentes de la mezcla de concreto autocompactante debe ser minucioso pues se observó que variaciones en las propiedades de algunos de ellos originan cambios bruscos no deseables en el comportamiento del concreto, especialmente al estado fresco.
- 14.-Las mezclas de concreto autocompactante son más económicas para resistencias a la compresión mayores a 450 kg/cm^2 cuando son comparadas, a igual resistencia, con mezclas de alto desempeño de consistencia normal que fueron diseñadas con el mismo aditivo superplastificante con que se generaron las mezclas autocompactantes.
- 15.-No hay duda que el manejo de las propiedades reológicas de los concretos de alto desempeño y especialmente del concreto autocompactante solo podrán ser conocidas real

y directamente con el uso de algún tipo de viscosímetro, equipo de laboratorio que en la actualidad, para la investigación de concretos especiales es de suma importancia. Con dicho equipo se podrán correlacionar valores reales reológicos propios de un concreto con valores generados por algún tipo de ensayo o test que pueda fácilmente ejecutarse en obra.

RECOMENDACIONES

- a) Es importante analizar las variaciones en el comportamiento de las mezclas autocompactantes cuando se reemplaza parte del cemento por algún material puzolánico o inerte de similares tamaños y granulometrías, pero de menor costo.
- b) Analizar la variación en el comportamiento autocompactante del concreto fresco al reemplazar parte del cemento, de una mezcla de concreto autocompactante, con microsilíce con el fin de obtener mayores resistencias.
- c) El uso de arenas con contenido de finos mayores podría disminuir la cantidad de cemento necesario para formar la pasta que genera el comportamiento autocompactante, por ello su estudio es importante.
- d) Disminuir el tamaño máximo del agregado grueso sería una posible solución para evitar el bloqueo de las mezclas, ensayos con agregado grueso de $TNM=3/8''$ son necesarios para analizar dicho efecto.
- e) Es de gran interés conocer el comportamiento de una mezcla autocompactante sometida a otros ensayos, de tal manera de poder correlacionar los resultados.
- f) Con este producto debe lograrse el incremento en la productividad y la disminución de la variabilidad en el proceso de vaciado de concreto, así lo demuestran varias investigaciones realizadas en todo el mundo, sin embargo es necesario comprobar su eficiencia y eficacia en nuestro medio y con nuestros materiales. Por ello, se recomienda que las empresas dedicadas a la fabricación de concreto y los centros de investigación realicen estudios con la finalidad de adaptar totalmente el concreto autocompactante a nuestro país.

ANEXO 1
AGREGADOS

AGREGADO GRUESO

Procedencia: Canteras Jicamarca

1.- PESO UNITARIO (PU)

Fecha: 14/10/02

1.1.- Peso Unitario Suelto (PUS)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra suelta+vasija	gr.	20750.0	21100.0	
Peso de la vasija	gr.	6850.0	6850.0	
Peso de la muestra suelta	gr.	13900.0	14250.0	14075.0 (A)
Volumen del recipiente	cm3	9570.0	9570.0	9570.0 (B)

$$PUS = (A) / (B) = \text{gr/cm}^3 \quad 1.47$$

1.1.- Peso Unitario Compactado (PUC)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra compactada+vasija	gr.	22200.0	21850.0	
Peso de la vasija	gr.	6850.0	6850.0	
Peso de la muestra compactada	gr.	15350.0	15000.0	15175.0 (A)
Volumen del recipiente	cm3	9570.0	9570.0	9570.0 (B)

$$PUC = (A) / (B) = \text{gr/cm}^3 \quad 1.59$$

2.- PESO ESPECIFICO (PE) Y PORCENTAJE DE ABSORCION (%ABS)

Fecha: 15,16/10/02

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra secada al horno	gr.	4951.5	4952.5	4952.0 (A)
Peso de la muestra son superficie seca	gr.	5000.0	5000.0	5000.0 (B)
Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	gr.	5051.5	5057.0	
Peso de la canastilla	gr.	1890.0	1890.0	
Peso de la muestra saturada dentro del agua	gr.	3161.5	3167.0	3164.3 (C)

$$P.E. \text{ de masa} = (A) / (B-C) = \text{gr/cm}^3 \quad 2.6975$$

$$P.E. \text{ de masa superf. seco} = (B) / (B-C) = \text{gr/cm}^3 \quad 2.7237$$

$$P.E. \text{ aparente} = (A) / (A-C) = \text{gr/cm}^3 \quad 2.7700$$

$$\% \text{ ABS} = (B-A) / (A) \times 100 = \text{gr/cm}^3 \quad 0.97$$

3.- CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

Fecha: 14/10/02

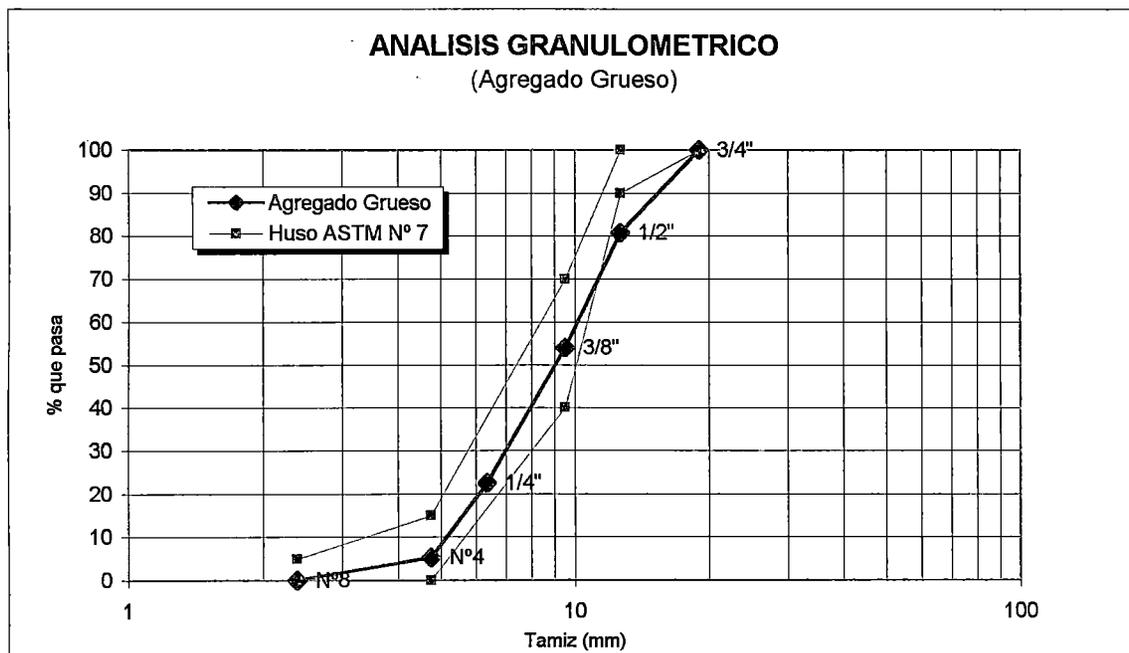
	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra húmeda	gr.	1000.0	1000.0	
Peso de la muestra secada al horno	gr.	994.0	995.0	994.5 (B)
Contenido de agua	gr.	6.0	5.0	5.5 (A)

$$CH = (A) / (B) \times 100 = \% \quad 0.55$$

4.- GRANULOMETRIA

Fecha: 14/10/02

TAMIZ	ENSAYO (gr.)			Promedio (gr.)	% Retenido	% Retenido Acumul.	% que Pasa
	1	2	3				
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	100.00
1/2"	1159.0	1229.5	1059.5	1149.3	19.16	19.16	80.84
3/8"	1588.5	1573.0	1665.0	1608.8	26.81	45.97	54.03
1/4"	1874.0	1785.0	2028.0	1895.7	31.59	77.56	22.44
N°4	1066.0	1056.5	966.5	1029.7	17.16	94.73	5.27
N°8 (fondo)	312.5	356.0	281.0	316.5	5.28	100.00	0.00
total=	6000.0	6000.0	6000.0				



5.- MODULO DE FINURA (MF)

Fecha: 14/10/02

TAMIZ	% Ret. Acum.
3/4"	0
1/2"	
3/8"	45.97
1/4"	
N°4	94.73
N°8	100.00
N°16	100.00
N°30	100.00
N°50	100.00
N°100	100.00
Suma=	640.69 (A)

$$MF = (A) / 100 = 6.41$$

6.- SUPERFICIE ESPECIFICA

Fecha: 14/10/02

	(A)	(B)	(C)
TAMIZ	Tamaño de abertura (mm)	Tamaño Prom. de apertura (mm)	% Retenido (B)/(A)
3/4"	19.05		0.00
1/2"	12.70	15.88	19.16
3/8"	9.53	11.11	26.81
1/4"	6.35	7.94	31.59
Nº4	4.76	5.56	17.16
Nº8 (fondo)	2.38	3.57	5.28
		Suma=	12.16 (D)

$$\text{Superficie Especifica (cm}^2\text{/gr)} = (6 \times D) / (10 \times \text{P.E.}) = 2.7$$

donde: P.E. = Peso Especifico de masa

AGREGADO FINO

Procedencia: Cantera Trapiche

1.- PESO UNITARIO (PU)

Fecha: 14/10/02

1.1.- Peso Unitario Suelto (PUS)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra suelta+vasija	gr.	7691.0	7642.5	
Peso de la vasija	gr.	2783.0	2783.0	
Peso de la muestra suelta	gr.	4908.0	4859.5	4883.8 (A)
Volumen del recipiente	cm3	2903.5	2903.5	2903.5 (B)

$$PUS = (A) / (B) = \text{gr/cm}^3 \quad 1.68$$

1.1.- Peso Unitario Compactado (PUC)

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra compactada+vasija	gr.	8210.5	8221.5	
Peso de la vasija	gr.	2783.0	2783.0	
Peso de la muestra compactada	gr.	5427.5	5438.5	5433.0 (A)
Volumen del recipiente	cm3	2903.5	2903.5	2903.5 (B)

$$PUC = (A) / (B) = \text{gr/cm}^3 \quad 1.87$$

2.- PESO ESPECIFICO (PE) Y PORCENTAJE DE ABSORCION (%ABS)

Fecha: 15,16/10/02

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la arena superficialmente seca+peso del balón+peso del agua	gr.	988.5	988.5	
Peso de la arena superficialmente seca+peso del balón	gr.	675.0	675.0	
Peso del agua	gr.	313.5	313.5	313.5 (W)
Peso de la arena secada al horno+peso del balón	gr.			
Peso del balón	gr.	175.0	175.0	175.0
Peso de la arena secada al horno	gr.	497.0	496.5	496.8 (A)
Volumen del balón	ml.	500.0	500.0	500.0 (V)

$$P.E. \text{ de masa} = (A) / (V-W) = \text{gr/cm}^3 \quad 2.6635$$

$$P.E. \text{ de masa superf. seco} = (500) / (V-W) = \text{gr/cm}^3 \quad 2.6810$$

$$P.E. \text{ aparente} = (A) / [(V-W)-(500-A)] = \text{gr/cm}^3 \quad 2.7108$$

$$\% \text{ ABS} = (500-A) / (A) \times 100 = \text{gr/cm}^3 \quad 0.65$$

3.- CONTENIDO DE HUMEDAD (CH)

Fecha: 14/10/02

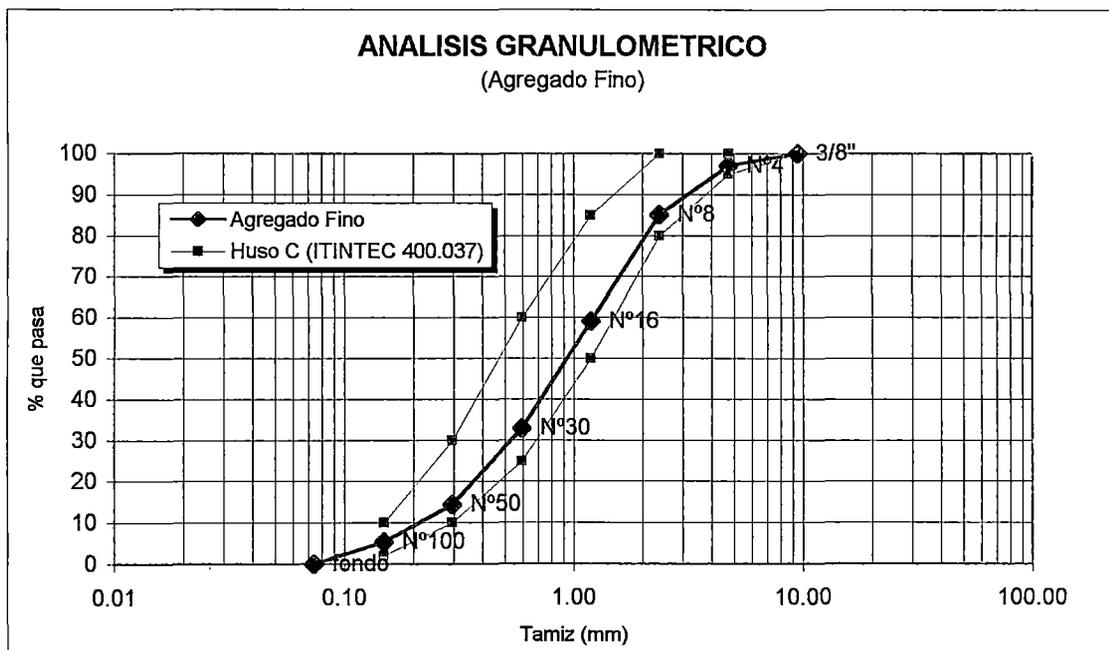
	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso de la muestra húmeda	gr.	500.0	500.0	
Peso de la muestra secada al horno	gr.	490.0	490.0	490.0 (B)
Contenido de agua	gr.	10.0	10.0	10.0 (A)

$$CH = (A) / (B) \times 100 = \% \quad 2.04$$

4.- GRANULOMETRIA

Fecha: 14/10/02

TAMIZ	ENSAYO (gr.)		Promedio (gr.)	% Retenido	% Retenido Acumul.	% que Pasa
	1	2				
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	100.00
N°4	13.0	16.5	14.8	2.95	2.95	97.05
N°8	58.0	61.0	59.5	11.90	14.85	85.15
N°16	129.0	132.0	130.5	26.10	40.95	59.05
N°30	130.5	131.0	130.8	26.15	67.10	32.90
N°50	95.0	90.5	92.8	18.55	85.65	14.35
N°100	46.5	43.0	44.8	8.95	94.60	5.40
Fondo	28.0	26.0	27.0	5.40	100.00	0.00
total=	500.0	500.0				



5.- MODULO DE FINURA (MF)

Fecha: 14/10/02

TAMIZ	% Ret. Acum.
3/4"	0.00
1/2"	
3/8"	0.00
1/4"	
N°4	2.95
N°8	14.85
N°16	40.95
N°30	67.10
N°50	85.65
N°100	94.60
Suma=	306.10 (A)

$$MF = (A) / 100 = 3.06$$

6.- SUPERFICIE ESPECIFICA

Fecha: 14/10/02

TAMIZ	Tamaño de abertura (mm)	(A)	(B)	(C)
		Tamaño Prom. de abertura (mm)	% Retenido	(B)/(A)
3/8"	9.526			
Nº4	4.763	7.145	2.95	0.41
Nº8	2.381	3.572	11.90	3.33
Nº16	1.191	1.786	26.10	14.61
Nº30	0.595	0.893	26.15	29.28
Nº50	0.296	0.446	18.55	41.64
Nº100	0.149	0.223	8.95	40.22
Nº200	0.074	0.112	5.40	48.43
Suma=				177.94 (D)

$$\text{Superficie Específica (cm}^2/\text{gr)} = (6xD) / (10xP.E.) = 40.1$$

donde: P.E. = Peso Especifico de masa

7.- PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA Nº 200

Fecha: 15/10/02

	Unid.	ENSAYO		Prom.
		1	2	
Peso seco inicial	gr.	1000.0	1000.0	1000.0 (A)
Peso seco final	gr.	958.0	949.0	953.5 (B)

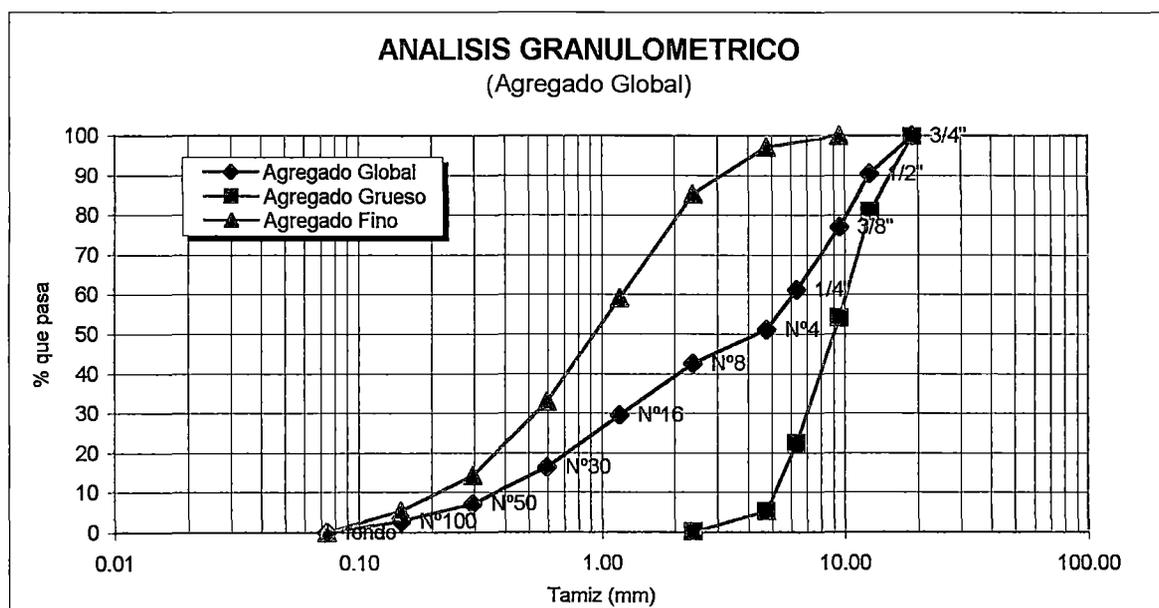
$$\% \text{ que pasa la malla N}^\circ 200 = (A-B) / (A) \times 100 = 4.65$$

AGREGADO GLOBAL

PIEDRA	50%
ARENA	50%

1.- GRANULOMETRIA

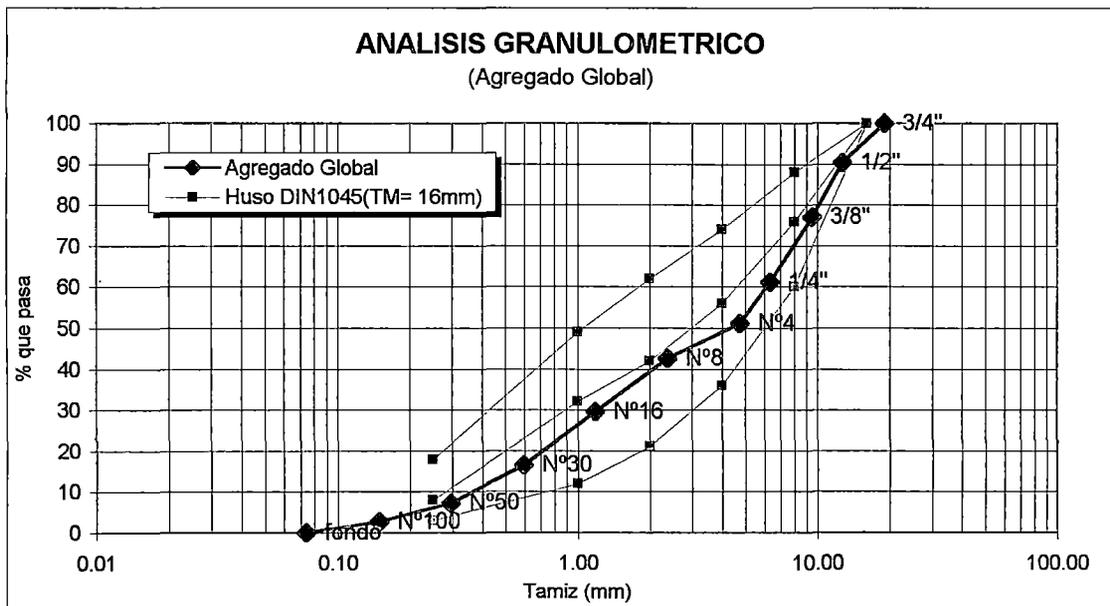
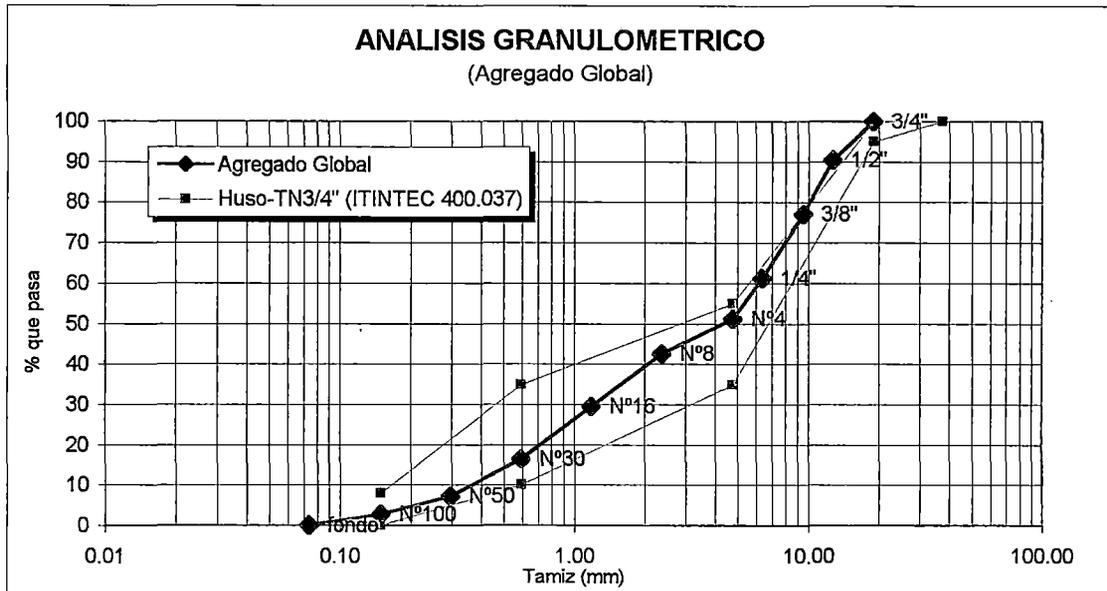
TAMIZ	COMBINACION		COMBINACION		A. Global	A. Global	A. Global
	A. Grueso % Retenido	A. Fino % Retenido	A. Grueso 50%	A. Fino 50%	% Retenido	% Ret. Acum.	% que pasa
3/4"	0.00		0.00		0.00	0.00	100.00
1/2"	19.16		9.58		9.58	9.58	90.42
3/8"	26.81		13.41		13.41	22.98	77.02
1/4"	31.59		15.80		15.80	38.78	61.22
Nº4	17.16	2.95	8.58	1.48	10.06	48.84	51.16
Nº8	5.28	11.90	2.64	5.95	8.59	57.43	42.58
Nº16		26.10		13.05	13.05	70.48	29.53
Nº30		26.15		13.08	13.08	83.55	16.45
Nº50		18.55		9.28	9.28	92.83	7.17
Nº100		8.95		4.48	4.48	97.30	2.70
Fondo		5.40		2.70	2.70	100.00	0.00



2.- MODULO DE FINURA (MF)

TAMIZ	% Ret. Acum.
3/4"	0.00
1/2"	9.58
3/8"	22.98
1/4"	38.78
Nº4	48.84
Nº8	57.43
Nº16	70.48
Nº30	83.55
Nº50	92.83
Nº100	97.30
Suma=	521.76 (A)

$$MF = (A) / 100 = 5.22$$



ANEXO 2

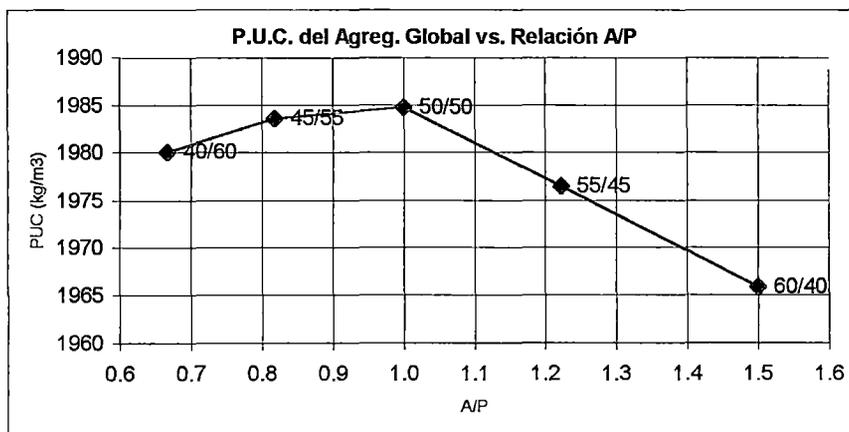
DISEÑO DE MEZCLA

2.1 PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) DEL AGREGADO GLOBAL Y RELACIÓN A/P

% A/P				Pesomuestra+Pesobalde			Pesomuestra			Peso Prom.	Vol	P.U.C
A	P	A/P	A/P	1	2	3	1	2	3	(kg)	(m3)	(kg/m3)
40	60	0.67	40/60	39.60	39.80	39.65	27.80	28.00	27.85	27.88	0.014158	1969.4
45	55	0.82	45/55	39.65	39.75	39.80	27.85	27.95	28.00	27.93	0.014158	1972.9
50	50	1.00	50/50	39.70	39.80	39.75	27.90	28.00	27.95	27.95	0.014158	1974.1
55	45	1.22	55/45	39.70	39.60	39.60	27.90	27.80	27.80	27.83	0.014158	1965.9
60	40	1.50	60/40	39.50	39.45	39.50	27.70	27.65	27.70	27.68	0.014158	1955.3

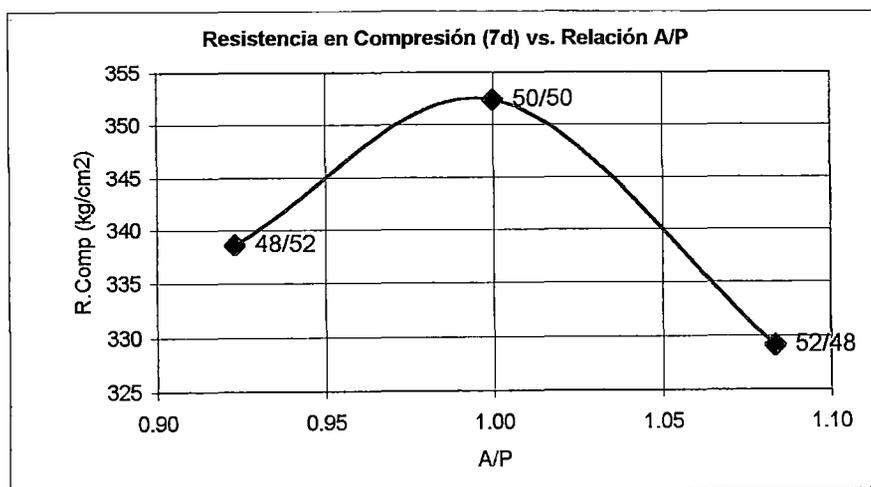
A=Arena
P=Piedra

Peso del balde (kg)= 11.8
Vol. del balde(m3)= 0.014082



2.2 RESISTENCIA EN COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS (A/P = 48/52, 50/50, 52/48)

A/P		Carga (kg)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom. (kg/cm ²)
48/52	0.92	60400	15.00	176.72	341.79	338.62
		55000	14.94	175.30	313.74	
		63000	14.92	174.84	360.34	
50/50	1.00	62000	15.00	176.72	350.85	352.42
		62200	15.00	176.72	351.98	
		61800	14.90	174.37	354.43	
52/48	1.08	60200	15.00	176.72	340.66	329.13
		56800	14.95	175.54	323.58	
		56800	14.96	175.77	323.14	



2.3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA HALLAR LA DOSIFICACIÓN DE LAS TANDAS DE PRUEBA EN LOS CONCRETOS PATRONES

A continuación se detalla el procedimiento de cálculo para hallar el diseño de mezcla de los concretos patrones. Se toma como ejemplo la relación A/C=0.45 con 215 l de agua por 1 m³ de concreto.

Cont. de Humedad (arena) =2.04

Cont. de Humedad (piedra)=0.55

PROCEDIMIENTO:

- 1) Se elige la relación A/C, para este ejemplo se utiliza A/C=0.45.
- 2) Se elige el asentamiento que debe cumplir la tanda de prueba: 3 ½"
- 3) Se estima aproximadamente el contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto. Según las tablas de diseño de mezcla de concreto del ACI (Cuadro A 2.1): Para TNM ½" - 2.5% del volumen de la mezcla.
- 4) Se estima la cantidad de agua por 1 m³ de concreto. Según las tablas de diseño de mezcla de concreto del ACI (Cuadro A 2.1): Para TNM ½" - 215 l por 1 m³ de concreto. Si la tanda resultante no produce el asentamiento deseado, entonces se modifica la cantidad de agua y se recalcula la tanda de prueba.

Cuadro A2.1

Asentamiento (pulg)	TNM							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" - 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" - 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" - 7"	240	230	210	205	185	180	170	-
1" - 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" - 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" - 7"	215	205	190	185	170	165	160	-

Aire Atrapado(%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

- 5) Se calcula la cantidad de cemento por 1 m³ de concreto. Para ello se utiliza la relación A/C utilizada.

$$\text{Cemento} = \text{Agua} / (\text{A/C}) = 215 / 0.45 = \mathbf{477.78 \text{ kg.}} \text{ por } 1\text{m}^3 \text{ de concreto}$$

- 6) Se calcula el volumen total de agregados en la mezcla de concreto.

$$\begin{aligned} \text{Vol. Total de Agregados} &= 1 - (\text{Vol. de agua} + \text{Vol. de cemento} + \text{Vol. de aire}) \\ &= 1 - (0.215 + 477.78/3150 + 0.025) \\ &= \mathbf{0.6083 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

- 7) Se calcula el peso seco por 1 m³ de concreto del agregado grueso y fino. Se resuelve el siguiente sistema de ecuaciones:

- (1) Vol. Total de Agregados = Peso Seco de Arena / P.E. de Arena + Peso Seco de Piedra / P.E. de Piedra
- (2) % de Arena = Peso Seco de Arena / (Peso Seco de Arena + Peso Seco de Piedra)

$$\text{Arena} = 815.274 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 815.274 \text{ kg}$$

- 8) Se calcula el volumen absoluto del agregado grueso y fino.

$$\text{Vol. Abs. Arena} = \text{Peso Seco} / \text{P.E.} = 815.274 / 2663.5 = 0.3060 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Abs. Piedra} = \text{Peso Seco} / \text{P.E.} = 815.274 / 26970.5 = 0.3022 \text{ m}^3$$

- 9) Se corrige el peso del agregado grueso y fino con el contenido de humedad que poseen.

$$\begin{aligned} \text{Peso Húmedo Arena} &= \text{Peso Seco} \times (1 + \text{C.H. Arena} / 100) \\ &= 815.274 \times (1 + 2.04 / 100) \\ &= \mathbf{831.905 \text{ kg.}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso Húmedo Piedra} &= \text{Peso Seco} \times (1 + \text{C.H.Piedra} / 100) \\ &= 815.274 \times (1 + 0.55 / 100) \\ &= 819.758 \text{ kg.} \end{aligned}$$

10) Se corrige la cantidad de agua debido a la humedad que aporta o quita el agregado.

$$\begin{aligned} \text{Agua (ARENA)} &= \text{Peso Seco} \times (\text{C.H.Arena} - \% \text{Abs.Arena}) / 100 \\ &= 815.274 \times (2.04 - 0.65) / 100 \\ &= 11.332 \text{ l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua (PIEDRA)} &= \text{Peso Seco} \times (\text{C.H.Piedra} - \% \text{Abs.Piedra}) / 100 \\ &= 815.274 \times (0.55 - 0.97) / 100 \\ &= -3.424 \text{ l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Corrección de Agua} &= \text{Agua (ARENA)} + \text{Agua (PIEDRA)} \\ &= 11.332 + (-3.424) \\ &= 7.908 \text{ l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua Corregida} &= \text{Agua Inicial} - \text{Corrección de Agua} \\ &= 215 - 7.908 \text{ l} \\ &= 207.09 \text{ l de agua por } 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto.} \end{aligned}$$

11) Finalmente con todos los datos corregidos se obtiene, en forma proporcional, la tanda de 54 kg. que se va a usar en la mezcladora

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)	Material	DISEÑO SECO				DISEÑO HUMEDO		
		Peso Seco (kg)	Peso Específico (kg/m ³)	Volumen Absoluto (m ³)	Diseño Unitario (kg)	Peso Húmedo (kg)	Diseño Unitario (kg)	Tanda de 54 kg (kg)
A/C: 0.45 Agua(l): 215	Cemento	477.78	3150.0	0.152	1.00	477.78	1.00	11.04
	Agua	215.00	1000.0	0.215	0.45	207.09	0.43	4.79
	Arena	815.27	2663.5	0.306	1.71	831.91	1.74	19.23
	Piedra	815.27	2697.5	0.302	1.71	819.76	1.72	18.95
	Aire			0.025				
	TOTAL	2323.33				2336.53		54.00

2.4 DOSIFICACIONES DE PRUEBA DE LOS CONCRETOS PATRONES

2.4.1 RELACION A/C = 0.45 - (50% Piedra / 50% Arena)

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)	Material	DISEÑO SECO	
		Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)
a/c: 0.45 Agua(l): 215	Cemento	477.78	0.152
	Agua	215.00	0.215
	Arena	815.27	0.306
	Piedra	815.27	0.302
	Aire		0.025
	TOTAL	2323.33	

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)	Material	DISEÑO SECO	
		Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)
a/c: 0.45 Agua(l): 230	Cemento	511.11	0.162
	Agua	230.00	0.230
	Arena	780.99	0.293
	Piedra	780.99	0.290
	Aire		0.025
	TOTAL	2303.09	

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)		DISEÑO SECO	
		Material	Peso Seco (kg)
a/c: 0.45 Agua(l): 250	Cemento	555.56	0.176
	Agua	250.00	0.250
	Arena	735.28	0.276
	Piedra	735.28	0.273
	Aire		0.025
	TOTAL	2276.11	

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)		DISEÑO SECO	
		Material	Peso Seco (kg)
a/c: 0.45 Agua(l): 265	Cemento	588.89	0.187
	Agua	265.00	0.265
	Arena	700.99	0.263
	Piedra	700.99	0.260
	Aire		0.025
	TOTAL	2255.87	

2.4.2 RELACION A/C = 0.50.- (50% Piedra / 50% Arena)

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)		DISEÑO SECO	
		Material	Peso Seco (kg)
A/C: 0.50 Agua(l): 235	Cemento	470.00	0.149
	Agua	235.00	0.235
	Arena	791.78	0.297
	Piedra	791.78	0.294
	Aire		0.025
	TOTAL	2288.56	

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)		DISEÑO SECO	
		Material	Peso Seco (kg)
A/C: 0.50 Agua(l): 255	Cemento	510.00	0.162
	Agua	255.00	0.255
	Arena	747.96	0.281
	Piedra	747.96	0.277
	Aire		0.025
	TOTAL	2260.91	

2.4.3 RELACION A/C = 0.40.- (50% Piedra / 50% Arena)

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)		DISEÑO SECO	
		Material	Peso Seco (kg)
A/C: 0.4 Agua(l): 270	Cemento	675.00	0.214
	Agua	270.00	0.270
	Arena	657.65	0.247
	Piedra	657.65	0.244
	Aire		0.025
	TOTAL	2260.31	

DISEÑO DE MEZCLA (Prueba)		DISEÑO SECO	
		Material	Peso Seco (kg)
A/C: 0.4 Agua(l): 285	Cemento	712.50	0.226
	Agua	285.00	0.285
	Arena	621.60	0.233
	Piedra	621.60	0.230
	Aire		0.025
	TOTAL	2240.69	

2.5 DOSIFICACIONES DEFINITIVAS DE LOS CONCRETOS PATRONES

2.5.1 RELACION A/C = 0.50.- (50% Piedra / 50% Arena)

DISEÑO DE MEZCLA (Definitivo)		DISEÑO SECO		
		Material	Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m ³)
A/C: 0.5 Agua(l): 244	Cemento	488.00	0.155	1.00
	Agua	244.00	0.244	0.50
	Arena	772.06	0.290	1.58
	Piedra	772.06	0.286	1.58
	Aire		0.025	
	TOTAL	2276.12		

2.5.2 RELACION A/C = 0.45.- (50% Piedra / 50% Arena)

DISEÑO DE MEZCLA (Definitivo)	Material	DISEÑO SECO		
		Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
A/C: 0.45 Agua(l): 255	Cemento	566.67	0.180	1.00
	Agua	255.00	0.255	0.45
	Arena	723.85	0.272	1.28
	Piedra	723.85	0.268	1.28
	Aire		0.025	
	TOTAL	2269.36		

2.5.3 RELACION A/C = 0.40.- (50% Piedra / 50% Arena)

DISEÑO DE MEZCLA (Definitivo)	Material	DISEÑO SECO		
		Peso Seco (kg)	Volumen Absoluto (m3)	Diseño Unitario (kg)
A/C: 0.4 Agua(l): 280	Cemento	700.00	0.222	1.00
	Agua	280.00	0.280	0.40
	Arena	633.61	0.238	0.91
	Piedra	633.61	0.235	0.91
	Aire		0.025	
	TOTAL	2247.23		

2.6 DOSIFICACIONES DE LOS CONCRETOS FLUIDOS SIMPLES Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

Mezclas generadas del concreto patrón P50 (a/c=0.50)

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A501 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.20% Agua diseño: 244.0 l Agua usada: 225.7 l	Cemento	0.1576	496.439
	Agua	0.2257	225.738
	Arena	0.2949	785.411
	Piedra	0.2912	785.411
	Aditivo	0.0056	5.957
	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2298.957

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A502 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.20% Agua diseño: 244.0 l Agua usada: 220.1 l	Cemento	0.1588	500.200
	Agua	0.2201	220.063
	Arena	0.2971	791.360
	Piedra	0.2934	791.360
	Aditivo	0.0057	6.002
	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2308.985

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A503 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.60% Agua diseño: 244.0 l Agua usada: 211.4 l	Cemento	0.1602	504.705
	Agua	0.2114	211.359
	Arena	0.2998	798.488
	Piedra	0.2960	798.488
	Aditivo	0.0076	8.075
	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2321.115

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A504 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.60% Agua diseño: 244.0 l Agua usada: 197.4 l	Cemento	0.1632	513.947
	Agua	0.1974	197.375
	Arena	0.3053	813.110
	Piedra	0.3014	813.110
	Aditivo	0.0078	8.223
	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2345.765

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A506 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 2.00% Agua diseño: 244.0 l Agua usada: 187.6 l	Cemento	0.1648	519.089
	Agua	0.1876	187.635
	Arena	0.3083	821.246
	Piedra	0.3044	821.246
	Aditivo	0.0098	10.382
	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2359.598

Mezclas generadas del concreto patrón P45 (a/c=0.45)

DISEÑO DE MEZCLA A451	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1857	585.012
Aditivo: 1.20%	Agua	0.2251	225.068
	Arena	0.2806	747.282
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2770	747.282
	Aditivo	0.0066	7.020
Agua usada: 225.1 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2311.663

DISEÑO DE MEZCLA A452	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1884	593.537
Aditivo: 1.20%	Agua	0.2141	214.139
	Arena	0.2847	758.172
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2811	758.172
	Aditivo	0.0067	7.122
Agua usada: 214.1 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2331.142

DISEÑO DE MEZCLA A453	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1856	584.683
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2233	223.284
	Arena	0.2804	746.861
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2769	746.861
	Aditivo	0.0088	9.355
Agua usada: 223.3 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2311.043

DISEÑO DE MEZCLA A454	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1881	592.462
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2133	213.282
	Arena	0.2841	756.798
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2806	756.798
	Aditivo	0.0089	9.479
Agua usada: 213.3 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2328.819

DISEÑO DE MEZCLA A455	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1907	600.775
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2026	202.595
	Arena	0.2881	767.416
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2845	767.415
	Aditivo	0.0091	9.612
Agua usada: 202.6 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2347.814

DISEÑO DE MEZCLA A457	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1885	593.807
Aditivo: 2.00%	Agua	0.2093	209.312
	Arena	0.2848	758.516
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2812	758.516
	Aditivo	0.0112	11.876
Agua usada: 209.3 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2332.027

DISEÑO DE MEZCLA A458	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1905	600.007
Aditivo: 2.00%	Agua	0.2013	201.317
	Arena	0.2878	766.436
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2841	766.436
	Aditivo	0.0113	12.000
Agua usada: 201.3 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2346.197

DISEÑO DE MEZCLA A459	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	0.1940	611.006
Aditivo: 2.00%	Agua	0.1871	187.135
	Arena	0.2930	780.485
Agua diseño: 255.0 l	Piedra	0.2893	780.485
	Aditivo	0.0115	12.220
Agua usada: 187.1 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2371.331

Mezclas generadas del concreto patrón P40 (a/c=0.40)

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A401			
A/C inicial: 0.40	Cemento	0.2331	734.322
Aditivo: 1.20%	Agua	0.2376	237.610
Agua diseño: 280.0 l	Arena	0.2496	664.682
	Piedra	0.2464	664.682
	Aditivo	0.0083	8.812
Agua usada: 237.6 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2310.108

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A402			
A/C inicial: 0.40	Cemento	0.2351	740.652
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2285	228.459
Agua diseño: 280.0 l	Arena	0.2517	670.412
	Piedra	0.2485	670.412
	Aditivo	0.0112	11.850
Agua usada: 228.5 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2321.784

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A403			
A/C inicial: 0.40	Cemento	0.2378	749.169
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2199	219.874
Agua diseño: 280.0 l	Arena	0.2546	678.121
	Piedra	0.2514	678.121
	Aditivo	0.0113	11.987
Agua usada: 219.9 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2337.272

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A404			
A/C inicial: 0.40	Cemento	0.2363	744.367
Aditivo: 2.00%	Agua	0.2219	221.906
Agua diseño: 280.0 l	Arena	0.2530	673.774
	Piedra	0.2498	673.774
	Aditivo	0.0140	14.887
Agua usada: 221.9 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2328.707

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA	Material	Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
A405			
A/C inicial: 0.40	Cemento	0.2379	749.492
Aditivo: 2.00%	Agua	0.2167	216.720
Agua diseño: 280.0 l	Arena	0.2547	678.414
	Piedra	0.2515	678.414
	Aditivo	0.0141	14.990
Agua usada: 216.7 l	Aire	0.0250	0.000
	TOTAL	1.0000	2338.030

Mezclas generadas variando la relación A/P

DISEÑO DE MEZCLA A505	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
		A/C inicial: 0.5	Cemento
Aditivo: 1.60%	Agua	0.1854	185.401
Agua diseño: 244.0 l	Arena	0.3285	874.835
Agua usada: 185.4 l	Piedra	0.2876	775.797
	Aditivo	0.0079	8.350
	Aire	0.0250	0.000
TOTAL		1.0000	2366.244

DISEÑO DE MEZCLA A507	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
		A/C inicial: 0.5	Cemento
Aditivo: 2.00%	Agua	0.1770	176.985
Agua diseño: 244.0 l	Arena	0.3311	881.960
Agua usada: 177.0 l	Piedra	0.2899	782.116
	Aditivo	0.0099	10.522
	Aire	0.0250	0.000
TOTAL		1.0000	2377.694

DISEÑO DE MEZCLA A456	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
		A/C inicial: 0.45	Cemento
Aditivo: 1.60%	Agua	0.1956	195.554
Agua diseño: 255.0 l	Arena	0.3081	820.563
Agua usada: 195.6 l	Piedra	0.2698	727.670
	Aditivo	0.0092	9.700
	Aire	0.0250	0.000
TOTAL		1.0000	2359.738

Mezclas generadas incrementando el contenido de pasta, manteniendo cte. la relación a/c y la dosif. de aditivo.

DISEÑO DE MEZCLA A502-1, CAC44	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
		Mezcla inicial: A502	Cemento
Aditivo: 1.20%	Agua	0.2501	250.100
Agua mezcla inicial: 220.1 l	Arena	0.2707	721.049
Agua usada: 250.1 l	Piedra	0.2673	721.049
	Aditivo	0.0064	6.821
	Aire	0.0250	0.000
TOTAL		1.0000	2267.429

DISEÑO DE MEZCLA A454-1	Material	DISEÑO SECO	
		Volumen Absoluto x 1m3 (m3)	Peso Seco x 1m3 (kg)
		Mezcla inicial: A454	Cemento
Aditivo: 1.60%	Agua	0.2233	223.280
Agua mezcla inicial: 213.3 l	Arena	0.2745	731.026
Agua usada: 223.3 l	Piedra	0.2710	731.026
	Aditivo	0.0094	9.924
	Aire	0.0250	0.000
TOTAL		1.0000	2315.478

Mezclas autocompactantes de relación a/c similar a los concretos patrones normales

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA CAC50	Material	Volumen	Peso
		Absoluto x 1m3 (m3)	Seco x 1m3 (kg)
A/C: 0.5	Cemento	0.1746	550.000
Aditivo: 1.20%	Agua	0.2750	275.000
	Arena	0.2612	695.790
	Piedra	0.2579	695.790
	Aditivo	0.0062	6.600
Agua usada:	Aire	0.0250	0.000
275.0 l	TOTAL	1.0000	2223.180

		DISEÑO SECO	
DISEÑO DE MEZCLA CAC40	Material	Volumen	Peso
		Absoluto x 1m3 (m3)	Seco x 1m3 (kg)
A/C: 0.4	Cemento	0.1865	587.500
Aditivo: 1.20%	Agua	0.2350	235.000
	Arena	0.2752	732.874
	Piedra	0.2717	732.874
	Aditivo	0.0067	7.050
Agua usada:	Aire	0.0250	0.000
235.0 l	TOTAL	1.0000	2295.299

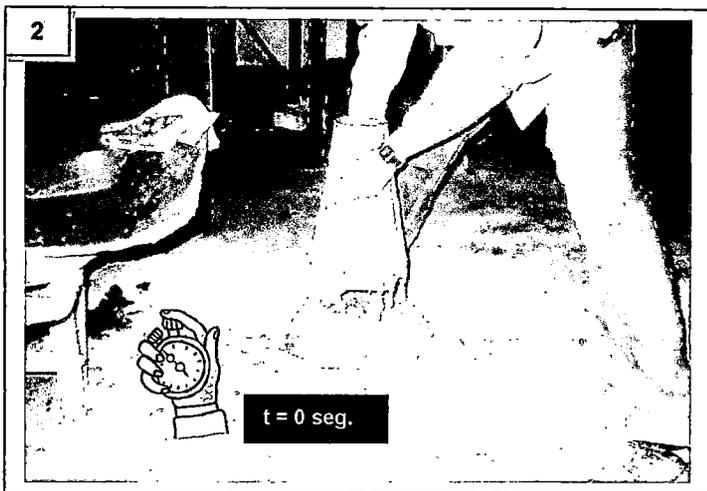
ANEXO 3

FOTOGRAFIAS

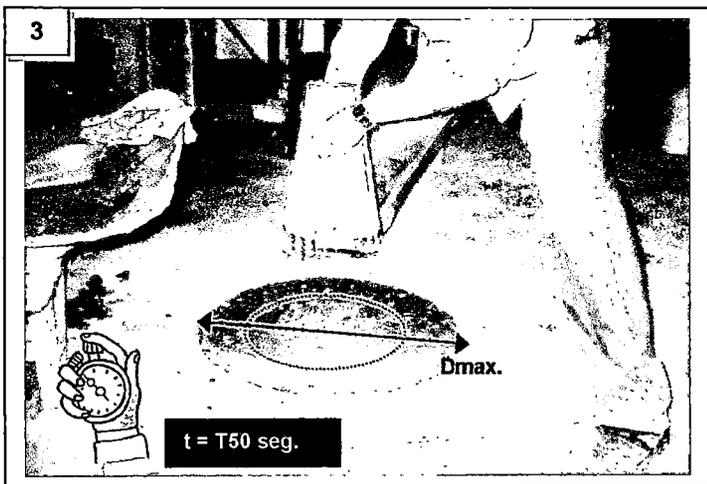
3.1 ENSAYO DE EXTENSIÓN DE FLUJO



1) Se llena el molde con la cuchara sin aplicar compactación alguna. No dejar escapar concreto fresco por debajo del molde metálico



2) Se levanta verticalmente el molde metálico y simultáneamente se inicia la medición del tiempo



3) Se toma el tiempo que demora la mezcla en alcanzar 50 cm. de diámetro (T50), además cuando la mezcla se detiene, se mide el valor del diámetro máximo (Dmax.). Es importante una inspección visual para detectar casos de segregación

3.2 ENSAYO CAJA L



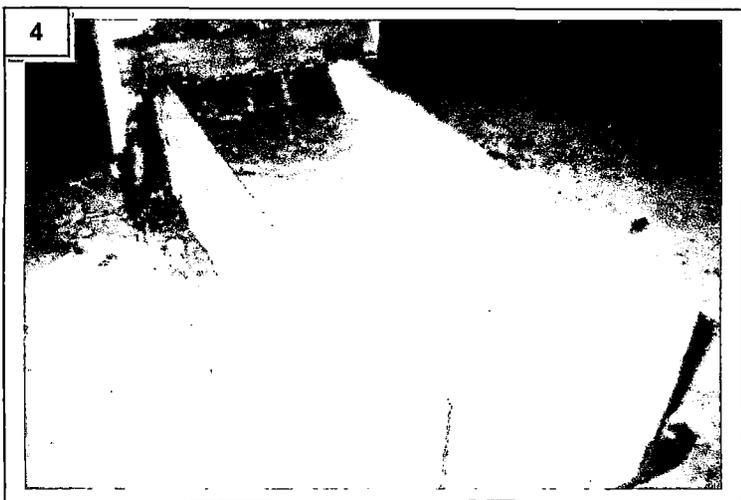
1) Luego de nivelar y humedecer la caja L, se procede a cerrar la compuerta y llenar con concreto la sección vertical de la caja sin aplicar compactación alguna. Se deja reposar la mezcla por 1 minuto.



2) Luego se abre la compuerta y se deja que la mezcla fluya libremente. Simultáneamente se inicia la medición del tiempo y se anota el valor de T20 cuando la mezcla ha recorrido 20 cm. en la sección horizontal de la caja.



3) Se anota el tiempo T40 cuando la mezcla ha recorrido 40 cm. en la sección horizontal de la caja.



4) Cuando la mezcla se detiene, se procede a medir las alturas alcanzadas por la mezcla de concreto al final y al inicio de la sección horizontal de la caja. La relación entre ellos es el Radio de Bloqueo. ($H2/H1$). Por inspección visual se analiza los problemas de bloqueo

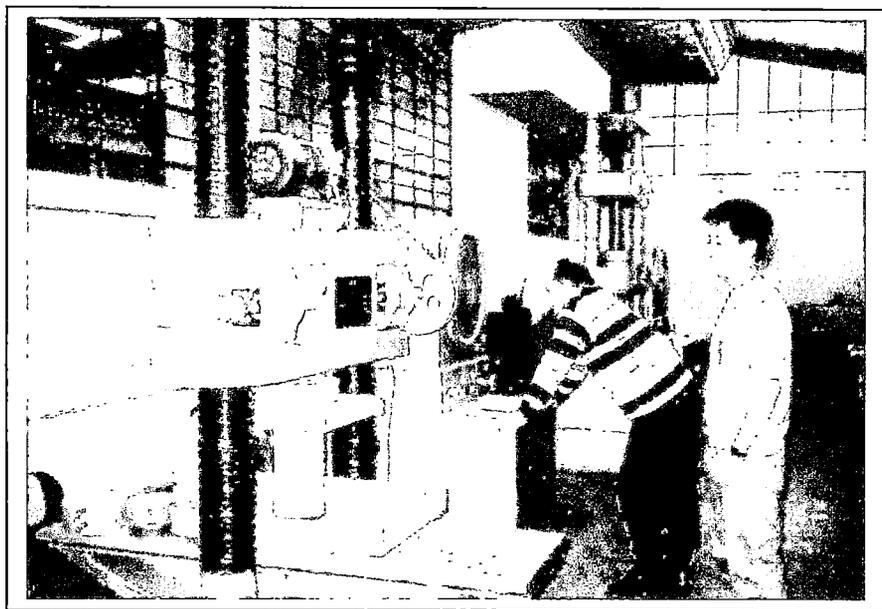
3.3 ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (Consistencia)



3.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

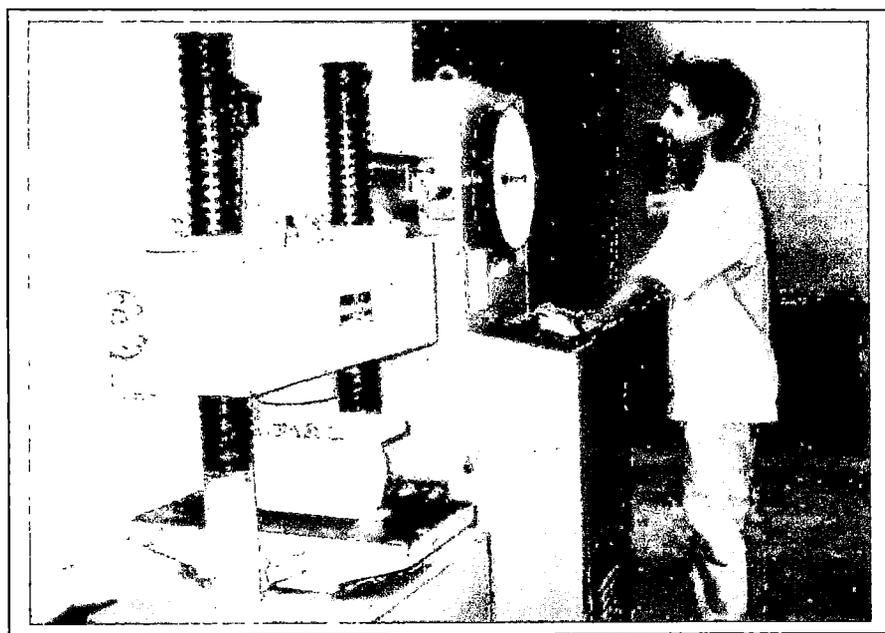


3.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO



Nota: Foto tomada en las instalaciones del laboratorio de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones –Oficina de Apoyo Tecnológico

3.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO POR COMPRESIÓN DIAMETRAL



3.7 ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO



ANEXO 4

ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

4.1 ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

Mezcla	Peso balde (kg)	Peso muestra+balde (kg)	Peso muestra (kg)	Volumen balde (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
Concretos Patrones					
P50 (a/c=0.50)	11.85	44.55	32.70	0.014158	2309.6
P45 (a/c=0.45)	11.85	44.35	32.50	0.014158	2295.5
P40 (a/c=0.40)	11.85	43.95	32.10	0.014158	2267.2
Concretos Fluidos					
A502V	11.85	44.75	32.90	0.014158	2323.7
A502	11.85	44.45	32.60	0.014158	2302.5
A454V	11.85	45.15	33.30	0.014158	2352.0
A454	11.85	45.10	33.25	0.014158	2348.4
A403V	11.85	45.10	33.25	0.014158	2348.4
A403	11.85	45.05	33.20	0.014158	2344.9
CAC50	11.85	43.30	31.45	0.014158	2221.3
CAC44 / A502-1	11.85	44.00	32.15	0.014158	2270.7
CAC40	11.85	44.55	32.70	0.014158	2309.6
A458	11.85	45.30	33.45	0.014158	2362.6

4.2 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO DEL CONCRETO FRESCO (Método Gravimétrico)

Mezcla	Peso Unitario Real (kg/m3)	Peso Unitario Teórico (kg/m3)	Contenido de Aire (%)
Concretos Patrones			
P50 (a/c=0.50)	2309.6	2288.6	1.607
P45 (a/c=0.45)	2295.5	2281.1	1.886
P40 (a/c=0.40)	2267.2	2257.5	2.081
Concretos Fluidos			
A502V	2323.7	2321.8	2.420
A502	2302.5	2321.8	3.310
A454V	2352.0	2341.1	2.047
A454	2348.4	2341.1	2.194
A403V	2348.4	2348.3	2.493
A403	2344.9	2348.3	2.639
CAC50	2221.3	2234.5	3.074
CAC44 / A502-1	2270.7	2279.1	2.858
CAC40	2309.6	2307.2	2.398
A458	2362.6	2358.6	2.337

4.3 ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO FRESCO

ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.50 (P50)

Diametro del Balde (cm): 25.35

Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
14:50	0:00	0	0.0	0.000
15:05	0:15	15	0.0	0.000
15:25	0:35	35	2.5	0.005
15:35	0:45	45	6.0	0.012
15:45	0:55	55	10.5	0.021
15:55	1:05	65	13.0	0.026
16:05	1:15	75	17.0	0.034
16:15	1:25	85	20.5	0.041
16:35	1:45	105	30.0	0.059
16:55	2:05	125	38.0	0.075
17:15	2:25	145	46.0	0.091
17:35	2:45	165	49.0	0.097
17:55	3:05	185	49.5	0.098
18:05	3:15	195	49.5	0.098

Peso muestra+balde (kg)	37.85
Peso balde (kg)	8.80
Peso muestra (kg)	29.05

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.05
Peso Agua (kg)	5.55	2.99 (A)

Agua Exudada (kg)	0.0495 (B)
-------------------	------------

EXUDACION (%)	1.66 (A)/(B)×100
---------------	------------------

ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (P45)

Diametro del Balde (cm): 25.35

Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
9:20	0:00	0	0.0	0.000
9:35	0:15	15	0.0	0.000
9:45	0:25	25	0.5	0.001
9:55	0:35	35	2.0	0.004
10:05	0:45	45	6.0	0.012
10:15	0:55	55	10.0	0.020
10:25	1:05	65	14.0	0.028
10:35	1:15	75	17.5	0.035
10:55	1:35	95	24.5	0.049
11:15	1:55	115	31.0	0.061
11:45	2:25	145	40.0	0.079
12:05	2:45	165	43.0	0.085
12:15	2:55	175	44.5	0.088
12:25	3:05	185	45.0	0.089

Peso muestra+balde (kg)	38.30
Peso balde (kg)	8.80
Peso muestra (kg)	29.50

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.50
Peso Agua (kg)	5.84	3.19 (A)

Agua Exudada (kg)	0.0450 (B)
-------------------	------------

EXUDACION (%)	1.41 (A)/(B)×100
---------------	------------------

ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.40 (P40)

Diametro del Balde (cm): 25.35
Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

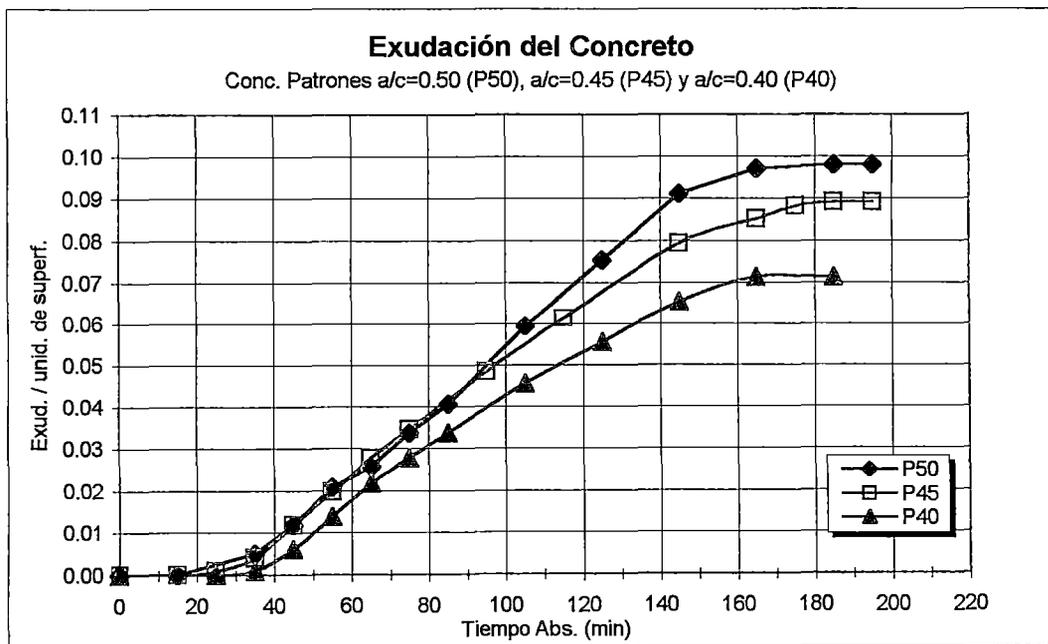
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
13:55	0:00	0	0.0	0.000
14:20	0:25	25	0.0	0.000
14:30	0:35	35	0.5	0.001
14:40	0:45	45	3.0	0.006
14:50	0:55	55	7.0	0.014
15:00	1:05	65	11.0	0.022
15:10	1:15	75	14.0	0.028
15:20	1:25	85	17.0	0.034
15:40	1:45	105	23.0	0.046
16:00	2:05	125	28.0	0.055
16:20	2:25	145	33.0	0.065
16:40	2:45	165	36.0	0.071
17:00	3:05	185	36.0	0.071

Peso muestra+balde (kg)	38.20
Peso balde (kg)	8.80
Peso muestra (kg)	29.40

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.40
Peso Agua (kg)	6.53	3.56 (A)

Agua Exudada (kg)	0.0360 (B)
-------------------	------------

EXUDACION (%)	1.01 (A)/(B)x100
----------------------	-------------------------



ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A502V

MEZCLA VARILLADA

Diametro del Balde (cm): 25.35

Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
9:20	0:00	0	0.00	0.000
10:20	1:00	60	0.00	0.000
10:40	1:20	80	0.00	0.000
11:20	2:00	120	0.50	0.001
11:40	2:20	140	1.50	0.003
12:15	2:55	175	3.00	0.006
12:40	3:20	200	4.00	0.008
13:15	3:55	235	5.00	0.010
13:45	4:25	265	5.50	0.011
14:15	4:55	295	5.50	0.011

Peso muestra+balde (kg)	37.95
Peso balde (kg)	8.80
Peso muestra (kg)	29.15

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.15
Peso Agua (kg)	4.91	2.65 (A)

Agua Exudada (kg) 0.0055 (B)

EXUDACION (%) 0.21 (A)/(B)x100

ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A502

MEZCLA NO VARILLADA

Diametro del Balde (cm): 25.35

Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

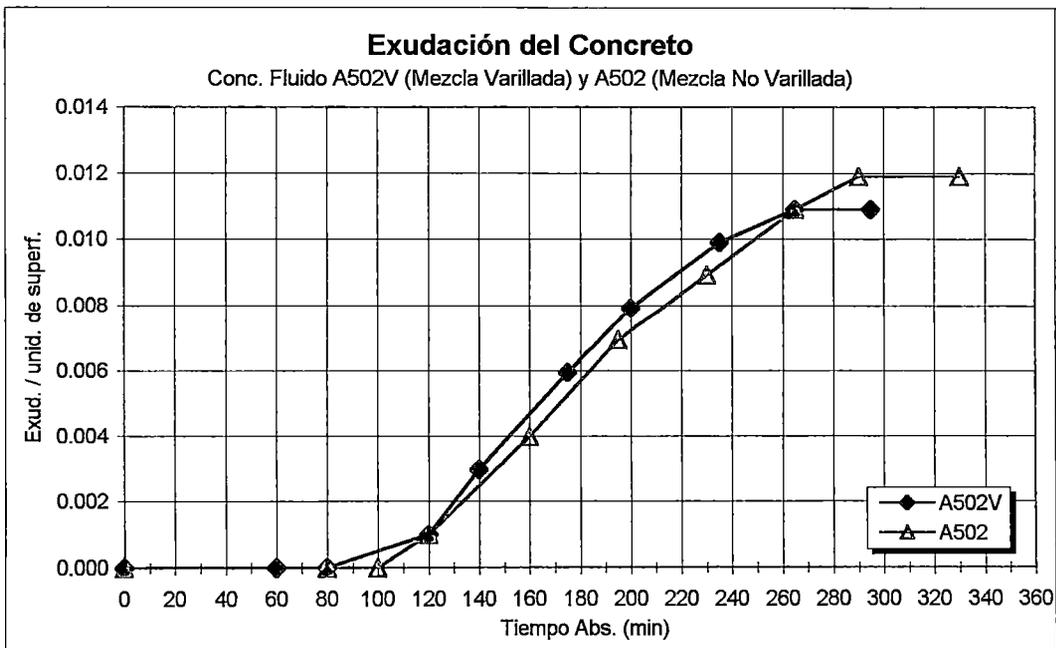
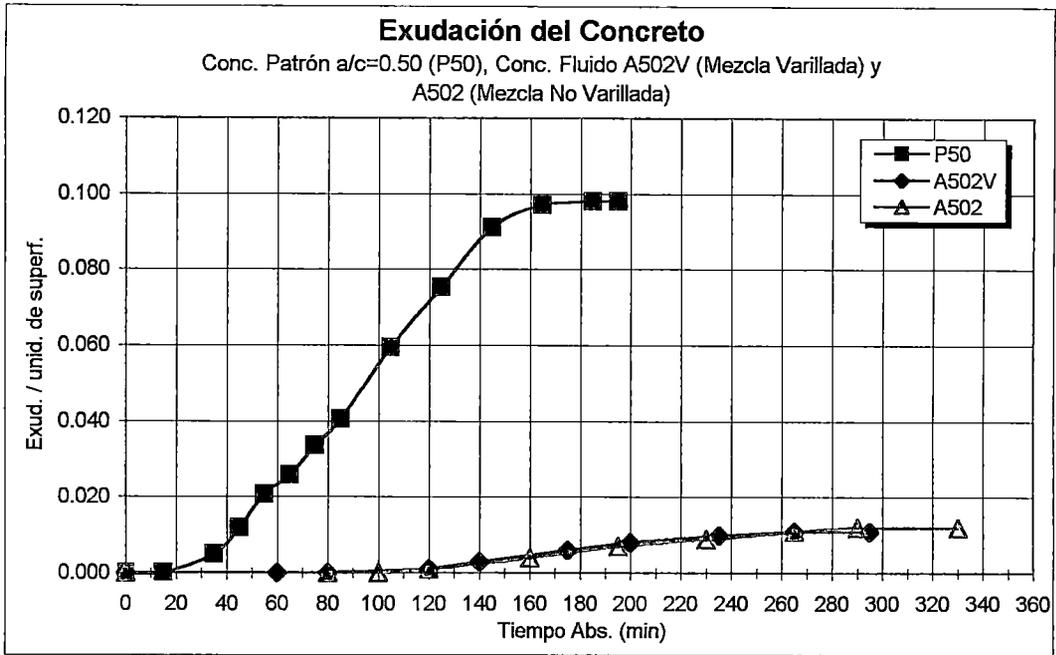
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
8:40	0:00	0	0.00	0.000
10:00	1:20	80	0.00	0.000
10:20	1:40	100	0.00	0.000
10:40	2:00	120	0.50	0.001
11:20	2:40	160	2.00	0.004
11:55	3:15	195	3.50	0.007
12:30	3:50	230	4.50	0.009
13:05	4:25	265	5.50	0.011
13:30	4:50	290	6.00	0.012
14:10	5:30	330	6.00	0.012

Peso muestra+balde (kg)	38.05
Peso balde (kg)	8.80
Peso muestra (kg)	29.25

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.25
Peso Agua (kg)	4.91	2.66 (A)

Agua Exudada (kg) 0.0060 (B)

EXUDACION (%) 0.23 (A)/(B)x100



ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A454V

MEZCLA VARILLADA

Diametro del Balde (cm): 25.35

Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
9:10	0:00	0	0.00	0.000
12:00	2:50	170	0.00	0.000
12:30	3:20	200	0.00	0.000
13:35	4:25	265	0.75	0.001
14:20	5:10	310	1.25	0.002
15:01	5:51	351	1.50	0.003
16:00	6:50	410	1.50	0.003

Peso muestra+balde (kg)	37.35
Peso balde (kg)	9.00
Peso muestra (kg)	28.35

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	28.35
Peso Agua (kg)	4.76	2.50 (A)

Agua Exudada (kg)	0.0015 (B)
-------------------	------------

EXUDACION (%)	0.06 (A)/(B)x100
---------------	------------------

ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A454

MEZCLA NO VARILLADA

Diametro del Balde (cm): 25.35

Area Expuesta (A) (cm²): 504.7

(a)

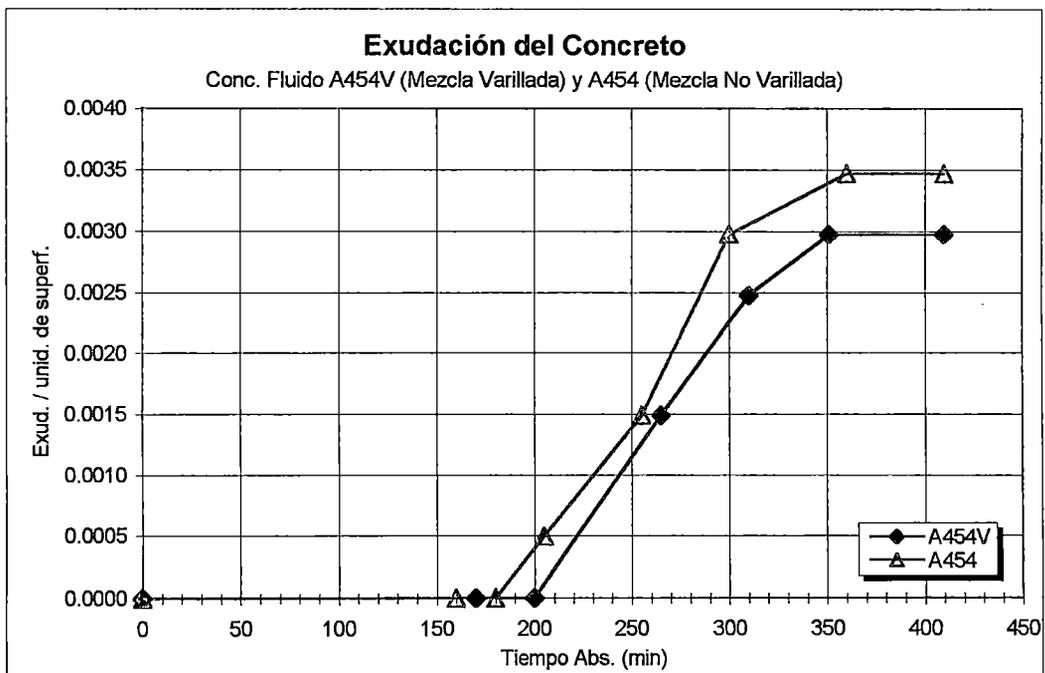
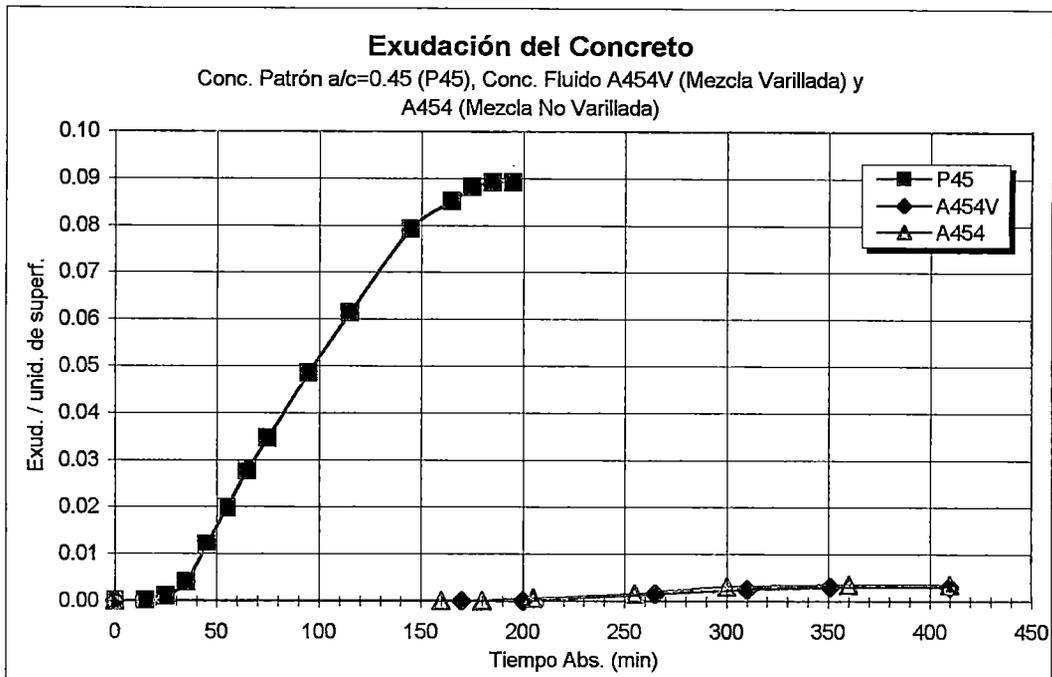
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
8:20	0:00	0	0.00	0.000
11:00	2:40	160	0.00	0.000
11:20	3:00	180	0.00	0.000
11:45	3:25	205	0.25	0.000
12:35	4:15	255	0.75	0.001
13:20	5:00	300	1.50	0.003
14:20	6:00	360	1.75	0.003
15:10	6:50	410	1.75	0.003

Peso muestra+balde (kg)	38.30
Peso balde (kg)	9.00
Peso muestra (kg)	29.30

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.30
Peso Agua (kg)	4.76	2.58 (A)

Agua Exudada (kg)	0.00175 (B)
-------------------	-------------

EXUDACION (%)	0.07 (A)/(B)x100
---------------	------------------



ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A403V

MEZCLA VARILLADA

Diametro del Balde (cm): 25.35
Area Expuesta (A) (cm²): 504.7
(a)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
10:30	0:00	0	0.00	0.000
12:30	2:00	120	0.00	0.000
13:00	2:30	150	0.00	0.000
14:00	3:30	210	0.50	0.001
15:00	4:30	270	1.00	0.002
16:00	5:30	330	1.00	0.002

Peso muestra+balde (kg)	38.10
Peso balde (kg)	9.00
Peso muestra (kg)	29.10

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	29.10
Peso Agua (kg)	4.91	2.65 (A)

Agua Exudada (kg)	0.0010 (B)
-------------------	------------

EXUDACION (%)	0.04 (A)/(B)x100
---------------	------------------

ENSAYO DE EXUDACION DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A403

MEZCLA NO VARILLADA

Diametro del Balde (cm): 25.35
Area Expuesta (A) (cm²): 504.7
(a)

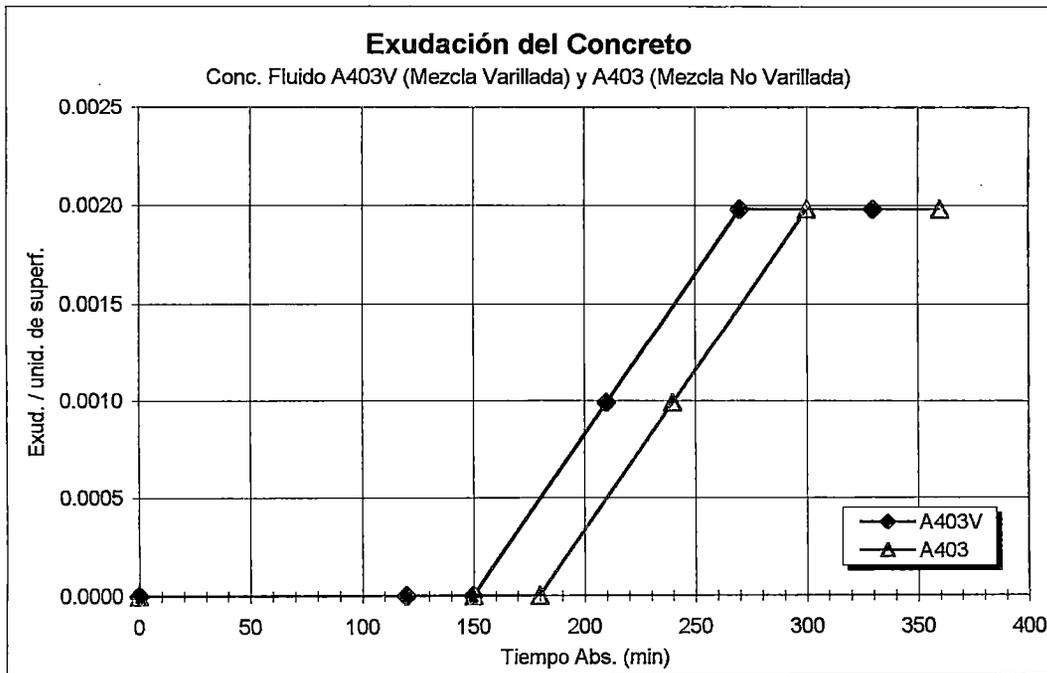
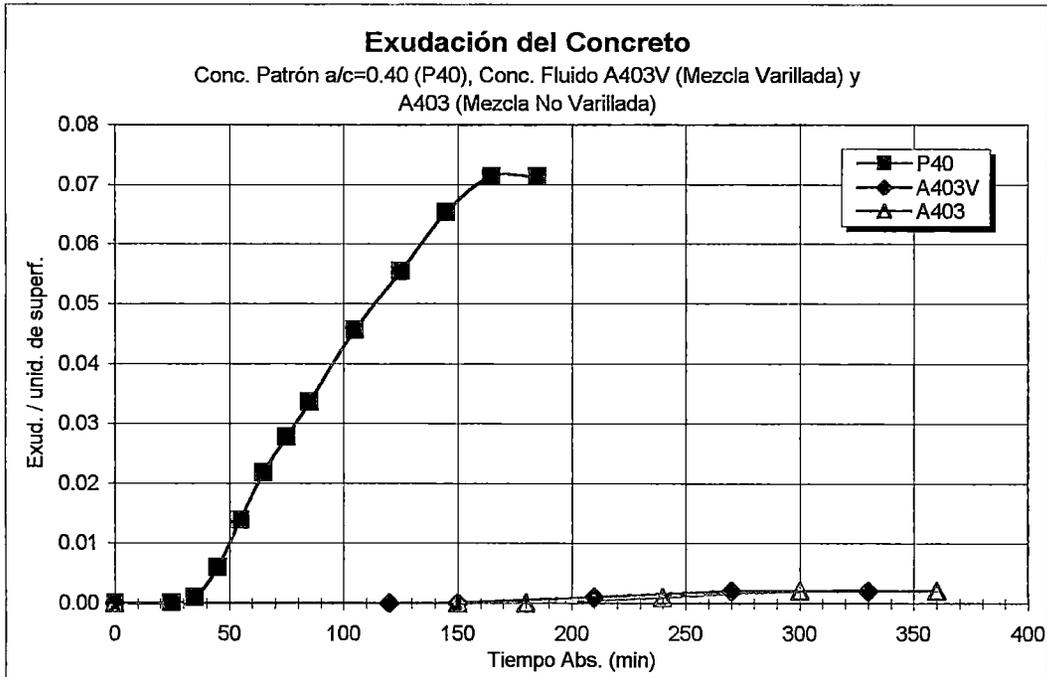
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Volumen de Exud. Acum. (cm ³)	Vol. de Exud. / unid. de area (a) / A
8:30	0:00	0	0.00	0.000
11:00	2:30	150	0.00	0.000
11:30	3:00	180	0.00	0.000
12:30	4:00	240	0.50	0.001
13:30	5:00	300	1.00	0.002
14:30	6:00	360	1.00	0.002

Peso muestra+balde (kg)	37.85
Peso balde (kg)	9.00
Peso muestra (kg)	28.85

	Tanda	Muestra
Peso TOTAL (kg)	54.00	28.85
Peso Agua (kg)	4.91	2.62 (A)

Agua Exudada (kg)	0.0010 (B)
-------------------	------------

EXUDACION (%)	0.04 (A)/(B)x100
---------------	------------------



4.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO FRESCO

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.50 (P50)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras)	Aguja Nº	Aguja Area (pulg2)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg2)
8:56	0:00	0	0			0.0
11:10	11:10	134	15	1	1.000	15.0
11:40	11:40	164	45	1	1.000	45.0
12:15	12:15	199	135	1	1.000	135.0
12:50	12:50	234	170	2	0.500	340.0
13:12	13:12	256	140	3	0.250	560.0
13:47	13:47	291	140	4	0.100	1400.0
14:14	14:14	318	155	5	0.050	3100.0
14:31	14:31	335	180	6	0.025	7200.0

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

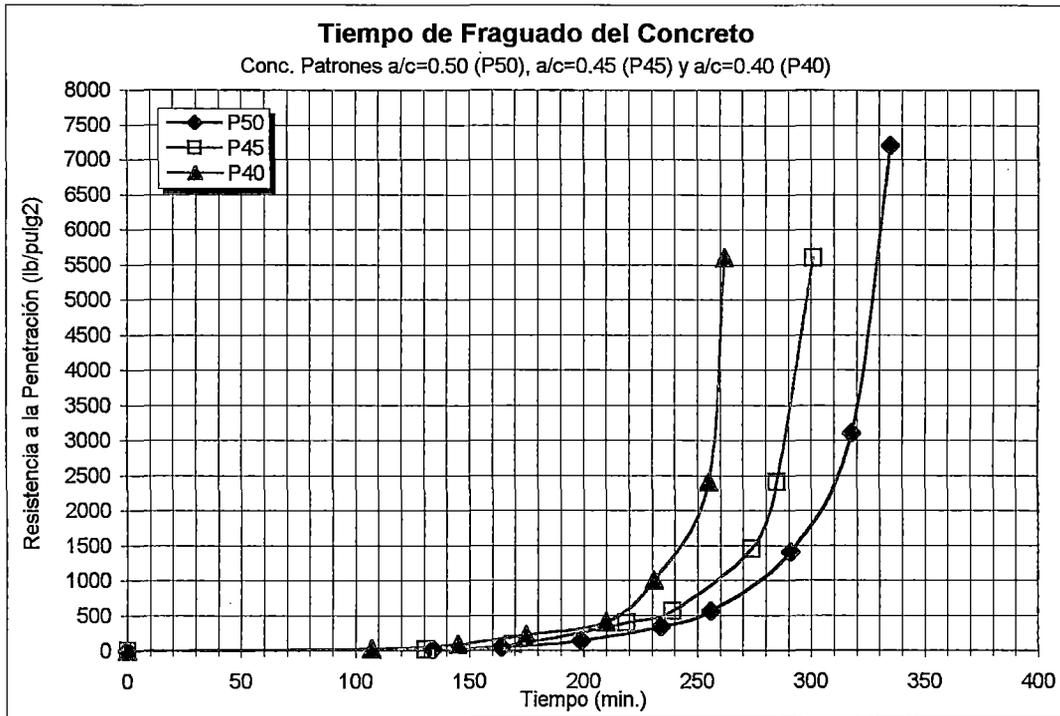
Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (P45)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras)	Aguja Nº	Aguja Area (pulg2)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg2)
9:31	0:00	0	0			0.0
11:42	11:42	131	20	1	1.000	20.0
12:20	12:20	169	80	1	1.000	80.0
13:10	13:10	219	195	2	0.500	390.0
13:30	13:30	239	140	3	0.250	560.0
14:05	14:05	274	145	4	0.100	1450.0
14:16	14:16	285	120	5	0.050	2400.0
14:32	14:32	301	140	6	0.025	5600.0

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.40 (P40)

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras)	Aguja Nº	Aguja Area (pulg2)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg2)
10:15	0:00	0	0			0.0
12:02	12:02	107	25	1	1.000	25.0
12:40	12:40	145	95	1	1.000	95.0
13:10	13:10	175	110	2	0.500	220.0
13:45	13:45	210	100	3	0.250	400.0
14:06	14:06	231	100	4	0.100	1000.0
14:30	14:30	255	120	5	0.050	2400.0
14:37	14:37	262	140	6	0.025	5600.0



TIEMPOS DE FRAGUA

Conc. Patrón a/c= 0.50 (P50)

Fragua Inicial (500lb/pulg2): 253 min. <> 4h 13min.

Fragua Final (4000 lb/pulg2): 324 min. <> 5h 24min.

Conc. Patrón a/c= 0.45 (P45)

Fragua Inicial (500lb/pulg2): 235 min. <> 3h 55min.

Fragua Final (4000 lb/pulg2): 294 min. <> 4h 54min.

Conc. Patrón a/c= 0.40 (P40)

Fragua Inicial (500lb/pulg2): 216 min. <> 3h 36min.

Fragua Final (4000 lb/pulg2): 259 min. <> 4h 19min.

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A502

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras)	Aguja N°	Aguja Area (pulg2)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg2)
9:55	0:00	0	0			0.0
15:52	15:52	952	45	1	1.000	45.0
16:20	16:20	980	100	1	1.000	100.0
16:50	16:50	1010	115	2	0.500	230.0
17:13	17:13	1033	100	3	0.250	400.0
17:40	17:40	1060	100	4	0.100	1000.0
17:59	17:59	1079	110	5	0.050	2200.0
18:17	18:17	1097	115	6	0.025	4600.0

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

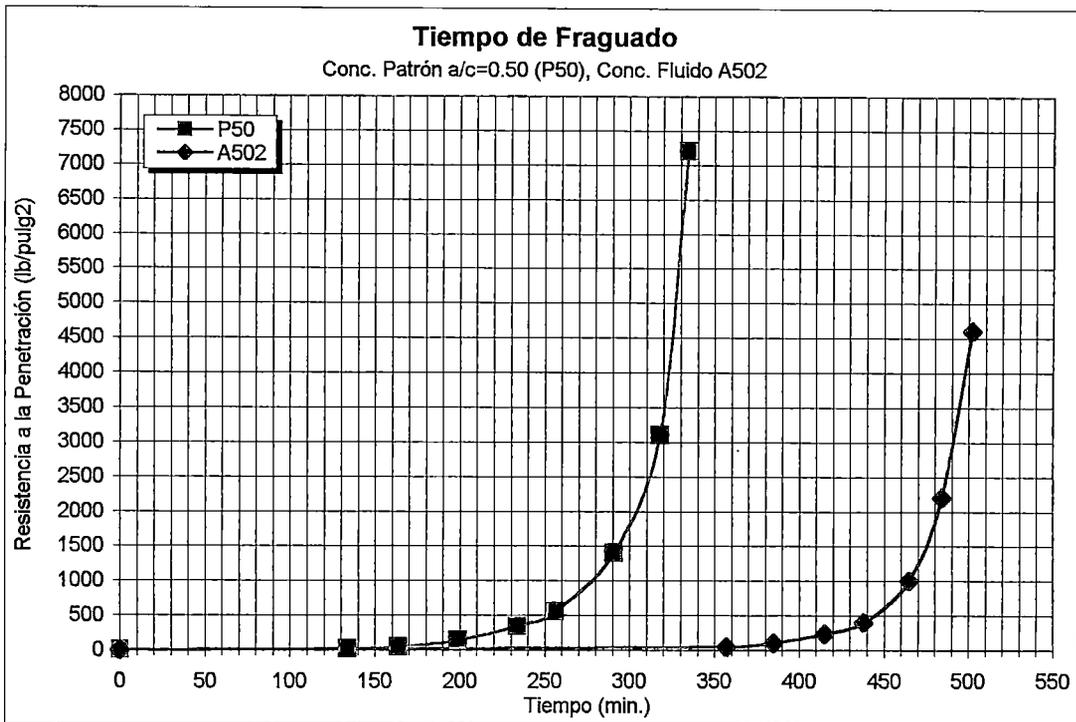
Mezcla: Concreto Fluido A454

Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras)	Aguja N°	Aguja Area (pulg2)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg2)
9:20	0:00	0	0			0.0
16:40	16:40	1000	80	1	1.000	80.0
17:00	17:00	1020	110	1	1.000	110.0
17:38	17:38	1058	140	2	0.500	280.0
18:00	18:00	1080	110	3	0.250	440.0
18:28	18:28	1108	90	4	0.100	900.0
18:45	18:45	1125	90	5	0.050	1800.0
19:05	19:05	1145	115	6	0.025	4600.0

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO

Mezcla: Concreto Fluido A403

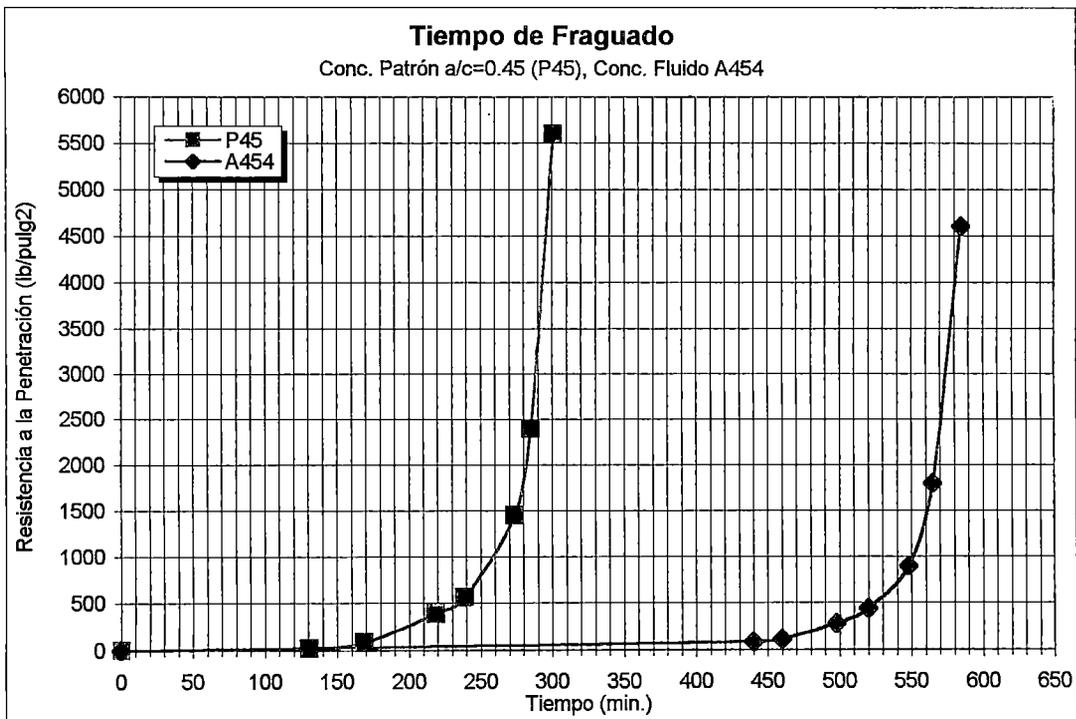
Tiempo Real (hor:min)	Tiempo Absoluto (hor:min)	Tiempo Absoluto (min)	Fuerza (libras)	Aguja N°	Aguja Area (pulg2)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg2)
8:40	0:00	0	0			0.0
13:00	13:00	780	40	1	1.000	40.0
13:40	13:40	820	70	1	1.000	70.0
14:20	14:20	860	110	1	1.000	110.0
15:17	15:17	917	130	2	0.500	260.0
15:36	15:36	936	95	3	0.250	380.0
16:51	16:51	1011	110	4	0.100	1100.0
17:20	17:20	1040	120	5	0.050	2400.0
17:50	17:50	1070	115	6	0.025	4600.0



TIEMPOS DE FRAGUA - Concreto Fluido A502:

Fragua Inicial (500lb/pulg2): 444 min. <> 7h 24min.

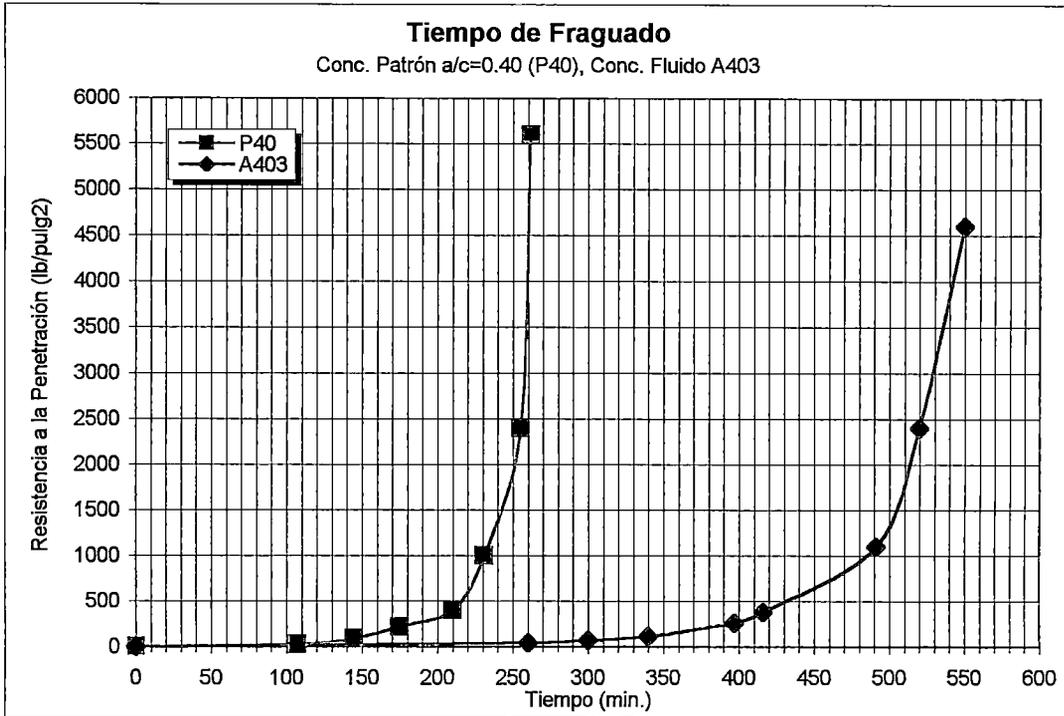
Fragua Final (4000 lb/pulg2): 498 min. <> 8h 18min.



TIEMPOS DE FRAGUA - Concreto Fluido A454:

Fragua Inicial (500lb/pulg2): 525 min. <> 8h 45min.

Fragua Final (4000 lb/pulg2): 580 min. <> 9h 40min.



TIEMPOS DE FRAGUA - Concreto Fluido A403:

Fragua Inicial (500lb/pulg2): 430 min. <- 7h 10min.

Fragua Final (4000 lb/pulg2): 542 min. <- 9h 02min.

ANEXO 5

ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.50 (P50)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	56000	14.81	172.27	325.1	318.4
	54200	14.81	172.27	314.6	
	54300	14.80	172.03	315.6	
14	63600	15.16	180.51	352.3	345.8
	62600	15.15	180.27	347.3	
	60500	15.10	179.08	337.8	
28	67800	15.01	176.95	383.2	389.9
	68300	15.01	176.95	386.0	
	69300	15.01	176.95	391.6	
	69800	15.17	180.74	386.2	
	71300	15.05	177.90	400.8	
	69200	15.00	176.72	391.6	

Edad	7d	28d
Desv. Estándar	5.8	6.3
Coef. de Variación (%)	1.8%	1.6%

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (P45)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	62800	14.94	175.30	358.2	362.0
	62100	14.87	173.67	357.6	
	65400	15.00	176.72	370.1	
14	68700	14.97	176.01	390.3	398.6
	69200	14.86	173.43	399.0	
	70000	14.81	172.27	406.3	
28	72500	14.82	172.50	420.3	427.2
	70300	14.73	170.41	412.5	
	74200	14.85	173.20	428.4	
	79500	15.19	181.22	438.7	
	74000	14.81	172.27	429.6	
	74600	14.80	172.03	433.6	

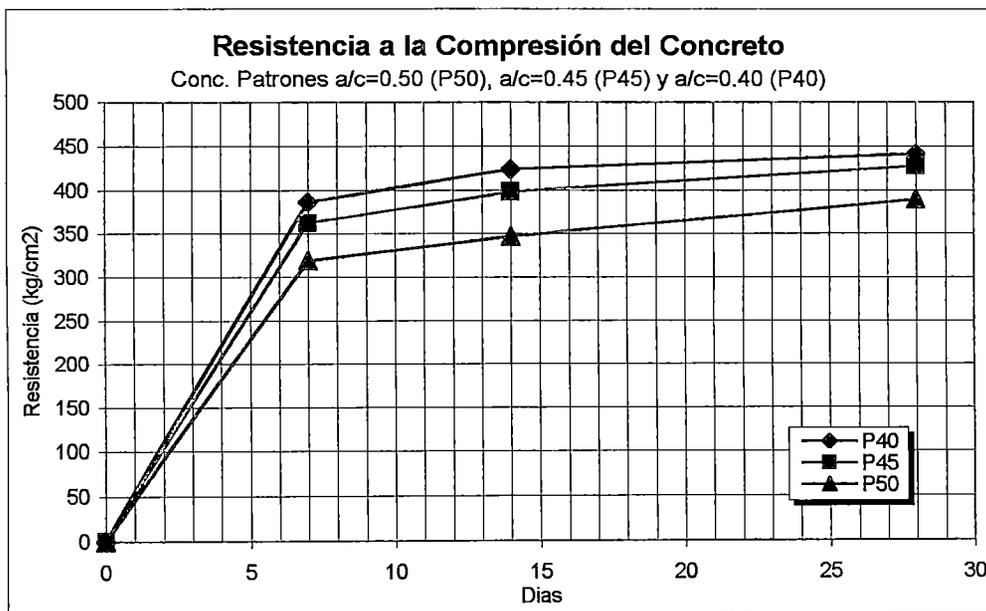
Edad	7d	28d
Desv. Estándar	7.0	9.4
Coef. de Variación (%)	1.9%	2.2%

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.40 (P40)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	68600	14.81	172.27	398.2	386.8
	68200	14.95	175.54	388.5	
	67000	15.11	179.32	373.6	
14	74200	15.00	176.72	419.9	423.8
	75000	14.74	170.64	439.5	
	74000	15.12	179.55	412.1	
28	75800	15.17	180.74	419.4	441.1
	75700	14.86	173.43	436.5	
	75100	14.70	169.72	442.5	
	76200	14.77	171.34	444.7	
	79600	15.00	176.72	450.4	
	78500	14.85	173.20	453.2	

Edad	7d	28d
Desv. Estándar	12.4	12.2
Coef. de Variación (%)	3.2%	2.8%



**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A502V (Mezcla Varillada)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	71100	14.96	175.77	404.5	416.4
	74600	14.95	175.54	425.0	
	73600	14.94	175.30	419.8	
14	81600	14.68	169.26	482.1	475.9
	85400	14.91	174.60	489.1	
	79600	14.90	174.37	456.5	
28	110000	15.00	176.72	622.5	613.6
	109250	14.75	170.87	639.4	
	107750	15.06	178.01	605.3	
	102750	14.80	172.03	597.3	
	104250	14.83	172.73	603.5	

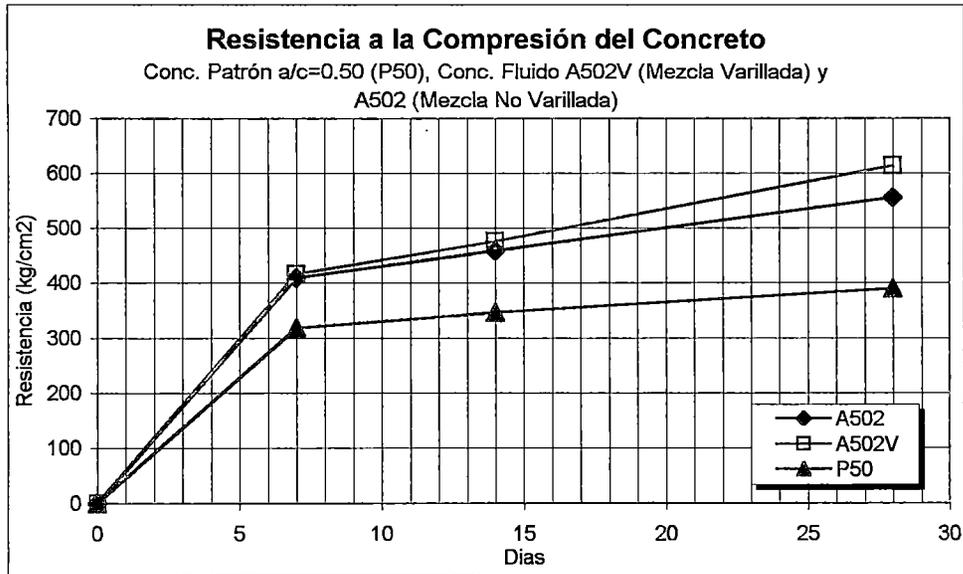
Edad	7d	28d
Desv. Estándar	10.7	17.2
Coef. de Variación (%)	2.6%	2.8%

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A502 (Mezcla No Varillada)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	70800	14.98	176.24	401.7	410.2
	72000	14.94	175.30	410.7	
	73600	14.97	176.01	418.2	
14	82300	14.96	175.77	468.2	458.9
	81500	14.96	175.77	463.7	
	78800	15.02	177.19	444.7	
28	105750	15.19	181.22	583.5	555.6
	96750	14.95	175.42	551.5	
	92000	14.80	172.03	534.8	
	96850	14.90	174.37	555.4	
	98300	15.05	177.90	552.6	

Edad	7d	28d
Desv. Estándar	8.2	17.6
Coef. de Variación (%)	2.0%	3.2%



**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A454V (*Mezcla Varillada*)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	88200	14.71	169.95	519.0	508.4
	89100	14.89	174.13	511.7	
	86800	14.95	175.54	494.5	
14	Dato generado				583.5
17	107000	15.24	182.42	586.6	608.0
	108000	14.92	174.72	618.1	
	111000	15.11	179.20	619.4	
28	120000	15.05	177.90	674.6	657.9
	117250	14.95	175.54	667.9	
	110250	14.79	171.80	641.7	
	114000	14.98	176.24	646.8	
	118250	15.12	179.55	658.6	

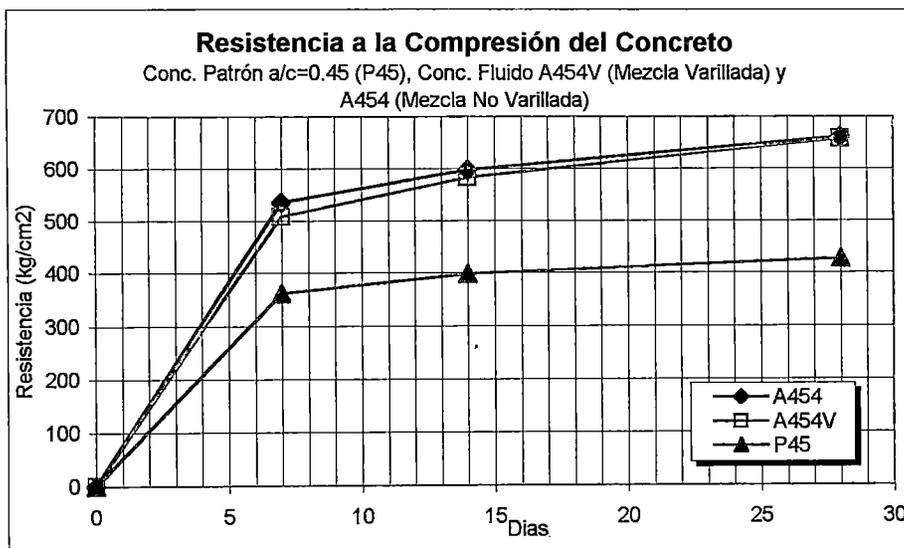
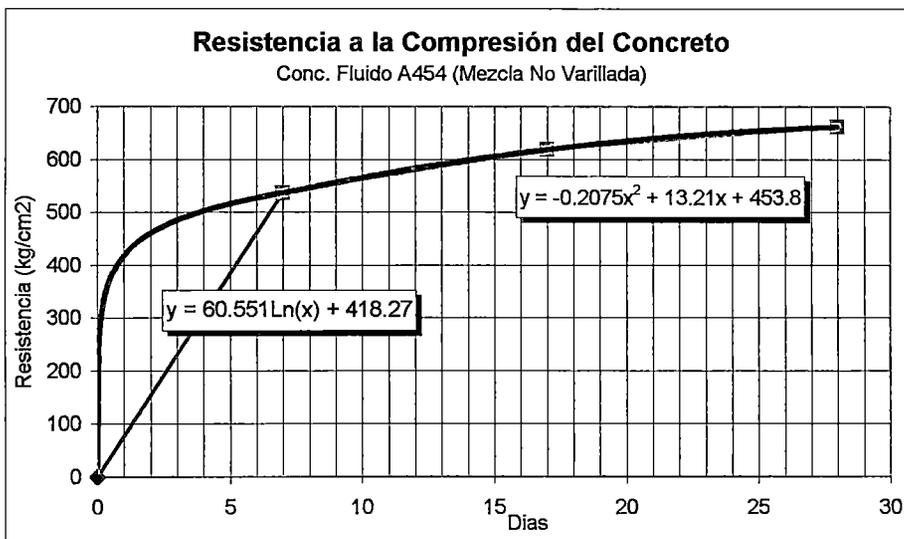
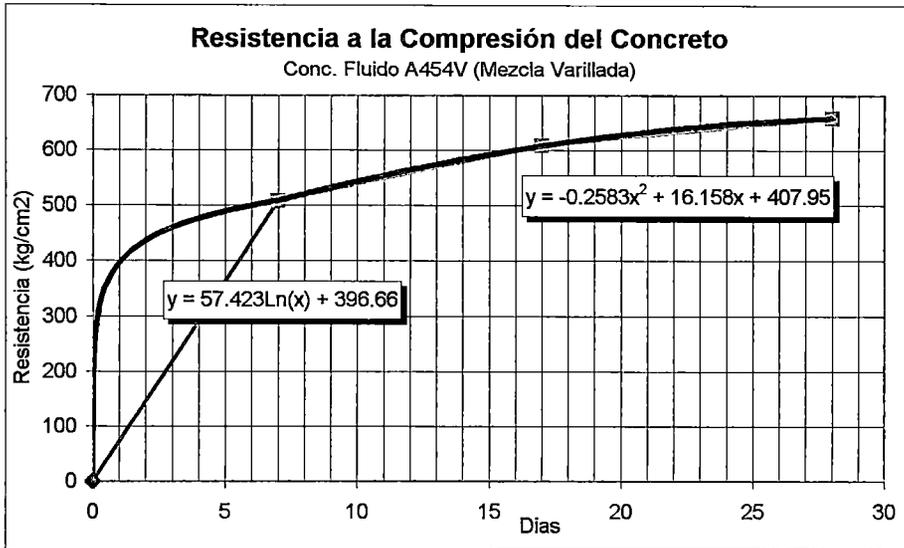
<i>Edad</i>	7d	28d
Desv. Estándar	12.6	13.8
Coef. de Variación (%)	2.5%	2.1%

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A454 (*Mezcla No Varillada*)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	93600	14.90	174.37	536.8	536.1
	91400	14.85	173.20	527.7	
	94200	14.85	173.20	543.9	
14	Dato generado				598.1
17	106000	15.00	176.60	600.2	618.4
	110750	15.07	178.37	620.9	
	112500	15.03	177.42	634.1	
28	117250	14.70	169.72	690.9	661.0
	116500	15.01	176.95	658.4	
	110500	14.78	171.57	644.1	
	109500	14.80	172.03	636.5	
	116750	14.84	172.97	675.0	

<i>Edad</i>	7d	28d
Desv. Estándar	8.1	22.3
Coef. de Variación (%)	1.5%	3.4%



**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A403V (Mezcla Varillada)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	94800	14.90	174.37	543.7	542.6
	95400	14.94	175.30	544.2	
	92500	14.77	171.34	539.9	
14	Dato generado				620.7
16	110000	14.85	173.20	635.1	639.7
	114500	15.01	176.83	647.5	
	112250	14.99	176.36	636.5	
28	124500	14.78	171.57	725.7	723.0
	127000	15.03	177.30	716.3	
	125250	14.81	172.27	727.1	

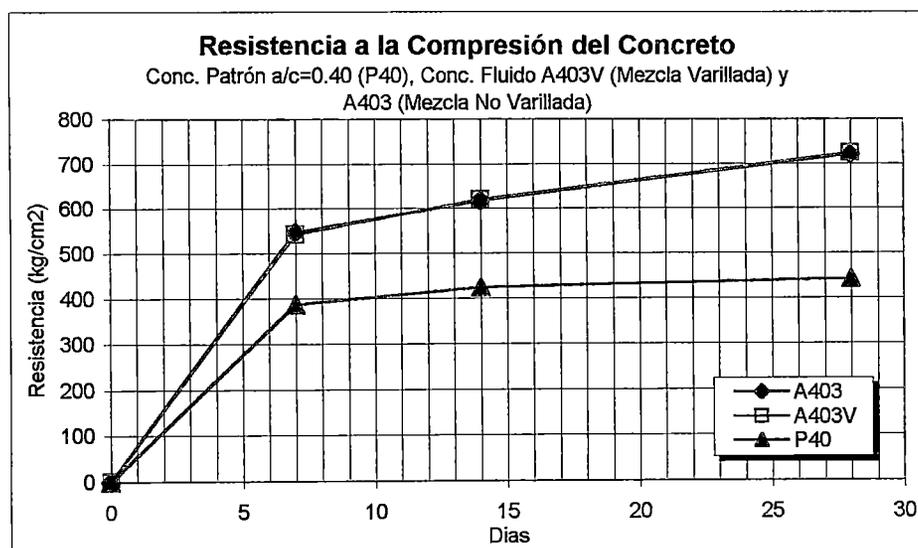
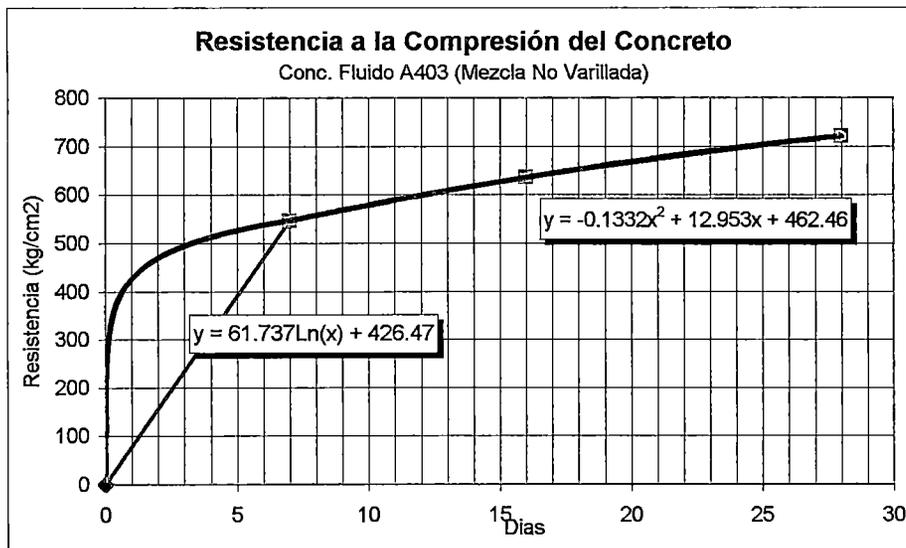
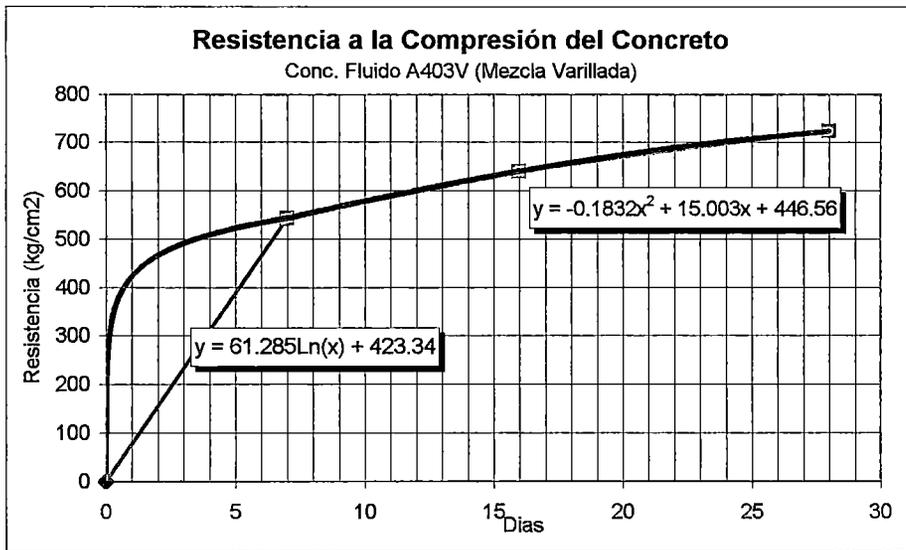
Edad	7d	28d
Desv. Estándar	2.4	5.9
Coef. de Variación (%)	0.4%	0.8%

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A403 (Mezcla No Varillada)

Edad (días)	Carga (kg)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resist. Prom (kg/cm ²)
7	97600	14.90	174.37	559.7	546.6
	95500	15.06	178.13	536.1	
	94600	14.88	173.90	544.0	
14	Dato generado				617.7
16	109000	15.11	179.32	607.9	635.6
	113500	14.70	169.72	668.8	
	107250	14.72	170.18	630.2	
28	125750	14.72	170.06	739.4	720.7
	127000	14.91	174.48	727.9	
	127000	15.06	178.01	713.4	
	120000	14.75	170.87	702.3	

Edad	7d	28d
Desv. Estándar	12.0	16.3
Coef. de Variación (%)	2.2%	2.3%



OTROS

Mezcla	Edad (días)	Carga (kg.)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resit. Prom. (kg/cm ²)	Desv. Estandar	Coef. de Variac. (%)
A458	7	98300	14.82	172.50	569.9	550.1	18.6	3.4%
	7	96000	14.94	175.30	547.6			
	7	92300	14.85	173.20	532.9			
A454-1	7	92600	14.98	176.24	525.4	544.4	17.3	3.2%
	7	97000	14.86	173.43	559.3			
	7	94600	14.82	172.50	548.4			
A502-1 / CAC44	7	73900	14.97	176.01	419.9	433.6	14.7	3.4%
	7	75800	14.95	175.54	431.8			
	7	78300	14.90	174.37	449.1			
CAC50	7	69888	14.99	176.48	396.0	386.5	8.2	2.1%
	7	67392	14.98	176.24	382.4			
	7	67008	14.96	175.77	381.2			
CAC40	7	77952	14.95	175.54	444.1	456.8	12.1	2.7%
	7	81792	15.08	178.60	457.9			
	7	82752	15.00	176.72	468.3			
A401	7	95700	14.95	175.54	545.2	531.2	12.4	2.3%
	7	91900	14.90	174.37	527.1			
	7	90800	14.89	174.13	521.4			
A405	7	97800	15.01	176.95	552.7	552.1	4.7	0.8%
	7	99400	15.08	178.60	556.5			
	7	96700	15.00	176.72	547.2			

5.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL CONCRETO ENDURECIDO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESION DIAMETRAL DEL CONCRETO ENDURECIDO

Probeta: 6"x12"

Edad: 28 días

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D}$$

Mezcla	Diametro (D)	Longitud (L)	Carga (P)	Resistencia (T)	Resistencia (T) Promedio (kg/cm2)
	(cm)	(cm)	(kg)	(kg/cm2)	
Concreto Patrón a/c=0.50 (P50)	14.95	30.20	26600	37.51	36.62
	14.88	30.00	24500	34.94	
	14.86	30.00	26200	37.41	
Conc. Fluido A502V Mezcla Varillada	14.87	30.00	28000	39.96	43.85
	14.88	30.00	32000	45.64	
	14.77	30.20	32200	45.96	
Conc. Fluido A502 Mezcla No Varillada	14.93	30.00	27700	39.37	40.90
	15.29	30.50	31200	42.59	
	14.85	30.00	28500	40.73	
Concreto Patrón a/c=0.45 (P45)	15.29	30.40	30600	41.91	42.52
	14.99	30.30	31500	44.15	
	14.93	30.00	29200	41.50	
Conc. Fluido A454V Mezcla Varillada	15.11	30.20	32000	44.64	47.02
	14.78	30.10	34600	49.51	
	14.70	30.10	32600	46.90	
Conc. Fluido A454 Mezcla No Varillada	14.91	30.10	34200	48.51	48.30
	14.96	30.00	34400	48.80	
	14.80	30.00	33200	47.60	
Concreto Patrón a/c=0.40 (P40)	15.27	30.50	33400	45.65	45.59
	15.00	30.00	32800	46.40	
	14.90	30.00	31400	44.72	
Conc. Fluido A403V Mezcla Varillada	14.86	30.00	36000	51.41	50.10
	14.94	30.00	35000	49.71	
	14.84	30.10	34500	49.17	
Conc. Fluido A403 Mezcla No Varillada	15.11	30.00	38000	53.37	54.45
	14.92	30.10	41500	58.83	
	14.89	30.00	35900	51.16	

5.3 ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO

ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.50 (P50)

Probeta: 6"x12"

Edad: 28 días

Diámetro (cm):	14.88
Area (cm ²):	173.9
Edad (días):	28

E1:	46.83
E2:	155.96
d1:	0.00005
d2:	0.000902957

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	127948.7
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.50	0.10	0.05	0.075	0.0000075
4000	23.00	0.20	0.10	0.150	0.0000150
6000	34.50	0.25	0.20	0.225	0.0000225
8000	46.00	0.40	0.50	0.450	0.0000450
10000	57.50	1.10	1.20	1.150	0.0001150
12000	69.01	1.95	2.20	2.075	0.0002075
14000	80.51	2.80	3.10	2.950	0.0002950
16000	92.01	3.75	4.10	3.925	0.0003925
18000	103.51	4.60	5.10	4.850	0.0004850
20000	115.01	5.50	5.95	5.725	0.0005725
22000	126.51	6.45	6.85	6.650	0.0006650
24000	138.01	7.50	7.70	7.600	0.0007600
26000	149.51	8.50	8.55	8.525	0.0008525
28000	161.01	9.45	9.40	9.425	0.0009425
30000	172.51	10.40	10.35	10.375	0.0010375
32000	184.01	11.40	11.25	11.325	0.0011325
34000	195.52	12.45	11.95	12.200	0.0012200
36000	207.02	13.50	12.50	13.000	0.0013000
38000	218.52	14.55	13.05	13.800	0.0013800
40000	230.02	15.70	13.60	14.650	0.0014650
42000	241.52	16.75	14.10	15.425	0.0015425
44000	253.02	17.80	14.60	16.200	0.0016200
46000	264.52	18.90	15.10	17.000	0.0017000
48000	276.02	20.00	15.60	17.800	0.0017800
50000	287.52	21.30	16.15	18.725	0.0018725
52000	299.02	22.40	16.65	19.525	0.0019525
54000	310.53	23.80	17.75	20.775	0.0020775
56000	322.03	24.90	18.20	21.550	0.0021550
58000	333.53	25.90	18.70	22.300	0.0022300
60000	345.03	27.10	19.35	23.225	0.0023225
62000	356.53	28.20	20.00	24.100	0.0024100

**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.45 (P45)

Probetas 6"x12"

Edad: 28 días

Diámetro (cm):	14.75
Area (cm ²):	170.9
Edad (días):	28

E1:	14.36
E2:	170.88
d1:	0.00005
d2:	0.001070952

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	153303.3
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.70	0.15	0.60	0.375	0.0000375
4000	23.41	0.65	1.20	0.925	0.0000925
6000	35.11	1.35	1.85	1.600	0.0001600
8000	46.82	2.15	2.45	2.300	0.0002300
10000	58.52	2.75	3.10	2.925	0.0002925
12000	70.23	3.65	3.80	3.725	0.0003725
14000	81.93	4.35	4.50	4.425	0.0004425
16000	93.64	5.15	5.25	5.200	0.0005200
18000	105.34	5.95	6.00	5.975	0.0005975
20000	117.05	6.85	6.80	6.825	0.0006825
22000	128.75	7.75	7.60	7.675	0.0007675
24000	140.45	7.95	8.50	8.225	0.0008225
26000	152.16	9.45	9.25	9.350	0.0009350
28000	163.86	10.35	10.05	10.200	0.0010200
30000	175.57	11.25	10.85	11.050	0.0011050
32000	187.27	12.05	11.65	11.850	0.0011850
34000	198.98	12.95	12.45	12.700	0.0012700
36000	210.68	13.95	13.30	13.625	0.0013625
38000	222.39	14.95	14.10	14.525	0.0014525
40000	234.09	15.85	14.95	15.400	0.0015400
42000	245.80	16.85	15.75	16.300	0.0016300
44000	257.50	17.85	16.60	17.225	0.0017225
46000	269.20	18.95	17.45	18.200	0.0018200
48000	280.91	19.95	18.40	19.175	0.0019175
50000	292.61	21.25	19.30	20.275	0.0020275
52000	304.32	22.15	20.10	21.125	0.0021125
54000	316.02	23.35	20.90	22.125	0.0022125
56000	327.73	24.55	21.65	23.100	0.0023100
58000	339.43	25.95	22.55	24.250	0.0024250
60000	351.14	27.35	23.60	25.475	0.0025475
62000	362.84	28.75	24.70	26.725	0.0026725
64000	374.55	30.35	25.90	28.125	0.0028125

**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Patrón a/c=0.40 (P40)

Probetas 6"x12"

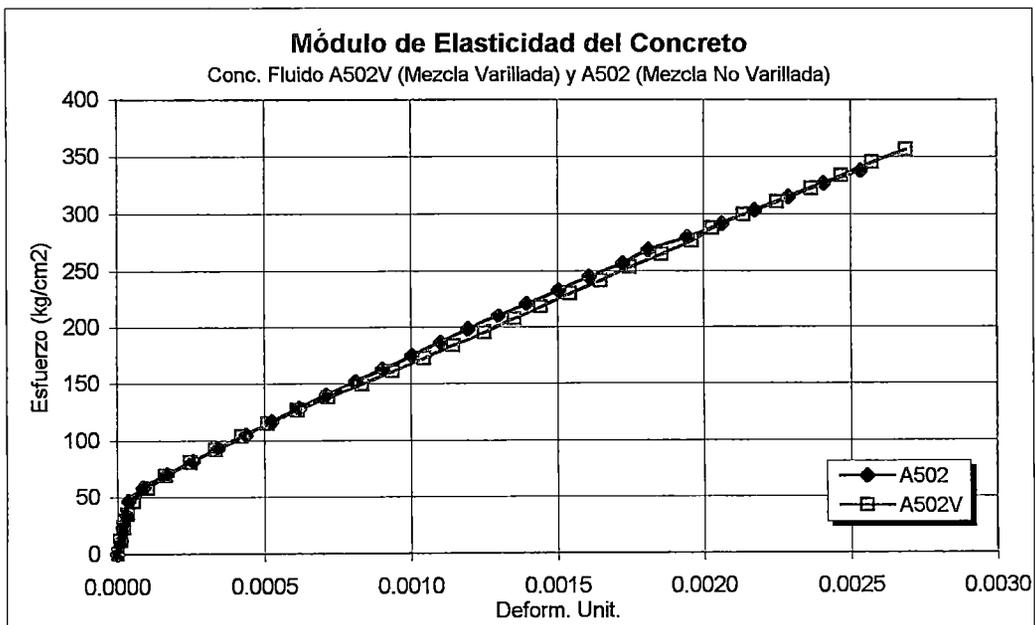
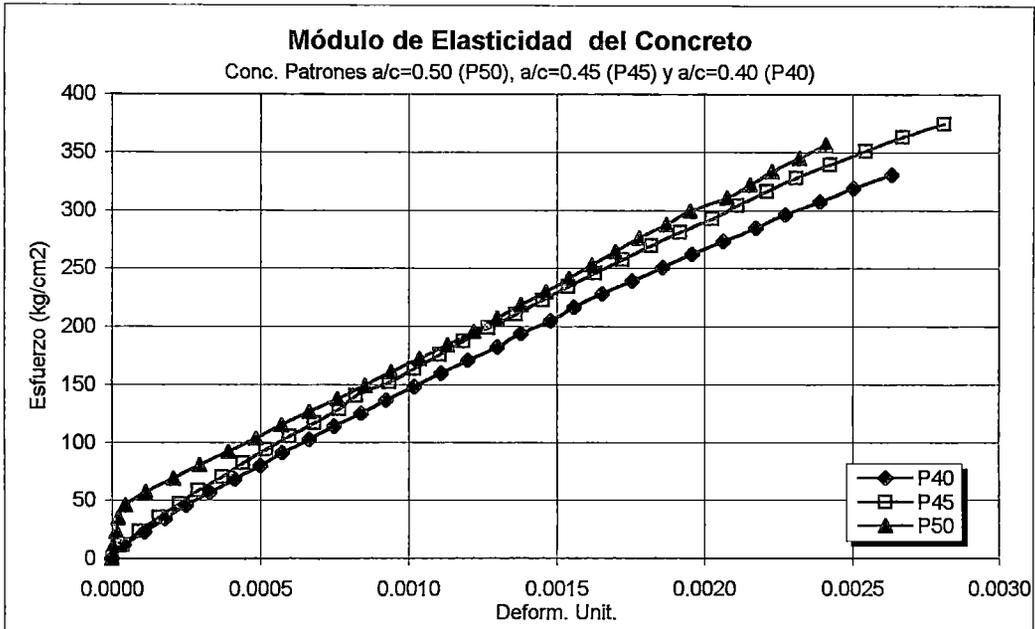
Edad: 28 días

Diámetro (cm):	14.95
Area (cm ²):	175.5
Edad (días):	28

E1:	13.02
E2:	176.44
d1:	0.00005
d2:	0.001248604

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	136341.0
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.39	0.70	0.10	0.400	0.0000400
4000	22.79	1.70	0.50	1.100	0.0001100
6000	34.18	2.60	1.00	1.800	0.0001800
8000	45.57	3.50	1.50	2.500	0.0002500
10000	56.97	4.40	2.20	3.300	0.0003300
12000	68.36	5.30	3.00	4.150	0.0004150
14000	79.75	6.10	3.90	5.000	0.0005000
16000	91.15	6.90	4.60	5.750	0.0005750
18000	102.54	7.70	5.60	6.650	0.0006650
20000	113.93	8.40	6.60	7.500	0.0007500
22000	125.33	9.20	7.60	8.400	0.0008400
24000	136.72	10.00	8.50	9.250	0.0009250
26000	148.12	10.80	9.60	10.200	0.0010200
28000	159.51	11.50	10.70	11.100	0.0011100
30000	170.90	12.30	11.70	12.000	0.0012000
32000	182.30	13.10	12.90	13.000	0.0013000
34000	193.69	13.80	13.80	13.800	0.0013800
36000	205.08	14.60	15.00	14.800	0.0014800
38000	216.48	15.30	15.90	15.600	0.0015600
40000	227.87	16.10	17.00	16.550	0.0016550
42000	239.26	16.90	18.20	17.550	0.0017550
44000	250.66	17.70	19.50	18.600	0.0018600
46000	262.05	18.40	20.80	19.600	0.0019600
48000	273.44	19.20	22.10	20.650	0.0020650
50000	284.84	20.00	23.50	21.750	0.0021750
52000	296.23	20.70	24.80	22.750	0.0022750
54000	307.62	21.50	26.30	23.900	0.0023900
56000	319.02	22.30	27.80	25.050	0.0025050
58000	330.41	23.20	29.50	26.350	0.0026350



**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A502V

Probetas 6"x12"

Edad: 28 dias

MEZCLA VARILLADA

Diámetro (cm):	14.88
Area (cm ²):	173.9
Edad (dias):	28

E1:	42.17
E2:	239.8
d1:	0.00005
d2:	0.0016343

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	124742.7
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.50	0.10	0.10	0.100	0.0000100
4000	23.00	0.25	0.20	0.225	0.0000225
6000	34.50	0.40	0.30	0.350	0.0000350
8000	46.00	0.70	0.45	0.575	0.0000575
10000	57.50	1.20	0.90	1.050	0.0001050
12000	69.01	1.70	1.60	1.650	0.0001650
14000	80.51	2.40	2.60	2.500	0.0002500
16000	92.01	3.10	3.60	3.350	0.0003350
18000	103.51	3.80	4.70	4.250	0.0004250
20000	115.01	4.60	5.70	5.150	0.0005150
22000	126.51	5.60	6.70	6.150	0.0006150
24000	138.01	6.60	7.80	7.200	0.0007200
26000	149.51	7.80	8.90	8.350	0.0008350
28000	161.01	8.80	10.00	9.400	0.0009400
30000	172.51	10.00	10.90	10.450	0.0010450
32000	184.01	11.00	11.90	11.450	0.0011450
34000	195.52	12.05	13.00	12.525	0.0012525
36000	207.02	13.10	14.00	13.550	0.0013550
38000	218.52	13.90	15.00	14.450	0.0014450
40000	230.02	14.90	16.00	15.450	0.0015450
42000	241.52	15.90	17.10	16.500	0.0016500
44000	253.02	16.90	18.10	17.500	0.0017500
46000	264.52	17.95	19.20	18.575	0.0018575
48000	276.02	19.00	20.20	19.600	0.0019600
50000	287.52	19.30	21.30	20.300	0.0020300
52000	299.02	20.35	22.40	21.375	0.0021375
54000	310.53	21.50	23.50	22.500	0.0022500
56000	322.03	22.65	24.70	23.675	0.0023675
58000	333.53	23.50	25.90	24.700	0.0024700
60000	345.03	24.40	27.10	25.750	0.0025750
62000	356.53	25.50	28.30	26.900	0.0026900

**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A502

Probetas 6"x12"

Edad: 28 días

MEZCLA NO VARILLADA

Diámetro (cm):	14.78
Area (cm ²):	171.6
Edad (días):	28

E1:	48.96
E2:	219.2
d1:	0.00005
d2:	0.00137839

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	128155.3
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.66	0.10	0.10	0.100	0.0000100
4000	23.31	0.20	0.20	0.200	0.0000200
6000	34.97	0.30	0.30	0.300	0.0000300
8000	46.63	0.40	0.40	0.400	0.0000400
10000	58.29	0.90	0.90	0.900	0.0000900
12000	69.94	1.80	1.60	1.700	0.0001700
14000	81.60	2.70	2.50	2.600	0.0002600
16000	93.26	3.60	3.30	3.450	0.0003450
18000	104.91	4.60	4.20	4.400	0.0004400
20000	116.57	5.50	5.05	5.275	0.0005275
22000	128.23	6.50	5.90	6.200	0.0006200
24000	139.89	7.50	6.75	7.125	0.0007125
26000	151.54	8.60	7.65	8.125	0.0008125
28000	163.20	9.60	8.50	9.050	0.0009050
30000	174.86	10.70	9.40	10.050	0.0010050
32000	186.51	11.80	10.25	11.025	0.0011025
34000	198.17	12.80	11.10	11.950	0.0011950
36000	209.83	14.00	12.00	13.000	0.0013000
38000	221.48	15.10	12.85	13.975	0.0013975
40000	233.14	16.30	13.80	15.050	0.0015050
42000	244.80	17.50	14.70	16.100	0.0016100
44000	256.46	18.80	15.70	17.250	0.0017250
46000	268.11	20.00	16.25	18.125	0.0018125
48000	279.77	21.30	17.60	19.450	0.0019450
50000	291.43	22.70	18.55	20.625	0.0020625
52000	303.08	24.00	19.50	21.750	0.0021750
54000	314.74	25.40	20.40	22.900	0.0022900
56000	326.40	26.80	21.40	24.100	0.0024100
58000	338.06	28.20	22.50	25.350	0.0025350

**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A454V

Probetas 6"x12"

Edad: 28 dias

MEZCLA VARILLADA

Diámetro (cm):	14.95
Area (cm ²):	175.5
Edad (días):	28

E1:	28.48
E2:	260.48
d1:	0.00005
d2:	0.0013440

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	179289.7
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.39	0.20	0.05	0.125	0.0000125
4000	22.79	0.40	0.10	0.250	0.0000250
6000	34.18	1.20	0.30	0.750	0.0000750
8000	45.57	2.00	0.50	1.250	0.0001250
10000	56.97	2.80	0.70	1.750	0.0001750
12000	68.36	3.50	0.90	2.200	0.0002200
14000	79.75	4.40	1.10	2.750	0.0002750
16000	91.15	5.20	1.30	3.250	0.0003250
18000	102.54	6.00	1.50	3.750	0.0003750
20000	113.93	6.70	1.70	4.200	0.0004200
22000	125.33	7.40	2.00	4.700	0.0004700
24000	136.72	8.40	2.50	5.450	0.0005450
26000	148.12	9.20	3.20	6.200	0.0006200
28000	159.51	10.00	3.80	6.900	0.0006900
30000	170.90	10.80	4.40	7.600	0.0007600
32000	182.30	11.60	5.00	8.300	0.0008300
34000	193.69	12.40	5.60	9.000	0.0009000
36000	205.08	13.30	6.30	9.800	0.0009800
38000	216.48	14.10	6.90	10.500	0.0010500
40000	227.87	15.00	7.50	11.250	0.0011250
42000	239.26	15.80	8.20	12.000	0.0012000
44000	250.66	16.70	8.80	12.750	0.0012750
46000	262.05	17.60	9.50	13.550	0.0013550
48000	273.44	18.60	10.10	14.350	0.0014350
50000	284.84	19.50	10.70	15.100	0.0015100
52000	296.23	20.40	11.30	15.850	0.0015850
54000	307.62	21.40	11.90	16.650	0.0016650
56000	319.02	22.30	12.50	17.400	0.0017400
58000	330.41	23.40	13.20	18.300	0.0018300
60000	341.80	24.40	13.90	19.150	0.0019150
62000	353.20	25.30	14.60	19.950	0.0019950
64000	364.59	26.50	15.30	20.900	0.0020900
66000	375.99	27.60	16.00	21.800	0.0021800
68000	387.38	28.50	16.70	22.600	0.0022600
70000	398.77	29.40	17.30	23.350	0.0023350

**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A454

Probetas 6"x12"

Edad: 28 días

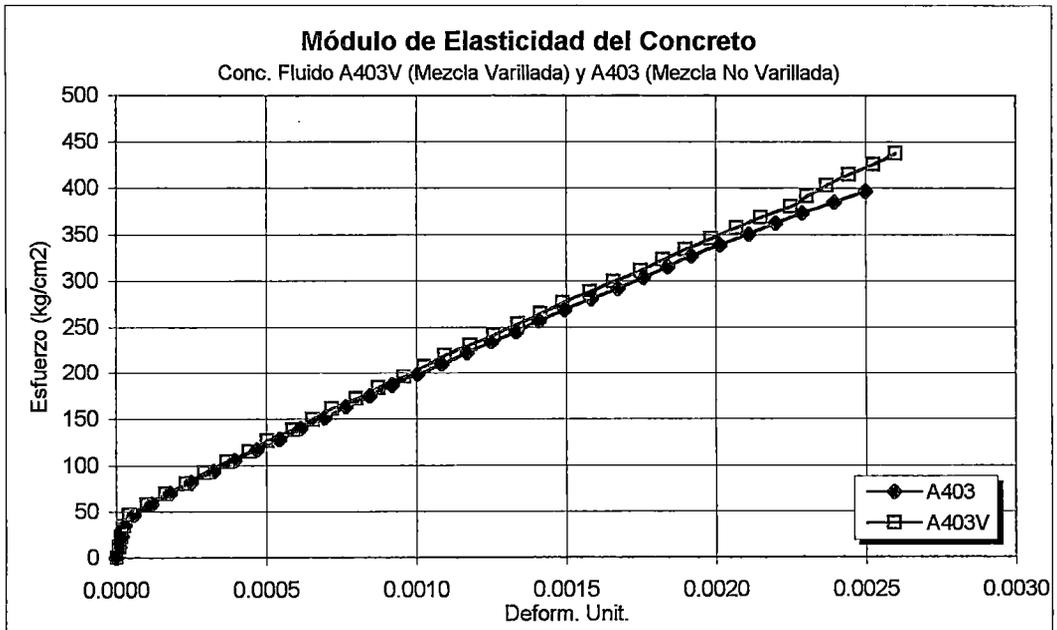
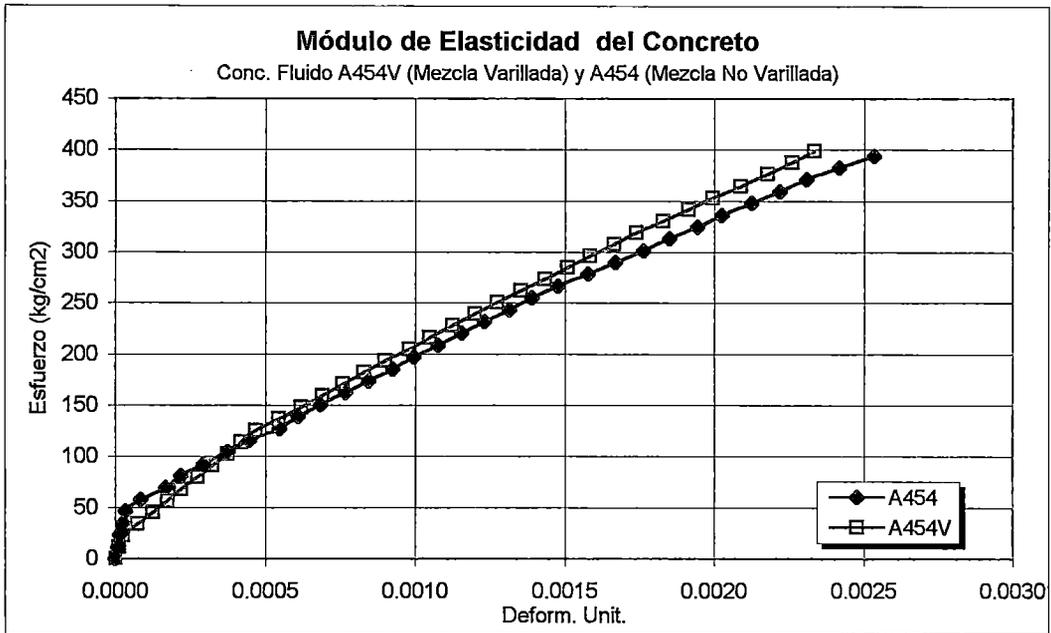
MEZCLA NO VARILLADA

Diámetro (cm):	14.82
Area (cm ²):	172.5
Edad (días):	28

E1:	49.86
E2:	262.00
d1:	0.00005
d2:	0.0014423

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	152372.9
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.59	0.10	0.05	0.075	0.0000075
4000	23.19	0.20	0.10	0.150	0.0000150
6000	34.78	0.30	0.20	0.250	0.0000250
8000	46.38	0.40	0.30	0.350	0.0000350
10000	57.97	0.90	0.80	0.850	0.0000850
12000	69.57	1.80	1.55	1.675	0.0001675
14000	81.16	2.40	2.00	2.200	0.0002200
16000	92.75	3.20	2.70	2.950	0.0002950
18000	104.35	4.10	3.40	3.750	0.0003750
20000	115.94	4.90	4.05	4.475	0.0004475
22000	127.54	6.20	4.75	5.475	0.0005475
24000	139.13	6.70	5.50	6.100	0.0006100
26000	150.73	7.50	6.20	6.850	0.0006850
28000	162.32	8.40	6.95	7.675	0.0007675
30000	173.91	9.20	7.70	8.450	0.0008450
32000	185.51	10.10	8.40	9.250	0.0009250
34000	197.10	10.80	9.10	9.950	0.0009950
36000	208.70	11.80	9.75	10.775	0.0010775
38000	220.29	12.70	10.40	11.550	0.0011550
40000	231.89	13.60	11.05	12.325	0.0012325
42000	243.48	14.60	11.70	13.150	0.0013150
44000	255.07	15.50	12.30	13.900	0.0013900
46000	266.67	16.50	13.05	14.775	0.0014775
48000	278.26	17.70	13.85	15.775	0.0015775
50000	289.86	18.70	14.70	16.700	0.0016700
52000	301.45	19.90	15.35	17.625	0.0017625
54000	313.04	20.90	16.10	18.500	0.0018500
56000	324.64	22.10	16.80	19.450	0.0019450
58000	336.23	23.10	17.40	20.250	0.0020250
60000	347.83	24.40	18.10	21.250	0.0021250
62000	359.42	25.50	18.90	22.200	0.0022200
64000	371.02	26.60	19.60	23.100	0.0023100
66000	382.61	28.00	20.35	24.175	0.0024175
68000	394.20	29.50	21.20	25.350	0.0025350



**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A403V

Probetas 6"x12"

Edad: 28 días

MEZCLA VARILLADA

Diámetro (cm):	14.87
Area (cm ²):	173.7
Edad (días):	28

E1:	47.03
E2:	272.4
d1:	0.00005
d2:	0.00146399

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	159389.1
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.52	0.10	0.10	0.100	0.0000100
4000	23.03	0.15	0.20	0.175	0.0000175
6000	34.55	0.20	0.30	0.250	0.0000250
8000	46.07	0.30	0.60	0.450	0.0000450
10000	57.58	0.90	1.20	1.050	0.0001050
12000	69.10	1.40	1.90	1.650	0.0001650
14000	80.61	2.00	2.70	2.350	0.0002350
16000	92.13	2.60	3.30	2.950	0.0002950
18000	103.65	3.20	4.20	3.700	0.0003700
20000	115.16	3.90	5.00	4.450	0.0004450
22000	126.68	4.40	5.70	5.050	0.0005050
24000	138.20	5.20	6.60	5.900	0.0005900
26000	149.71	5.80	7.30	6.550	0.0006550
28000	161.23	6.40	8.00	7.200	0.0007200
30000	172.75	7.20	8.80	8.000	0.0008000
32000	184.26	7.90	9.60	8.750	0.0008750
34000	195.78	8.70	10.50	9.600	0.0009600
36000	207.30	9.20	11.30	10.250	0.0010250
38000	218.81	9.80	12.10	10.950	0.0010950
40000	230.33	10.60	13.00	11.800	0.0011800
42000	241.84	11.30	13.90	12.600	0.0012600
44000	253.36	12.00	14.80	13.400	0.0013400
46000	264.88	12.70	15.60	14.150	0.0014150
48000	276.39	13.40	16.40	14.900	0.0014900
50000	287.91	14.30	17.30	15.800	0.0015800
52000	299.43	15.00	18.20	16.600	0.0016600
54000	310.94	15.90	19.10	17.500	0.0017500
56000	322.46	16.60	19.90	18.250	0.0018250
58000	333.98	17.30	20.70	19.000	0.0019000
60000	345.49	18.10	21.60	19.850	0.0019850
62000	357.01	18.90	22.50	20.700	0.0020700
64000	368.53	19.70	23.30	21.500	0.0021500
66000	380.04	20.60	24.40	22.500	0.0022500
68000	391.56	21.40	24.70	23.050	0.0023050
70000	403.07	22.20	25.20	23.700	0.0023700
72000	414.59	23.10	25.80	24.450	0.0024450
74000	426.11	24.00	26.50	25.250	0.0025250
76000	437.62	24.90	27.10	26.000	0.0026000

**ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD
DEL CONCRETO ENDURECIDO**

Mezcla: Concreto Fluido A403

Probetas 6"x12"

Edad: 28 días

MEZCLA NO VARILLADA

Diámetro (cm):	14.77
Area (cm ²):	171.3
Edad (días):	28

E1:	42.80
E2:	278.84
d1:	0.00005
d2:	0.001574906

Módulo de Elasticidad (kg/cm²) :	154789.5
--	-----------------

Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Lectura Izquierda	Lectura Derecha	Promedio	Deform. Unitaria
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000000
2000	11.67	0.10	0.10	0.100	0.0000100
4000	23.35	0.20	0.20	0.200	0.0000200
6000	35.02	0.30	0.30	0.300	0.0000300
8000	46.69	0.50	0.70	0.600	0.0000600
10000	58.36	1.00	1.40	1.200	0.0001200
12000	70.04	1.50	2.10	1.800	0.0001800
14000	81.71	2.00	3.00	2.500	0.0002500
16000	93.38	2.60	3.90	3.250	0.0003250
18000	105.06	3.20	4.70	3.950	0.0003950
20000	116.73	3.90	5.50	4.700	0.0004700
22000	128.40	4.50	6.40	5.450	0.0005450
24000	140.07	5.10	7.20	6.150	0.0006150
26000	151.75	5.80	8.10	6.950	0.0006950
28000	163.42	6.40	8.90	7.650	0.0007650
30000	175.09	7.10	9.80	8.450	0.0008450
32000	186.77	7.70	10.70	9.200	0.0009200
34000	198.44	8.50	11.60	10.050	0.0010050
36000	210.11	9.20	12.50	10.850	0.0010850
38000	221.78	9.90	13.50	11.700	0.0011700
40000	233.46	10.50	14.50	12.500	0.0012500
42000	245.13	11.20	15.50	13.350	0.0013350
44000	256.80	11.90	16.30	14.100	0.0014100
46000	268.48	12.60	17.30	14.950	0.0014950
48000	280.15	13.40	18.30	15.850	0.0015850
50000	291.82	14.10	19.40	16.750	0.0016750
52000	303.49	14.80	20.40	17.600	0.0017600
54000	315.17	15.50	21.30	18.400	0.0018400
56000	326.84	16.20	22.20	19.200	0.0019200
58000	338.51	17.00	23.30	20.150	0.0020150
60000	350.19	17.80	24.40	21.100	0.0021100
62000	361.86	18.40	25.60	22.000	0.0022000
64000	373.53	19.10	26.70	22.900	0.0022900
66000	385.21	20.10	27.80	23.950	0.0023950
68000	396.88	20.90	29.10	25.000	0.0025000

5.4 ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0.50 (P50)

Peso Seco (gr): 3751.5
Absorción del concreto(%): **4.97**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3751.5	0.0	0.0
0.5	3847.0	95.5	1215.9
1.0	3872.5	121.0	1540.6
1.5	3895.0	143.5	1827.1
2.0	3907.0	155.5	1979.9
3.0	3915.5	164.0	2088.1
4.0	3921.5	170.0	2164.5
24.0	3936.5	185.0	2355.5
48.0	3938.0	186.5	2374.6

MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0.45 (P45)

Peso Seco (gr): 3761.5
Absorción del concreto(%): **4.92**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3761.5	0.0	0.0
0.5	3862.5	101.0	1286.0
1.0	3886.5	125.0	1591.5
1.5	3907.5	146.0	1858.9
2.0	3917.0	155.5	1979.9
3.0	3921.5	160.0	2037.2
4.0	3927.0	165.5	2107.2
24.0	3944.5	183.0	2330.0
48.0	3946.5	185.0	2355.5

MEZCLA: Concreto Patrón a/c=0.40 (P40)

Peso Seco (gr): 3723.5
Absorción del concreto(%): **4.81**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3724.0	0.5	6.4
0.5	3809.5	86.0	1095.0
1.0	3834.5	111.0	1413.3
1.5	3850.0	126.5	1610.6
2.0	3861.0	137.5	1750.7
3.0	3873.5	150.0	1909.9
4.0	3879.5	156.0	1986.2
24.0	3899.5	176.0	2240.9
48.0	3902.5	179.0	2279.1

MEZCLA: Conc. Fluido A502V - Mezcla Varillada

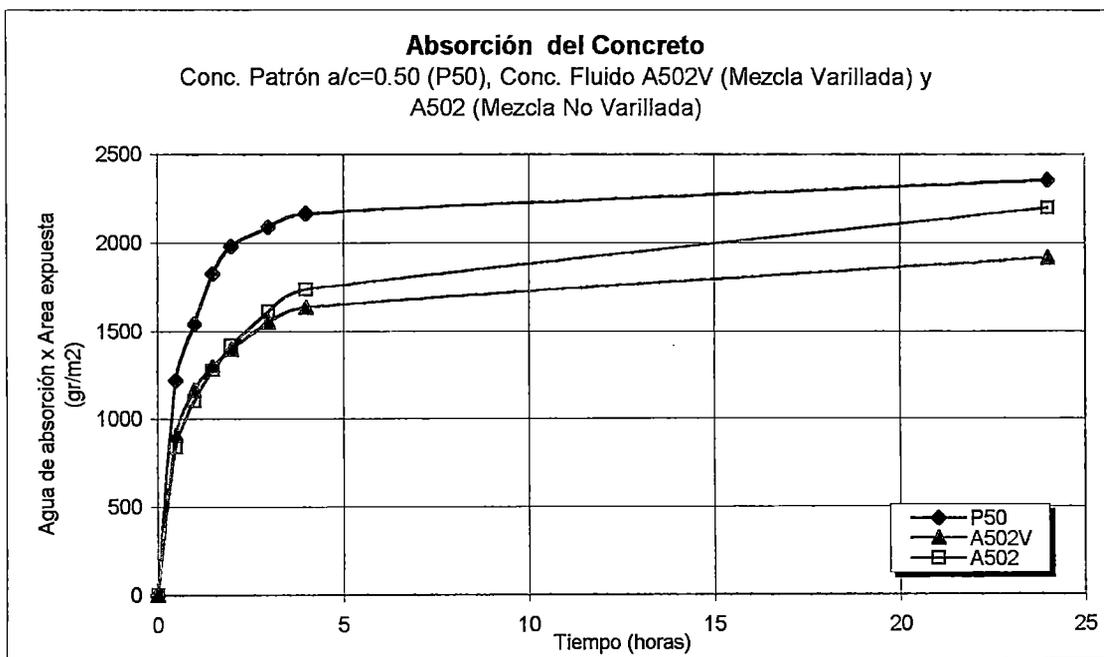
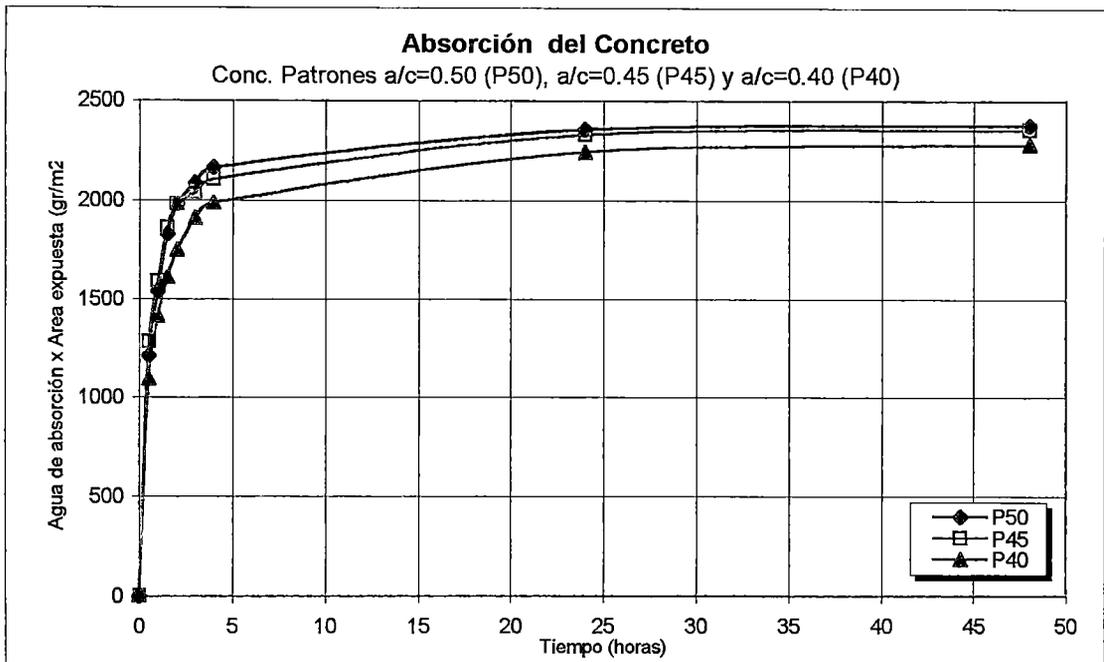
Peso Seco (gr): 3751.0
Absorción del concreto(%): **4.12**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3751	0.0	0.0
0.5	3822.5	71.5	910.4
1.0	3842.5	91.5	1165.0
1.5	3853.5	102.5	1305.1
2.0	3861.0	110.0	1400.6
3.0	3873.0	122.0	1553.3
4.0	3879.5	128.5	1636.1
24.0	3901.5	150.5	1916.2
48.0	3905.5	154.5	1967.2

MEZCLA: Conc. Fluido A502 - Mezcla No Varillada

Peso Seco (gr): 3803.5
Absorción del concreto(%): **4.61**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3803.5	0.0	0.0
0.5	3869.5	66.0	840.3
1.0	3890.0	86.5	1101.3
1.5	3904.0	100.5	1279.6
2.0	3915.0	111.5	1419.7
3.0	3930.0	126.5	1610.6
4.0	3940.0	136.5	1738.0
24.0	3976.0	172.5	2196.3
48.0	3979.0	175.5	2234.5



MEZCLA: Conc. Fluido A454V - Mezcla Varillada

Peso Seco (gr): 3846.5
Absorción del concreto(%): **4.42**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3846.5	0.0	0.0
0.5	3905.0	58.5	744.8
1.0	3921.0	74.5	948.6
1.5	3932.5	86.0	1095.0
2.0	3943.0	96.5	1228.7
3.0	3956.5	110.0	1400.6
4.0	3966.0	119.5	1521.5
24.0	4014.0	167.5	2132.7
48.0	4016.5	170.0	2164.5

MEZCLA: Conc. Fluido A454 - Mezcla No Varillada

Peso Seco (gr): 3906.0
Absorción del concreto(%): **4.51**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3906.0	0.0	0.0
0.5	3965.5	59.5	757.6
1.0	3985.0	79.0	1005.9
1.5	3998.5	92.5	1177.7
2.0	4008.0	102.0	1298.7
3.0	4025.5	119.5	1521.5
4.0	4037.0	131.0	1667.9
24.0	4092.0	173.0	2202.7
48.0	4082.0	176.0	2240.9

MEZCLA: Conc. Fluido A403V - Mezcla Varillada

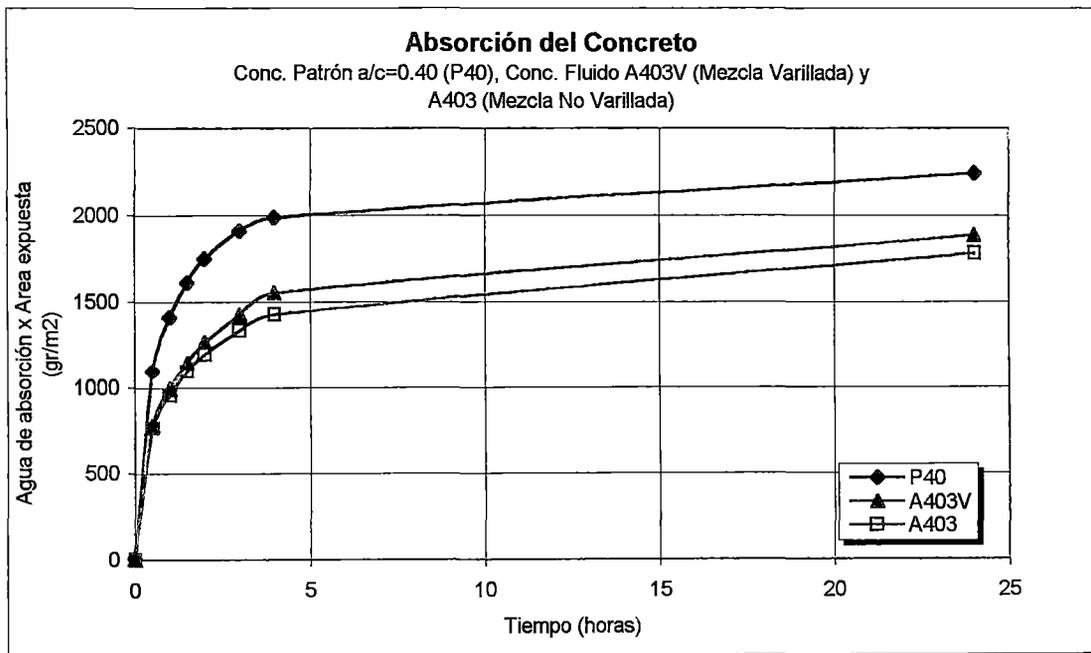
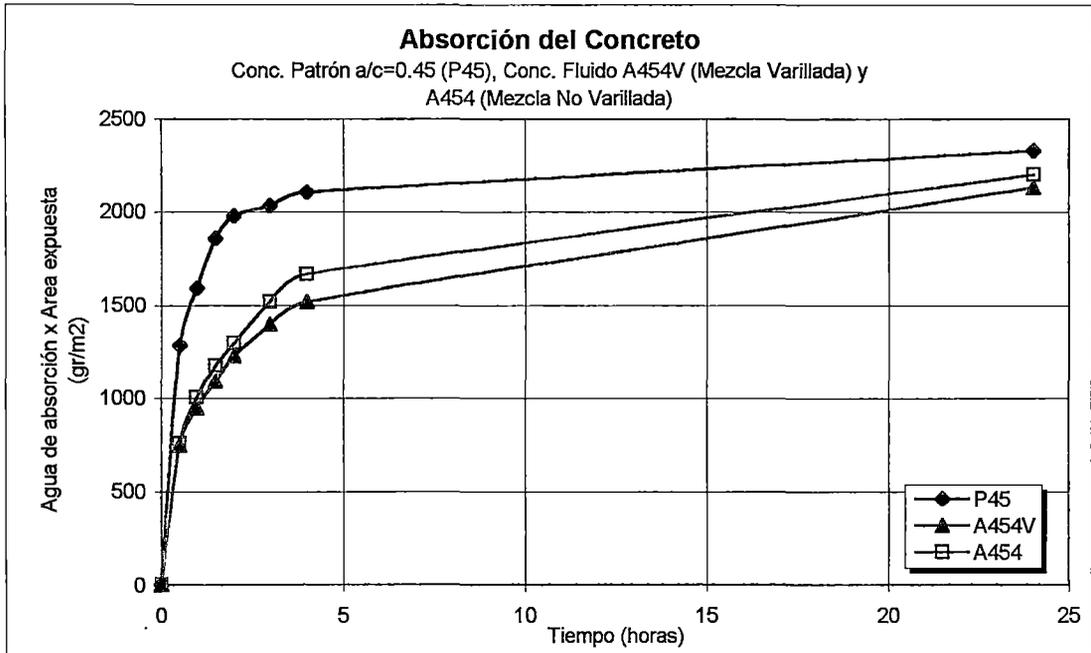
Peso Seco (gr): 3848.0
Absorción del concreto(%): **3.95**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3848.0	0.0	0.0
0.5	3909.0	61.0	776.7
1.0	3926.0	78.0	993.1
1.5	3938.0	90.0	1145.9
2.0	3947.5	99.5	1266.9
3.0	3960.0	112.0	1426.0
4.0	3970.0	122.0	1553.3
24.0	3996.0	148.0	1884.4
48.0	4000.0	152.0	1935.3

MEZCLA: Conc. Fluido A403 - Mezcla No Varillada

Peso Seco (gr): 3903.5
Absorción del concreto(%): **3.68**

Tiempo (horas)	Peso Solido+Agua (gr)	Peso Agua (gr)	Absorción de agua por area expuesta (gr/m2)
0.0	3903.5	0.0	0.0
0.5	3963.5	60.0	763.9
1.0	3978.5	75.0	954.9
1.5	3989.5	86.0	1095.0
2.0	3997.5	94.0	1196.8
3.0	4008.5	105.0	1336.9
4.0	4016.0	112.5	1432.4
24.0	4043.5	140.0	1782.5
48.0	4047.0	143.5	1827.1



ANEXO 6

**CUADROS DE DATOS PARA
EL ANÁLISIS DE COSTOS**

(1 Dólar = 3.5 Nuevos Soles)

6.1. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS PATRONES Y CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

Mezclas generadas por Ari - Referencia [14]

Nota: 1) Se consideró el contenido de humedad igual al % de absorción del respectivo agregado
2) El aditivo utilizado fue Sika Viscocrete 1

6.1.1 CONCRETOS PATRONES

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
ARI-P50 A/C: 0.5 Agua(l): 241	Cemento	482.00	482.00
	Agua	241.00	241.00
	Arena	793.20	803.91
	Piedra	732.20	737.84
	Aire		
	TOTAL	2248.40	2264.75

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
ARI-P45 A/C: 0.45 Agua(l): 246	Cemento	546.70	546.70
	Agua	246.00	246.00
	Arena	758.30	768.54
	Piedra	699.90	705.29
	Aire		
	TOTAL	2250.90	2266.53

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
ARI-P40 A/C: 0.4 Agua(l): 260	Cemento	650.00	650.00
	Agua	260.00	260.00
	Arena	694.30	703.67
	Piedra	640.90	645.83
	Aire		
	TOTAL	2245.20	2259.51

6.1.2 CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
ARI-A50/1.0% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.00% Agua diseño: Agua usada: 213.3 l	Cemento	496.422	496.422
	Agua	213.297	213.297
	Arena	816.934	827.962
	Piedra	755.139	760.953
	Aditivo	4.964	4.964
	Aire	0.000	
	TOTAL	2286.756	2303.599

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
ARI-A50/1.2% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.20% Agua diseño: Agua usada: 207.3 l	Cemento	499.728	499.728
	Agua	207.252	207.252
	Arena	822.374	833.476
	Piedra	760.167	766.020
	Aditivo	5.993	5.993
	Aire	0.000	
	TOTAL	2295.514	2312.469

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
ARI-A50/1.4% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.40% Agua diseño: Agua usada: 199.8 l	Cemento	503.932	503.932
	Agua	199.795	199.795
	Arena	829.292	840.487
	Piedra	766.562	772.464
	Aditivo	7.057	7.057
	Aire	0.000	
	TOTAL	2306.637	2323.735

DISEÑO DE MEZCLA ARI-A45/1.0%	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	566.993	566.993
Aditivo: 1.00%	Agua	212.921	212.921
Agua diseño:	Arena	786.447	797.064
	Piedra	725.880	731.469
	Aditivo	5.673	5.673
Agua usada: 212.9 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2297.913	2314.120

DISEÑO DE MEZCLA ARI-A45/1.2%	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	569.447	569.447
Aditivo: 1.20%	Agua	208.530	208.530
Agua diseño:	Arena	789.851	800.514
	Piedra	729.021	734.634
	Aditivo	6.833	6.833
Agua usada: 208.5 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2303.681	2319.958

DISEÑO DE MEZCLA ARI-A45/1.4%	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	574.621	574.621
Aditivo: 1.40%	Agua	200.439	200.439
Agua diseño:	Arena	797.027	807.787
	Piedra	735.645	741.309
	Aditivo	8.041	8.041
Agua usada: 200.4 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2315.773	2332.197

DISEÑO DE MEZCLA ARI-A40/1.0%	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
A/C inicial: 0.4	Cemento	679.442	679.442
Aditivo: 1.00%	Agua	220.557	220.557
Agua diseño:	Arena	725.749	735.546
	Piedra	669.930	675.089
	Aditivo	6.794	6.794
Agua usada: 220.6 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2302.473	2317.429

DISEÑO DE MEZCLA ARI-A40/1.2%	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
A/C inicial: 0.4	Cemento	689.125	689.125
Aditivo: 1.20%	Agua	208.434	208.434
Agua diseño:	Arena	736.092	746.029
	Piedra	679.478	684.710
	Aditivo	8.270	8.270
Agua usada: 208.4 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2321.398	2336.568

DISEÑO DE MEZCLA ARI-A40/1.4%	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
A/C inicial: 0.4	Cemento	697.787	697.787
Aditivo: 1.40%	Agua	197.420	197.420
Agua diseño:	Arena	745.343	755.406
	Piedra	688.018	693.315
	Aditivo	9.769	9.769
Agua usada: 197.4 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2338.337	2353.697

6.2. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS PATRONES Y CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

Mezclas generadas por Cerrón - Referencia [15]

Nota: 1) Se consideró el contenido de humedad igual al % de absorción del respectivo agregado

2) El aditivo utilizado fue Sikament 10

6.2.1 CONCRETOS PATRONES

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-P50 A/C: 0.5 Agua(l): 229.0	Cemento	458.00	458.00
	Agua	229.00	229.00
	Arena	894.75	906.83
	Piedra	732.07	737.71
	Aire		
	TOTAL	2313.82	2331.54

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-P45 A/C: 0.45 Agua(l): 237.0	Cemento	526.66	526.66
	Agua	237.00	237.00
	Arena	850.29	861.77
	Piedra	695.69	701.05
	Aire		
	TOTAL	2309.64	2326.48

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-P40 A/C: 0.4 Agua(l): 247	Cemento	617.50	617.50
	Agua	247.00	247.00
	Arena	792.04	802.73
	Piedra	648.03	653.02
	Aire		
	TOTAL	2304.57	2320.25

6.2.2 CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-A50/0.5% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 0.50% Agua diseño: Agua usada: 209.9 l	Cemento	468.280	468.280
	Agua	209.920	209.920
	Arena	915.032	925.189
	Piedra	748.657	754.497
	Aditivo	2.342	2.342
	Aire	0.000	
	TOTAL	2344.231	2360.227

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-A50/1.0% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.00% Agua diseño: Agua usada: 197.9 l	Cemento	474.376	474.376
	Agua	197.867	197.867
	Arena	926.750	937.036
	Piedra	758.253	764.168
	Aditivo	4.744	4.744
	Aire	0.000	
	TOTAL	2361.990	2378.191

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-A50/2.0% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 2.00% Agua diseño: Agua usada: 181.1 l	Cemento	481.913	481.913
	Agua	181.059	181.059
	Arena	941.475	951.926
	Piedra	770.300	776.308
	Aditivo	9.638	9.638
	Aire	0.000	
	TOTAL	2384.386	2400.845

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CERRON-A50/3.0% A/C inicial: 0.5 Aditivo: 3.00% Agua diseño: Agua usada: 162.1 l	Cemento	490.628	490.628
	Agua	162.147	162.147
	Arena	958.505	969.145
	Piedra	784.237	790.354
	Aditivo	14.719	14.719
	Aire	0.000	
	TOTAL	2410.236	2426.992

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A45/0.5% A/C inicial: 0.45	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 0.50%	Cemento	538.325	538.325
	Agua	218.058	218.058
Agua diseño:	Arena	915.815	925.981
	Piedra	663.171	668.343
Agua usada: 218.1 l	Aditivo	2.692	2.692
	Aire	0.000	
TOTAL		2338.060	2353.399

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A45/1.0% A/C inicial: 0.45	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 1.00%	Cemento	543.070	543.070
	Agua	208.880	208.880
Agua diseño:	Arena	923.875	934.130
	Piedra	669.011	674.229
Agua usada: 208.9 l	Aditivo	5.431	5.431
	Aire	0.000	
TOTAL		2350.267	2365.740

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A45/2.0% A/C inicial: 0.45	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 2.00%	Cemento	556.122	556.122
	Agua	185.280	185.280
Agua diseño:	Arena	946.101	956.602
	Piedra	685.100	690.443
Agua usada: 185.3 l	Aditivo	11.122	11.122
	Aire	0.000	
TOTAL		2383.724	2399.570

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A45/3.0% A/C inicial: 0.45	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 3.00%	Cemento	564.464	564.464
	Agua	168.229	168.229
Agua diseño:	Arena	960.288	970.947
	Piedra	695.377	700.800
Agua usada: 168.2 l	Aditivo	16.934	16.934
	Aire	0.000	
TOTAL		2405.291	2421.374

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A40/0.5% A/C inicial: 0.4	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 0.50%	Cemento	631.779	631.779
	Agua	227.230	227.230
Agua diseño:	Arena	810.360	819.355
	Piedra	663.014	668.185
Agua usada: 227.2 l	Aditivo	3.158	3.158
	Aire	0.000	
TOTAL		2335.542	2349.708

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A40/1.0% A/C inicial: 0.4	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 1.00%	Cemento	638.486	638.486
	Agua	216.329	216.329
Agua diseño:	Arena	818.968	828.059
	Piedra	670.068	675.294
Agua usada: 216.3 l	Aditivo	6.384	6.384
	Aire	0.000	
TOTAL		2350.235	2364.552

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A40/2.0% A/C inicial: 0.4	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 2.00%	Cemento	651.454	651.454
	Agua	194.899	194.899
Agua diseño:	Arena	835.598	844.873
	Piedra	683.670	689.003
Agua usada: 194.9 l	Aditivo	13.029	13.029
	Aire	0.000	
TOTAL		2378.651	2393.259

DISEÑO DE MEZCLA CERRON-A40/3.0% A/C inicial: 0.4	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
Aditivo: 3.00%	Cemento	659.971	659.971
	Agua	178.636	178.636
Agua diseño:	Arena	846.521	855.918
	Piedra	692.607	698.010
Agua usada: 178.6 l	Aditivo	19.799	19.799
	Aire	0.000	
TOTAL		2397.535	2412.334

6.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETOS PATRONES Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

Mezclas generadas por Pineda en la presente tesis

Nota: 1) Se consideró el contenido de humedad igual al % de absorción del respectivo agregado
2) El aditivo utilizado fue Sika Viscocrete1

6.3.1 CONCRETOS PATRONES

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
P50 A/C: 0.5 Agua(l): 244	Cemento	488.00	488.00
	Agua	244.00	244.00
	Arena	772.06	777.08
	Piedra	772.06	779.55
	Aire		
	TOTAL	2276.12	2288.63

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
P45 A/C: 0.45 Agua(l): 255	Cemento	566.67	566.67
	Agua	255.00	255.00
	Arena	723.85	728.55
	Piedra	723.85	730.87
	Aire		
	TOTAL	2269.36	2281.09

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)
P40 A/C: 0.4 Agua(l): 280	Cemento	700.00	700.00
	Agua	280.00	280.00
	Arena	633.61	637.73
	Piedra	633.61	639.76
	Aire		
	TOTAL	2247.23	2257.49

6.3.2 CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CAC50 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.20% Agua diseño: Agua usada: 275.0 l	Cemento	550.000	550.000
	Agua	275.000	275.000
	Arena	695.790	700.313
	Piedra	695.790	702.539
	Aditivo	6.600	6.600
	Aire	0.000	
	TOTAL	2223.180	2234.452

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CAC-44 A/C inicial: 0.5 Aditivo: 1.20% Agua diseño: Agua usada: 250.1 l	Cemento	568.409	568.409
	Agua	250.100	250.100
	Arena	721.049	725.736
	Piedra	721.049	728.044
	Aditivo	6.821	6.821
	Aire	0.000	
	TOTAL	2267.429	2279.110

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CAC40 A/C inicial: 0.4 Aditivo: 1.20% Agua diseño: Agua usada: 235.0 l	Cemento	587.500	587.500
	Agua	235.000	235.000
	Arena	732.874	737.638
	Piedra	732.874	739.983
	Aditivo	7.050	7.050
	Aire	0.000	
	TOTAL	2295.299	2307.171

DISEÑO DE MEZCLA	Material	Peso Seco x 1m3 (kg)	Peso Húmedo (kg)
CAC-A454 A/C inicial: 0.45 Aditivo: 1.60% Agua diseño: Agua usada: 213.3 l	Cemento	592.462	592.462
	Agua	213.282	213.282
	Arena	756.798	761.717
	Piedra	756.798	764.139
	Aditivo	9.479	9.479
	Aire	0.000	
	TOTAL	2328.819	2341.080

DISEÑO DE MEZCLA CAC-A458	Material	Peso Seco	Peso Húmedo
		x 1m3 (kg)	(kg)
A/C inicial: 0.45	Cemento	600.007	600.007
Aditivo: 2.00%	Agua	201.317	201.317
	Arena	766.436	771.418
Agua diseño:	Piedra	766.436	773.871
	Aditivo	12.000	12.000
Agua usada: 201.3 l	Aire	0.000	
	TOTAL	2346.197	2358.614

6.4 ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS CONCRETOS PATRONES Y CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

Mezclas generadas por Ari - Referencia [14]

Nota: 1) El aditivo utilizado fue Sika Viscocrete1

6.4.1 CONCRETOS PATRONES

ARI-P50	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	482.0	42.5	11.341	bol	13.56	153.8	
Agua	241.0	1000.0	0.241	m3	0.90	0.2	
Arena	803.9	1689.0	0.476	m3	16.95	8.1	
Piedra	737.8	1418.5	0.520	m3	39.85	20.7	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	182.8
R.Comp-7d (kg/cm2):		293.5					

ARI-P45	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	546.7	42.5	12.864	bol	13.56	174.4	
Agua	246.0	1000.0	0.246	m3	0.90	0.2	
Arena	768.5	1689.0	0.455	m3	16.95	7.7	
Piedra	705.3	1418.5	0.497	m3	39.85	19.8	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	202.2
R.Comp-7d (kg/cm2):		313.6					

ARI-P40	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	650.0	42.5	15.294	bol	13.56	207.4	
Agua	260.0	1000.0	0.260	m3	0.90	0.2	
Arena	703.7	1689.0	0.417	m3	16.95	7.1	
Piedra	645.8	1418.5	0.455	m3	39.85	18.1	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	232.8
R.Comp-7d (kg/cm2):		344.9					

6.4.2 CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

ARI-A50/1.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	496.4	42.5	11.681	bol	13.56	158.4	
Agua	213.3	1000.0	0.213	m3	0.90	0.2	
Arena	828.0	1689.0	0.490	m3	16.95	8.3	
Piedra	761.0	1418.5	0.536	m3	39.85	21.4	
Aditivo	4.964		4.964	kg	16.13	80.1	268.3
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		379.8					

ARI-A50/1.2%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	499.7	42.5	11.758	bol	13.56	159.4	
Agua	207.3	1000.0	0.207	m3	0.90	0.2	
Arena	833.5	1689.0	0.493	m3	16.95	8.4	
Piedra	766.0	1418.5	0.540	m3	39.85	21.5	
Aditivo	5.993		5.993	kg	16.13	96.7	286.2
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		410.7					

ARI-A50/1.4%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	503.9	42.5	11.857	bol	13.56	160.8	
Agua	199.8	1000.0	0.200	m3	0.90	0.2	
Arena	840.5	1689.0	0.498	m3	16.95	8.4	
Piedra	772.5	1418.5	0.545	m3	39.85	21.7	
Aditivo	7.057		7.057	kg	16.13	113.8	304.9
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		432.0					

ARI-A45/1.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	567.0	42.5	13.341	bol	13.56	180.9	
Agua	212.9	1000.0	0.213	m3	0.90	0.2	
Arena	797.1	1689.0	0.472	m3	16.95	8.0	
Piedra	731.5	1418.5	0.516	m3	39.85	20.5	
Aditivo	5.673		5.673	kg	16.13	91.5	301.2
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		405.7					

ARI-A45/1.2%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	569.4	42.5	13.399	bol	13.56	181.7	
Agua	208.5	1000.0	0.209	m3	0.90	0.2	
Arena	800.5	1689.0	0.474	m3	16.95	8.0	
Piedra	734.6	1418.5	0.518	m3	39.85	20.6	
Aditivo	6.833		6.833	kg	16.13	110.2	320.8
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		444.4					

ARI-A45/1.4%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	574.6	42.5	13.520	bol	13.56	183.3	
Agua	200.4	1000.0	0.200	m3	0.90	0.2	
Arena	807.8	1689.0	0.478	m3	16.95	8.1	
Piedra	741.3	1418.5	0.523	m3	39.85	20.8	
Aditivo	8.041		8.041	kg	16.13	129.7	342.1
R.Comp-7d (kg/cm2):		455.3					

ARI-A40/1.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	679.4	42.5	15.987	bol	13.56	216.8	
Agua	220.6	1000.0	0.221	m3	0.90	0.2	
Arena	735.5	1689.0	0.435	m3	16.95	7.4	
Piedra	675.1	1418.5	0.476	m3	39.85	19.0	
Aditivo	6.794		6.794	kg	16.13	109.6	352.9
R.Comp-7d (kg/cm2):		443.7					

ARI-A40/1.2%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	689.1	42.5	16.215	bol	13.56	219.9	
Agua	208.4	1000.0	0.208	m3	0.90	0.2	
Arena	746.0	1689.0	0.442	m3	16.95	7.5	
Piedra	684.7	1418.5	0.483	m3	39.85	19.2	
Aditivo	8.270		8.270	kg	16.13	133.4	380.2
R.Comp-7d (kg/cm2):		465.5					

ARI-A40/1.4%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	697.8	42.5	16.419	bol	13.56	222.6	
Agua	197.4	1000.0	0.197	m3	0.90	0.2	
Arena	755.4	1689.0	0.447	m3	16.95	7.6	
Piedra	693.3	1418.5	0.489	m3	39.85	19.5	
Aditivo	9.769		9.769	kg	16.13	157.6	407.4
R.Comp-7d (kg/cm2):		523.2					

6.5 ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS CONCRETOS PATRONES Y CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

Mezclas generadas por Cerrón - Referencia [15]

Nota: 1) El aditivo utilizado fue Sikament10

6.5.1 CONCRETOS PATRONES

CERRON-P50	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	458.0	42.5	10.776	bol	13.56	146.1	
Agua	229.0	1000.0	0.229	m3	0.90	0.2	
Arena	894.8	1638.0	0.546	m3	16.95	9.3	
Piedra	732.1	1482.1	0.494	m3	39.85	19.7	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	175.3
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		275.77					

CERRON-P45	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	526.7	42.5	12.392	bol	13.56	168.0	
Agua	237.0	1000.0	0.237	m3	0.90	0.2	
Arena	850.3	1638.0	0.519	m3	16.95	8.8	
Piedra	695.7	1482.1	0.469	m3	39.85	18.7	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	195.8
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		305.8					

CERRON-P40	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	617.5	42.5	14.529	bol	13.56	197.0	
Agua	247.0	1000.0	0.247	m3	0.90	0.2	
Arena	792.0	1638.0	0.484	m3	16.95	8.2	
Piedra	648.0	1482.1	0.437	m3	39.85	17.4	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	222.9
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		341.03					

6.5.2 CONCRETOS DE ALTO DESEMPEÑO DE CONSISTENCIA NORMAL

CERRON-A50/0.5%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	468.3	42.5	11.018	bol	13.56	149.4	
Agua	209.9	1000.0	0.210	m3	0.90	0.2	
Arena	915.0	1638.0	0.559	m3	16.95	9.5	
Piedra	748.7	1482.1	0.505	m3	39.85	20.1	
Aditivo	2.342		2.342	kg	6.54	15.3	194.5
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		350.39					

CERRON-A50/1.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	474.376	42.5	11.162	bol	13.56	151.4	
Agua	197.867	1000.0	0.198	m3	0.90	0.2	
Arena	926.750	1638.0	0.566	m3	16.95	9.6	
Piedra	758.253	1482.1	0.512	m3	39.85	20.4	
Aditivo	4.744		4.744	kg	6.54	31.0	212.5
R.Comp-7d (kg/cm2):		372.25					

CERRON-A50/2.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	481.9	42.5	11.339	bol	13.56	153.8	
Agua	181.1	1000.0	0.181	m3	0.90	0.2	
Arena	941.5	1638.0	0.575	m3	16.95	9.7	
Piedra	770.3	1482.1	0.520	m3	39.85	20.7	
Aditivo	9.638		9.638	kg	6.54	63.0	247.4
R.Comp-7d (kg/cm2):		421.890					

CERRON-A50/3.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	490.6	42.5	11.544	bol	13.56	156.5	
Agua	162.1	1000.0	0.162	m3	0.90	0.1	
Arena	958.5	1638.0	0.585	m3	16.95	9.9	
Piedra	784.2	1482.1	0.529	m3	39.85	21.1	
Aditivo	14.719		14.719	kg	6.54	96.3	284.0
R.Comp-7d (kg/cm2):		436.16					

CERRON-A45/0.5%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	538.3	42.5	12.666	bol	13.56	171.8	
Agua	218.1	1000.0	0.218	m3	0.90	0.2	
Arena	915.8	1638.0	0.559	m3	16.95	9.5	
Piedra	663.2	1482.1	0.447	m3	39.85	17.8	
Aditivo	2.692		2.692	kg	6.54	17.6	216.9
R.Comp-7d (kg/cm2):		385.07					

CERRON-A45/1.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	543.1	42.5	12.778	bol	13.56	173.3	
Agua	208.9	1000.0	0.209	m3	0.90	0.2	
Arena	923.9	1638.0	0.564	m3	16.95	9.6	
Piedra	669.0	1482.1	0.451	m3	39.85	18.0	
Aditivo	5.431		5.431	kg	6.54	35.5	236.5
R.Comp-7d (kg/cm2):		401.6					

CERRON-A45/2.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	556.1	42.5	13.085	bol	13.56	177.4	
Agua	185.3	1000.0	0.185	m3	0.90	0.2	
Arena	946.1	1638.0	0.578	m3	16.95	9.8	
Piedra	685.1	1482.1	0.462	m3	39.85	18.4	
Aditivo	11.122		11.122	kg	6.54	72.7	278.6
R.Comp-7d (kg/cm2):		431.96					

CERRON-A45/3.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	564.5	42.5	13.281	bol	13.56	180.1	
Agua	168.2	1000.0	0.168	m3	0.90	0.2	
Arena	960.3	1638.0	0.586	m3	16.95	9.9	
Piedra	695.4	1482.1	0.469	m3	39.85	18.7	
Aditivo	16.934		16.934	kg	6.54	110.7	319.6
R.Comp-7d (kg/cm2):		459.74					

CERRON-A40/0.5%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	631.8	42.5	14.865	bol	13.56	201.6	
Agua	227.2	1000.0	0.227	m3	0.90	0.2	
Arena	810.4	1638.0	0.495	m3	16.95	8.4	
Piedra	663.0	1482.1	0.447	m3	39.85	17.8	
Aditivo	3.158		3.158	kg	6.54	20.7	248.6
R.Comp-7d (kg/cm2):		413.6					

CERRON-A40/1.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	638.5	42.5	15.023	bol	13.56	203.7	
Agua	216.3	1000.0	0.216	m3	0.90	0.2	
Arena	819.0	1638.0	0.500	m3	16.95	8.5	
Piedra	670.1	1482.1	0.452	m3	39.85	18.0	
Aditivo	6.384		6.384	kg	6.54	41.8	272.2
R.Comp-7d (kg/cm2):		445.4					

CERRON-A40/2.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	651.5	42.5	15.328	bol	13.56	207.9	
Agua	194.9	1000.0	0.195	m3	0.90	0.2	
Arena	835.6	1638.0	0.510	m3	16.95	8.6	
Piedra	683.7	1482.1	0.461	m3	39.85	18.4	
Aditivo	13.029		13.029	kg	6.54	85.2	320.3
R.Comp-7d (kg/cm2):		465.3					

CERRON-A40/3.0%	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	660.0	42.5	15.529	bol	13.56	210.6	
Agua	178.6	1000.0	0.179	m3	0.90	0.2	
Arena	855.9	1638.0	0.523	m3	16.95	8.9	
Piedra	698.0	1482.1	0.471	m3	39.85	18.8	
Aditivo	19.799		19.799	kg	6.54	129.5	367.8
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		496.4					

6.6 ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS CONCRETOS PATRONES Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

Mezclas generadas por Pineda en la presente tesis

Nota: 1) El aditivo utilizado fue Sika Viscocrete1

6.6.1 CONCRETOS PATRONES

P50	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	488.0	42.5	11.482	bol	13.56	155.7	
Agua	244.0	1000.0	0.244	m3	0.90	0.2	
Arena	777.1	1680.0	0.463	m3	16.95	7.8	
Piedra	779.5	1470.0	0.530	m3	39.85	21.1	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	184.9
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		318.4					

P45	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	566.7	42.5	13.333	bol	13.56	180.8	
Agua	255.0	1000.0	0.255	m3	0.90	0.2	
Arena	728.6	1680.0	0.434	m3	16.95	7.4	
Piedra	730.9	1470.0	0.497	m3	39.85	19.8	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	208.2
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		362.0					

P40	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	700.0	42.5	16.471	bol	13.56	223.3	
Agua	280.0	1000.0	0.280	m3	0.90	0.3	
Arena	637.7	1680.0	0.380	m3	16.95	6.4	
Piedra	639.8	1470.0	0.435	m3	39.85	17.3	
Aditivo			0.000	kg	16.13	0.0	247.4
<i>R.Comp-7d (kg/cm2):</i>		386.8					

6.6.2 CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES

CAC50	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	550.0	42.5	12.941	bol	13.56	175.5	
Agua	275.0	1000.0	0.275	m3	0.90	0.2	
Arena	700.3	1680.0	0.417	m3	16.95	7.1	
Piedra	702.5	1470.0	0.478	m3	39.85	19.0	
Aditivo	6.6		6.600	kg	16.13	106.5	308.3
R.Comp-7d (kg/cm2):		386.5					

CAC44	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	568.4	42.5	13.374	bol	13.56	181.4	
Agua	250.1	1000.0	0.250	m3	0.90	0.2	
Arena	725.7	1680.0	0.432	m3	16.95	7.3	
Piedra	728.0	1470.0	0.495	m3	39.85	19.7	
Aditivo	6.8		6.821	kg	16.13	110.0	318.7
R.Comp-7d (kg/cm2):		433.6					

CAC40	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	587.5	42.5	13.824	bol	13.56	187.4	
Agua	235.0	1000.0	0.235	m3	0.90	0.2	
Arena	737.6	1680.0	0.439	m3	16.95	7.4	
Piedra	740.0	1470.0	0.503	m3	39.85	20.1	
Aditivo	7.0		7.050	kg	16.13	113.7	328.9
R.Comp-7d (kg/cm2):		456.8					

A454	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	592.5	42.5	13.940	bol	13.56	189.0	
Agua	213.3	1000.0	0.213	m3	0.90	0.2	
Arena	761.7	1680.0	0.453	m3	16.95	7.7	
Piedra	764.1	1470.0	0.520	m3	39.85	20.7	
Aditivo	9.5		9.479	kg	16.13	152.9	370.5
R.Comp-7d (kg/cm2):		536.1					

A458	Material Húmedo				Precio Unitario S/.	Precio Parcial S/.	Precio TOTAL S/./m3
	Peso(kg)	(B)	(A)/(B)	Unid.			
	(A)						
Cemento	600.0	42.5	14.118	bol	13.560	191.4	
Agua	201.3	1000.0	0.201	m3	0.900	0.2	
Arena	771.4	1680.0	0.459	m3	16.950	7.8	
Piedra	773.9	1470.0	0.526	m3	39.850	21.0	
Aditivo	12.0		12.000	kg	16.130	193.6	413.9
R.Comp-7d (kg/cm2):		550.1					

ANEXO 7

CONDICIONES AMBIENTALES

7.1. TEMPERATURA Y PORCENTAJE DE HUMEDAD PROMEDIO DURANTE LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS EN CONCRETO

Entre los meses de Setiembre y Diciembre del año 2002, periodo de tiempo en que se realizaron los ensayos concreto de la presente tesis en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI, se obtuvieron los siguientes rangos de valores promedio de temperatura y porcentaje de humedad:

Temperatura (°C)	15 - 24
Humedad Relativa Atmosférica(%)	67 - 95 (*)

(*) Fuente: SENAMHI

En la referencia [2] el ingeniero Alfredo Romero considera que el trabajo con concreto se realiza en condiciones normales cuando la temperatura ambiente varía entre 5 y 30 °C. Por lo tanto se puede asegurar que las condiciones ambientales en las que se desarrolló los ensayos de concreto en esta investigación son normales.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:**[1]**

TITULO : **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**
 AUTOR : A.M. Neville, J.J. Brooks
 LUGAR Y AÑO : México / 1998
 BIBLIOTECA : UNI-FIC
 CONTENIDO : Estudio del Concreto

[2]

TITULO : **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**
 AUTOR : Enrique Rivva L., Juan Harman I., Enrique Pasquel C., Dante Badoino M., Alfredo Romero U.
 LUGAR Y AÑO : Lima-Perú / 1998
 BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
 CONTENIDO : Estudio del Concreto

[3]

TITULO : **NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO**
 AUTOR : Enrique Rivva L.
 LUGAR Y AÑO : Lima-Perú / 1998
 BIBLIOTECA : UNI-FIC
 CONTENIDO : Estudio de los Materiales Concreto

[4]

TITULO : **CEMENTO - BOLETINES TECNICOS**
 AUTOR : ASOCEM
 LUGAR Y AÑO : Lima-Perú / 1987
 BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
 CONTENIDO : Boletines sobre Concreto

[5]

TITULO : **MATERIALES DE CONSTRUCCION**
 AUTOR : G.I. Gorchakov
 LUGAR Y AÑO : Moscú / 1984
 BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
 CONTENIDO : Estudio de los Materiales de Construcción

[6]

TITULO : **FINAL REPORT OF TASK 1 - PRELIMINARY MIX DESIGN**
 AUTOR : Örjan Petterson
 REFERENCIA : Brite Euram Project "Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute
 LUGAR Y AÑO : Suecia / 1997
 BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
 CONTENIDO : Investigación sobre Concreto Autocompactante. Reporte N°1-Diseño Preliminar de Mezcla. Parte del Proyecto Europeo "Producción Racional y Mejoramiento del Ambiente de Trabajo utilizando Concreto Autocompactante".

[7]

TITULO : **FINAL REPORT OF TASK 2 -WORKABILITY**
 AUTOR : Örjan Petterson
 REFERENCIA : Brite Euram Project "Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute
 LUGAR Y AÑO : Suecia / 1999
 BIBLIOTECA : Biblioteca Personal

CONTENIDO : Investigación sobre Concreto Autocompactante. Reporte N°2-Análisis de la Trabajabilidad de la Mezcla. Parte del proyecto europeo "Producción Racional y Mejoramiento del Ambiente de Trabajo utilizando Concreto Autocompactante".

[8]

TÍTULO : **FINAL REPORT OF TASK 3 – RHEOLOGY**
 AUTOR : T. Sedran
 REFERENCIA : Brite Euram Project "Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, LCPC.

LUGAR Y AÑO : Francia / 2000

BIBLIOTECA : Biblioteca Personal

CONTENIDO : Investigación sobre Concreto Autocompactante. Reporte N°3 - Análisis del Comportamiento Reológico de la mezcla. Parte del proyecto europeo "Producción Racional y Mejoramiento del Ambiente de Trabajo utilizando Concreto Autocompactante".

[9]

TÍTULO : **FINAL REPORT OF TASK 4 – PROPERTIES OF HARDENED CONCRETE**

AUTOR : M. Sonebi, P. Bartos, W. Zhu, J. Gibbs, A. Tamimi

REFERENCIA : Brite Euram Project "Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete", University of Paisley, United Kingdom

LUGAR Y AÑO : Inglaterra / 2000

BIBLIOTECA : Biblioteca Personal

CONTENIDO : Investigación sobre Concreto Autocompactante. Reporte N°4 - Análisis de las Propiedades del Concreto Endurecido. Parte del proyecto europeo "Producción Racional y Mejoramiento del Ambiente de Trabajo utilizando Concreto Autocompactante".

[10]

TÍTULO : **REPORT 23 " SELF COMPACTING CONCRETE"**

AUTOR : Edited by A. Skarendahl and O. Petersoon.

REFERENCIA : State of the art report of Rilem Technical Committee 174 – SCC

LUGAR Y AÑO : 2000

BIBLIOTECA : ASOCEM

CONTENIDO : Reporte del Estado del Arte sobre Concreto Autocompactante.

[11]

TÍTULO : **SELF COMPACTING CONCRETE**

AUTOR : Edited by A. Skarendahl and O. Petersoon.

REFERENCIA : Proceedings of the First International RILEM Symposium, PRO7

LUGAR Y AÑO : 2000

BIBLIOTECA : ASOCEM

CONTENIDO : Resumen del Primer Simposio Internacional sobre Concreto Autocompactante organizado por el RILEM.

[12]

TÍTULO : **EFFECT OF SUPERPLASTICIZERS ON THE BEHAVIOR OF CONCRETE IN THE FRESH AND HARDENED STATES: IMPLICATIONS FOR HIGH PERFORMANCE CONCRETES**

AUTOR : Joana Roncero

LUGAR Y AÑO : España 2000

BIBLIOTECA : Biblioteca Personal

CONTENIDO : Tesis doctoral sobre los efectos de los aditivos superplastificantes en el comportamiento al estado fresco y endurecido del concreto especialmente los de alto desempeño.

[13]

TITULO

: **SPECIFICATION AND GUIDELINES FOR SELF COMPACTING CONCRETE**

AUTOR

: EFNARC (*European federation dedicated to specialist construction chemicals and concrete systems.*)

LUGAR Y AÑO

: Inglaterra 2002

BIBLIOTECA

: Biblioteca Personal

CONTENIDO

: Especificaciones e información general sobre mezclas de Concreto Autocompactante.

[14]

TITULO

: **ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y RETARDADOR DE FRAGUADO, CON CEMENTO PORTLAND TIPO I**

AUTOR

: Ismael Ari Q.

LUGAR Y AÑO

: Lima-Perú / 2002

BIBLIOTECA

: UNI-FIC

CONTENIDO

: Tesis sobre los efectos en el concreto al adicionarle aditivo superplastificante.

[15]

TITULO

: **ESTUDIO DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS A LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO, POR LA ADICION DE UN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I**

AUTOR

: Roberto Cerrón P.

LUGAR Y AÑO

: Lima-Perú / 1999

BIBLIOTECA

: UNI-FIC

CONTENIDO

: Tesis sobre los efectos en el concreto al adicionarle aditivo superplastificante.

ARTICULOS

[16]

TITULO

: **DISEÑO DE HORMIGONES AUTOCOMPACTABLES DE ALTA RESISTENCIA. PROCEDIMIENTO PARA SU DOSIFICACIÓN Y METODOS DE CARACTERIZACION**

AUTOR

: Paulo Gomes, Ravindra Gettu, Luis Agulló, Camilo Bernad

LUGAR Y AÑO

: Barcelona-ESPAÑA

BIBLIOTECA

: Biblioteca Personal

CONTENIDO

: Investigación sobre Concretos Autocompactantes de alta resistencia.

[17]

TITULO

: **HORMIGÓN AUTOCOMPACTO Y GLENIUM: UN COMPROMISO PERFECTO**

AUTOR

: José García, Pere Borralleras

LUGAR Y AÑO

: España / 2001

BIBLIOTECA

: Biblioteca Personal

CONTENIDO

: Reporte sobre Concretos Autocompactantes.

[18]

TITULO : **WORKABILITY OF SELF-COMPACTING CONCRETE**
AUTOR : Chiara Ferraris, Lynn Brower, Celik Ozyildirim, Joseph Daczko
REFERENCIA : Reprinted from The Economical Solution for Durable Bridges and Transportation Structures, International Symposium on High Performance Concrete. Proceedings. PCI/FHWA/FIB.
LUGAR Y AÑO : Florida-USA / 2000
BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
CONTENIDO : Investigación sobre Trabajabilidad del Concreto Autocompactante. Parte del Simposio Internacional sobre Concreto de Alto Desempeño.

[19]

TITULO : **EXPERIMENTS FOR MIX PROPORTIONING OF SELF-COMPACTING CONCRETE**
AUTOR : S. Subramanian, D. Chattopadhyay
REFERENCIA : Reprinted from The Indian Concrete Journal.
LUGAR Y AÑO : 2002
BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
CONTENIDO : Investigación sobre dosificación de mezcla en Concretos Autocompactantes

[20]

TITULO : **MEASUREMENT OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE: STATE OF THE ART**
AUTOR : Chiara Ferraris (NIST)
REFERENCIA : Reprinted from Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology (NIST)
LUGAR Y AÑO : 1999
BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
CONTENIDO : Reporte sobre el estado del arte en las mediciones de las propiedades reológicas de los concretos de alto desempeño.

[21]

TITULO : **THE INFLUENCE OF MINERAL ADMIXTURES ON THE RHEOLOGY OF CEMENT PASTE AND CONCRETE**
AUTOR : Chiara Ferraris (NIST), Karthik Obla, Russel Hill
REFERENCIA : Reprinted from Cement and Concrete Research Vol.31, NIST
LUGAR Y AÑO : 2001
BIBLIOTECA : Biblioteca Personal
CONTENIDO : Investigación sobre la influencia de los adiciones minerales en la reología de la pasta de cemento y el concreto