



## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I:

#### GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.....	4.
1.2 DEFINICION DE HORMIGON AUTOCOMPACTABLE.....	5.
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	5.
1.4 ALCANCES.....	6.
1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL H° AUTOCOMPACTABLE .....	7.

### CAPÍTULO II:

#### PLANTA DE ELABORACIÓN

2.1 UBICACIÓN.....	8.
2.2 INSTALACIONES EDILICIAS.....	8.
2.3 MAQUINARIAS Y EQUIPOS .....	9.
2.3.1 PLANTA DOSIFICADORA .....	10.
2.3.2 SILOS DE CEMENTO .....	10.
2.3.3 TOLVAS DE CARGA .....	11.
2.3.4 CARGADORA FRONTAL .....	11.
2.3.5 ACOPIO .....	12.

### CAPÍTULO III:

#### MATERIALES COMPONENTES

3.1 REQUISITOS DE LOS MATERIALES COMPONENTES.....	13.
3.2 AGREGADOS.....	13.
3.2.1 AGREGADO FINO.....	13.
3.2.2 AGREGADO GRUESO.....	16.
3.3 AGUA.....	17.
3.4 ADITIVOS.....	18.
3.5 CEMENTO.....	19.



## **CAPÍTULO IV:**

### **COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA**

<b>4.1 GENERAL.....</b>	<b>21.</b>
<b>4.2 COMPOSICION INICIAL DE LA MEZCLA.....</b>	<b>21.</b>
<b>4.3 AJUSTE DE LA MEZCLA – PASTONES DE PRUEBA. DOSIFICACIONES OBTENIDAS.....</b>	<b>34.</b>
<b>4.4 ENSAYOS SOBRE LOS PASTONES DE PRUEBA.....</b>	<b>35.</b>

## **CAPÍTULO V:**

### **CONTROL DE CALIDAD**

<b>5.1 ENSAYOS.....</b>	<b>36.</b>
<b>5.1.1 SOBRE EL HORMIGON EN ESTADO FRESCO.....</b>	<b>36.</b>
<b>5.1.2 SOBRE EL HORMIGON EN ESTADO ENDURECIDO.....</b>	<b>44.</b>
<b>5.2 RESISTENCIA EN FUNCION DEL TIEMPO.....</b>	<b>46.</b>
<b>5.3 LLENADO DE UNA VIGA A ESCALA INDUSTRIAL.....</b>	<b>47.</b>
<b>5.4 EFICIENCIA DE MEZCLADO.....</b>	<b>48.</b>
<b>5.5 CONTROL ESTADISTICO, DESVIO NORMAL. ....</b>	<b>50.</b>
<b>5.6 CONTROL DE CURADO.....</b>	<b>51.</b>
<b>5.7 CONTROL DE PRODUCCION.....</b>	<b>53.</b>

## **CAPÍTULO VI:**

### **COMPARACION DEL HORMIGON AUTOCOMPACTABLE Vs VIBRADO.**

<b>6.1 DIFERENCIA EN VOLUMEN DE LOS COMPONENTES.....</b>	<b>57.</b>
<b>6.2 CUIDADOS ESPECIALES EN EL AUTOCOMPACTANTE .....</b>	<b>58.</b>
<b>6.3 ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>	<b>58.</b>



**CAPÍTULO VII:**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**7.1 CONCLUSIONES DE LA PRACTICA SUPERVISADA..... 58.**

**ÍNDICE DE TABLA Y FIGURAS ..... 59.**

**BIBLIOGRAFÍA..... 60.**

**ANEXO I**

**PLANOS.....61.**

**FICHA TECNICA DE ADITIVO .....64.**



### 1.1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue desarrollado en Estructuras Pretensa, es una empresa dedicada a la fabricación, transporte y montaje de estructuras pretensadas y premoldeadas de hormigón desde el año 1977. Estas estructuras tienen diversos destinos ( plantas industriales, complejos deportivos, silos, edificios administrativos, centros comerciales, etc.). Sus cualidades más destacadas son:

Durabilidad

Bajos costos de mantenimiento

Elevada aislación térmica y acústica respecto a estructuras cerradas con chapa.

Soluciones livianas para cubrir grandes luces.

Fabricación con mano de obra calificada, modernas tecnologías y estrictos control de calidad.

Breve tiempo de ejecución.

Estructuras Pretensa cuenta con dos plantas una en Córdoba y la otra en Buenos Aires.

Una capacidad de fabricación de 15.000m<sup>2</sup> por mes.

El trabajo fue desarrollado en la planta Córdoba, la cual cuenta con el siguiente organigrama.

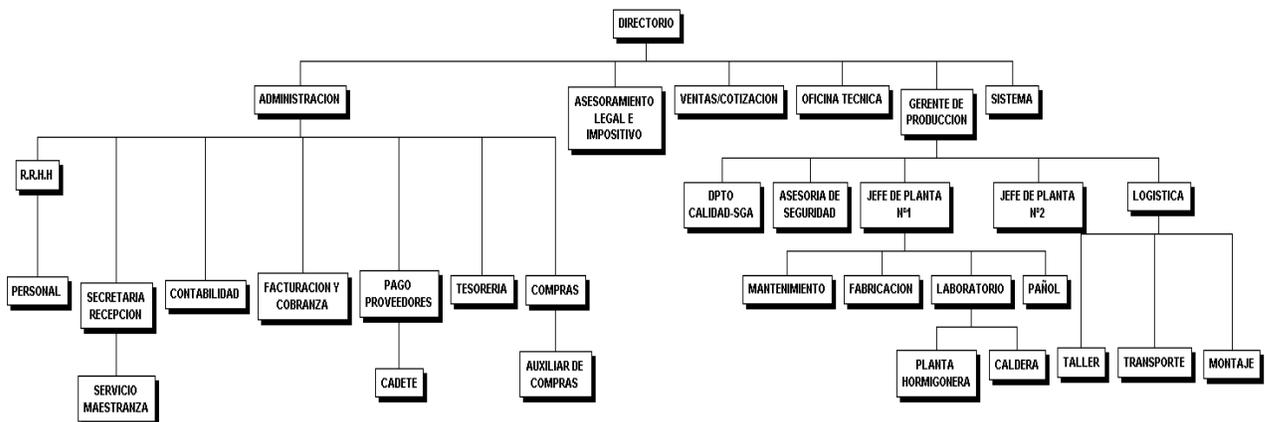


Fig. N° 1.1 Organigrama de la empresa

Se desarrollo dentro del Área Producción, en el Laboratorio de investigación, elaboración y control de hormigones. La planta Córdoba cuenta con 4 sectores de producción (A,B,C,D). En cada sector se fabrican diferentes elementos estructurales.



Sector “A” cuenta con dos pistas de pretensados de 55mts de largo, una para la fabricación de vigas de distintas geometrías (rectangulares, I, U) y la otra para paneles de entresijos sección TT de alturas variables. Además tiene mesadas para la fabricación de columnas y vigas premoldeadas.

Sector “B” posee mesadas para la fabricación de elementos premoldeados como ser: placas de cerramiento, casetonados, autoportantes, tribunas, correas.

Sector “C” cuenta con una pista de pretensados de 66 mts de largo para la fabricación de entresijos y cielorrasos. Además tiene mesadas para la fabricación de tribunas.

Sector “D” cuenta con dos pistas de pretensados de 108mts de largo donde se realizan vigas de gran porte de distintas geometrías (rectangulares, I, U).

La producción promedio diaria de esta planta es de 100Tn.

Debido a la búsqueda constante de mejorar la calidad de terminación en las piezas, surge la idea de elaborar un hormigón autocompactable. Este aparte de mejorar la terminación superficial, mejora notablemente los tiempos de producción, elimina los ruidos de los vibradores creando un ambiente laboral mas agradable, mejora la vida útil de los moldes, incrementa la resistencia a compresión simple a temprana edad.

## **1.2 DEFINICIÓN DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE (HAC)**

El hormigón autocompactante se caracteriza por su alta fluidez que le proporciona una gran facilidad para transcurrir a través del encofrado, rellenándolo, pasando entre la armadura y consolidándose por efecto de su propio peso sin compactación externa o interna. Por su viscosidad se consigue que el hormigón no se bloquee en su paso a través de las armaduras, con un perfecto relleno y que “corra” a través del encofrado acomodándose a su forma, y por su cohesión que lo hace resistente a la segregación y a la exudación. El hormigón autocompactante es uno de los más recientes y que más interés ha despertado en la comunidad técnica, ha sido descrito como el desarrollo más revolucionario de las últimas décadas en el campo de la construcción con hormigón. La denominación conocida por la mayoría de los países del mundo es Self Compacting Concrete (SCC), traducida al español como Hormigón Autocompactante (HAC).

### **DEFINICIONES DE DISTINTOS AUTORES:**

Okamura define al hormigón autocompactante como un hormigón capaz de fluir en el interior del encofrado, rellenando de forma natural el volumen del mismo pasando entre las barras de armadura y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso sin compactación interna o externa. Establece tres requisitos necesarios a satisfacer por el hormigón autocompactante:

- El hormigón debe fluir libremente por cada rincón del encofrado sin el uso de vibración.
- Los efectos derivados de la generación de calor, endurecimiento o retracción por secado deben ser mínimos.
- La permeabilidad del hormigón frente la penetración del oxígeno, cloruros y agua debe ser mínima.



La Comisión del hormigón estructural de Madrid, define el hormigón autocompactante como aquel hormigón de gran facilidad de colocación, homogéneo y estable, que no presenta segregación, o bloqueo de árido grueso, ni sangrado, o exudación de la lechada; que se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación y que confiere a la estructura una calidad igual, al menos, a la proporcionada por el hormigón convencional.

### **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO**

El objetivo principal de mi práctica es: Desarrollar hormigones autocompactables, que sean capaces de compactarse por todos los rincones del encofrado, logrando una mejor terminación, facilitando el llenado y eliminando ruidos y vibraciones.  
Controlar sus propiedades en estado fresco tales como: fluidez (Escurrimiento y embudo en V), resistencia al bloqueo (Caja L-Box), estabilidad estática y dinámica.  
Evaluar las ventajas que posee el HAC con respecto al tradicional en cuanto a trabajabilidad, productividad, terminación superficial, etc.

### **1.4 ALCANCE**

El alcance del presente trabajo se circunscribirá a:  
Controlar las propiedades de los materiales utilizados.  
Desarrollar la composición de la mezcla más óptima.  
Puesta a punto a través de pastones de prueba.  
Control de calidad en estado fresco y endurecido del hormigón.  
Comprensión de las funciones y software de la planta mezcladora y elaboradora.  
Seguimiento del hormigón desde la planta, colado, terminación y curado.  
Control de calidad de las piezas terminadas.  
Análisis comparativo del hormigón autocompactable con el tradicional.  
Análisis de costos.  
Control estadístico de resistencias.



## **1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE**

### **Ventajas:**

Se auto compacta por si solo sin necesidad de vibrado.  
Se reduce el tiempo de colado del hormigón.  
Capacidad para rellenar y pasar por todas las zonas del encofrado, sin formación de vacíos.  
Es menos permeable y ocluye menos aire.  
Tiene alta resistencia a la segregación.  
Mejor acabado superficial.  
Mayor docilidad- Mayor fluidez.  
Mayor adherencia entre la armadura-hormigón.  
La interfase pasta – árido es mas densa.

### **Desventajas:**

Control mas estrictos de materiales, humedades, tolerancias en la carga etc.  
Curado del hormigón mas controlado, mas facilidad para fisurarse plásticamente.  
Empujes en los encofrados.  
Estanqueidad de la mezcladora, medios de transporte, y encofrados.



## 2.1 UBICACIÓN

La planta elaboradora esta ubicada en el norte de la ciudad de Córdoba Capital, camino al aeropuerto. En Avenida “La voz del interior Km 5.5”.



Fig. Nº 2.1 Ubicación geográfica de la planta Pretensados en Córdoba

## 2.2 INSTALACIONES EDILICIAS

La planta posee laboratorio, cabina de mandos, playón de acopio de materiales, calles de acceso, iluminación, red de agua y cisterna de acopio.

## 2.3 MAQUINARIAS Y EQUIPOS

La planta cuenta con un sistema Betonmac 2013 completamente automatizado. De fácil manejo operativo, con un menú formado por las siguientes áreas:

- Producción de hormigón (Programación secuencial de los hormigones a despachar).
- Laboratorio (Generación y consulta de fórmulas ordenadas por código de hormigón, por fórmula y por descripción).
- Materiales (Nombre, ingreso, consumo, inventario y stock de materiales).
- Administración (Datos relacionados a: clientes, órdenes de compra, camiones y parte de producción diaria y mensual).
- Configuración de la planta (Cantidad de balanzas, silos, mezcladoras, etc).



- Varios (Cada ítem del menú puede tener claves; sistema preparado para trabajar en red. Importación y exportación de datos).
- Corrección de la humedad de los áridos ingresando los porcentajes por teclado

Los equipos que la complementan para la elaboración y la entrega del hormigón son: Tres tractores con dos tolvas cada uno de 1.5m<sup>3</sup> cada una. Y una cargadora frontal.

### 2.3.1 PLANTA DOSIFICADORA

La planta dosificadora y mezcladora es una Betonmac PS4-PM-30 . Con capacidad de mezclado de 2m<sup>3</sup> por ciclo. Con una capacidad de producción de 75(m<sup>3</sup>/h). Cuenta con un sistema de automatización Betonmac VH-2012.

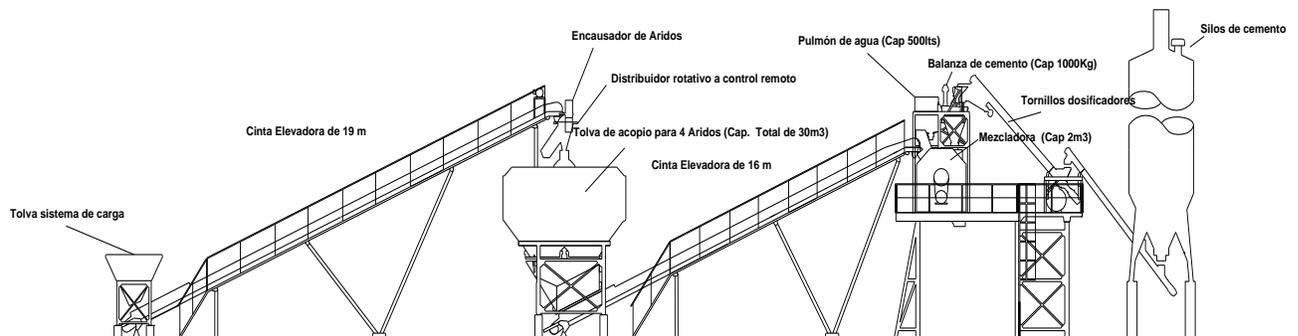


Fig N° 2.2 Planta de elaboración en corte



Fig. Nº 2.3 Cabina de mandos planta elaboradora

### **2.3.2 SILOS DE CEMENTO**

La planta cuenta con dos silos de cemento con capacidad de 80Tn c/u. dos tornillos dosificadores y un micro tornillo de ajuste fino.

### **2.3.3 TOLVAS DE CARGA**

La planta esta equipada con dos tolvas. La primera es una tolva para el sistema de carga. Se cargan los distintos áridos, de a uno por vez, este es llevado por la primer cinta a un distribuidor, que esta sobre la segunda tolva. La segunda tolva es una tolva con capacidad máxima 30tn dividida para cuatro áridos con boquillas dosificadoras. Debajo de esta se encuentra la tolva-balanza que pesa los áridos por peso acumulado.



Fig. Nº 2.4 Tolva de carga

### 2.3.4 CARGADORA FRONTAL

La pala cargadora es una CAT 924F



Fig. Nº 2.5 Cargadora frontal



Marca: Caterpillar  
Modelo: 924F  
Año: 1998  
Motor: Caterpillar de 4 Cilindros Con Vigía  
Potencia: 125 HP  
Peso: 9000Kg  
Balde Común  
Capacidad Balde: 1.5 Mtrs<sup>3</sup> carga nominal 3000Kg.  
Medidas:  
Largo (máximo) 6750mm.  
Ancho (neumáticos inclusive) 2360mm.  
Altura (tope) 3139mm.

### **2.3.5 ACOPIO**

La planta trabaja con cuatro áridos (Arena fina - Arena gruesa - Canto rodado 6/12 - Triturado 6/19). El acopio es un playón de 60m x 55m donde descargan los camiones proveedores.



## 3.1 REQUISITOS DE LOS MATERIALES COMPONENTES

La mayoría de los componentes del hormigón autocompactante son los que se utilizan para la fabricación de hormigones convencionales. Así, por ejemplo, el cemento y los áridos (a excepción del tamaño máximo) no tienen que cumplir requisitos específicos adicionales a los que se exigen para hormigones convencionales de buena calidad.

El aditivo superplastificante es un componente imprescindible para el HAC. Los únicos atípicos del HAC en relación al hormigón convencional son los porcentajes de finos para controlar la viscosidad y conseguir un nivel adecuado de cohesión en la mezcla, y así evitar la segregación.

## 3.2 AGREGADOS

Los áridos usualmente empleados en la fabricación de hormigones convencionales sirven para el HAC.

### 3.2.1 AGREGADO FINO

El trabajo comenzó con dos arenas de Córdoba, una entrefina y la otra gruesa.

En una segunda etapa se reemplazó la arena entrefina por una fina de Santa Fe.

Debo aclarar que todos los áridos finos empleados en el hormigón convencional son adecuados para el HAC. No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza de las arenas empleadas. Pueden utilizarse arenas trituradas o rodadas.

Sobre su distribución de tamaños, es necesario emplear arenas continuas, sin cortes en su granulometría, y preferiblemente sin formas lajosadas. Las granulometrías discontinuas pueden experimentar una mayor fricción interna y producir una reducción del flujo.

Al árido fino le realice los siguientes ensayos: Granulometría, Modulo de fineza, Pasante tamiz 200, Densidad, Absorción de agua, Equivalente arena.



**GRANULOMETRIAS:**

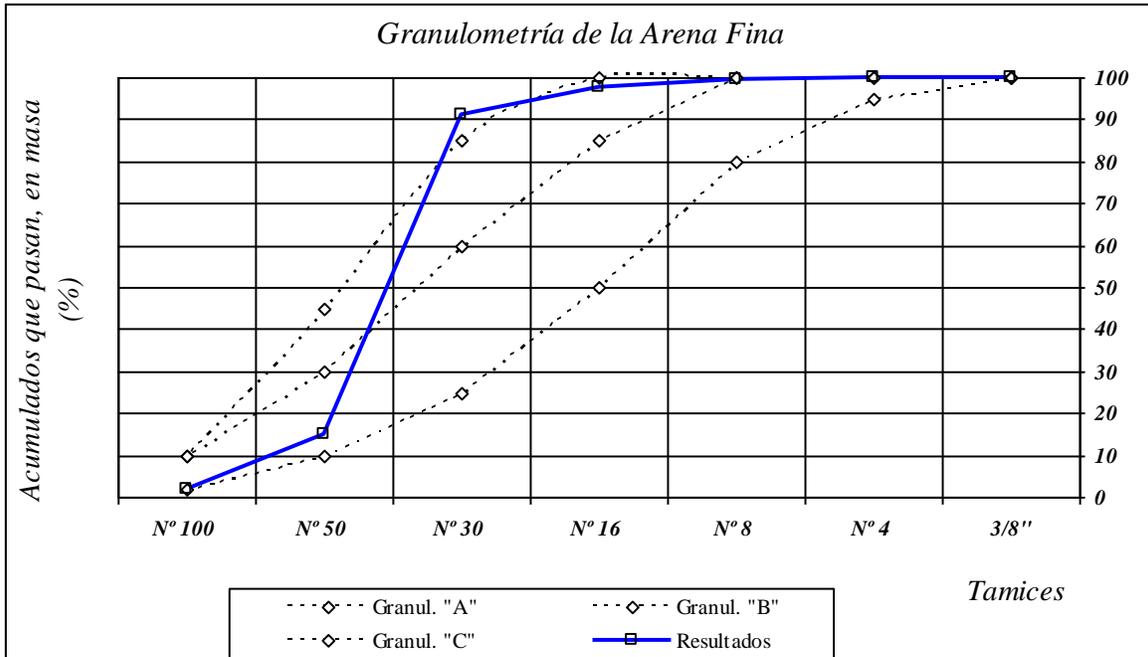


Fig. N° 3.1 Granulometría Arena Fina

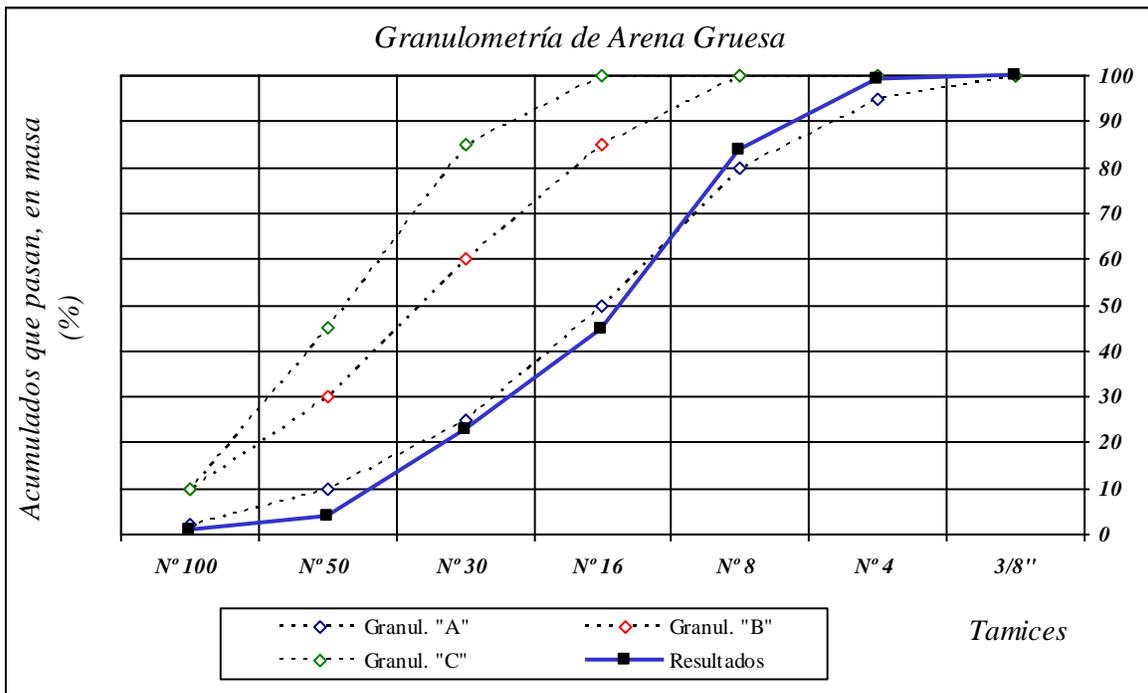


Fig. N° 3.2 Granulometría Arena Gruesa



**AGREGADO FINO**

**MATERIAL:** Arena Fina.

**CANTERA:** Barranca Fighiera S.A.

**GRANULOMETRIA**

**MODULO DE FINEZA**

**FINOS QUE PASAN EL TAMIZ 75 MICRONES**

**DENSIDAD SSS**

**ABSORCION DE AGUA**

Unidad	Resultado	Metodo de Ensayo
Adjunta		Iram 1505
1.95		
g/100g	0.6	Iram 1540
Kg/m3	2620	Iram 1520
%	0.4	

**MATERIAL:** Arena Gruesa.

**CANTERA:** Suquia.

**GRANULOMETRIA**

**MODULO DE FINEZA**

**FINOS QUE PASAN EL TAMIZ 75 MICRONES**

**DENSIDAD SSS**

**ABSORCION DE AGUA**

Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Adjunta		Iram 1505
3.45		
g/100g	1.2	Iram 1540
Kg/m3	2617	Iram 1520
%	0.81	



### 3.2.2 AGREGADO GRUESO

Las mayores exigencias en cuanto a materiales para la confección de hormigón autocompactante están en el árido grueso. A pesar que no existe limitación en cuanto a su naturaleza, sí existen limitaciones en cuanto al tamaño máximo y al coeficiente de forma. El árido grueso que utilizamos es un canto rodado de tamaño máximo nominal de 12mm. Se recomienda como máximo un tamaño máximo nominal de 25mm preferentemente canto rodado.

Al agregado grueso se le realizaron los siguientes ensayos:  
 Granulometría, Modulo de Fineza, pasante tamiz 200, Densidad, Absorción de agua.

#### GRANULOMETRIA:

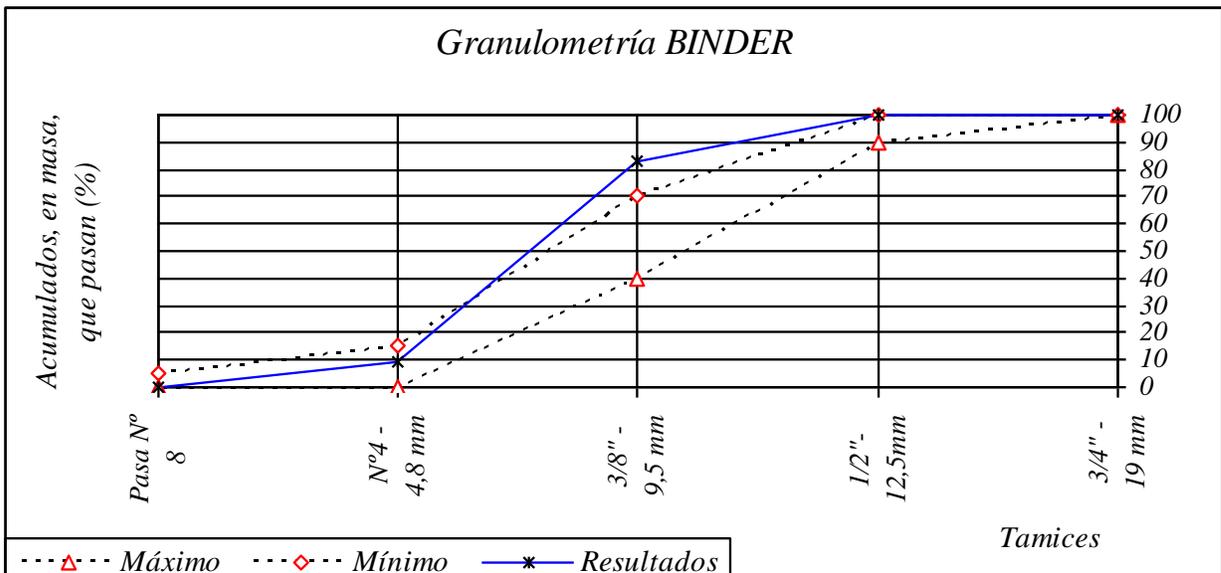


Fig. Nº 3.3 Granulometría Canto rodado 6/12



**AGREGADO GRUESO**

**MATERIAL:** Canto Rod.  
6/12

**CANTERA:** Suquia

**GRANULOMETRIA**

**MODULO DE FINEZA**

**FINOS QUE PASAN EL TAMIZ 75 MICRONES**

**DENSIDAD SSS**

**ABSORCION DE  
AGUA**

Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Adjunta		Iram 1505
6.05		
g/100g	2.5	Iram 1540
Kg/m <sup>3</sup>	2700	Iram 1520
%	0.95	

### 3.3 AGUA

El agua utilizada para la elaboración del hormigón es extraída de una perforación a través de una bomba. Luego se la almacena en una cisterna, desde aquí se eleva hacia un tanque en la planta dosificadora (pulmón de reserva). Desde aquí se la bombea nuevamente hasta un tanque de carga, en la cantidad necesaria controlada por un cuenta pulso intermedio (caudalímetro), de acuerdo a la dosificación que se tenga.

El agua para preparación de mezclas de hormigón debe cumplir los requisitos que establece la norma Iram 1601.

Requisitos químicos analizados por Cequimap:



Ensayos	Técnicas	Resultados	Unidades Medidas	Limites
Cloruro	ASTM D 512 Test Method B	76.3	mg/L	---
Hierro	O.S.N. Ep. 50351-DL-69	ND,LD:0,04	mg/L	<1
Oxigeno consumido	OSN-METODO B IX	2	mg/L	<3
PH	ASTM D 1293 METH. B	7,5	UpH	5,5-8,0
Sólidos disueltos totales	SMEWW-APHA 2540 C Modif	1462	mg/L	---
Sulfato	ASTM 516-90	550	mg/L	<600

Fig. Nº 3.4 Ensayos Físicos-Químicos del agua

### 3.4 ADITIVO

Para lograr la fluidez necesaria que caracteriza al hormigón autocompactable, se necesita un aditivo con gran poder reductor de agua. El aditivo es un componente fundamental en los hormigones autocompactables.

Entre los aditivos que ofrecía el mercado, la solución apuntaba a un superplastificante a base de policarboxilatos.

Los superplastificantes permiten reducir en gran medida el contenido de agua en una mezcla de hormigón sin afectar la consistencia, o aumentar en gran medida la trabajabilidad sin cambiar el contenido de agua, o combinar ambos efectos.

Los aditivos que nos ofreció Sika para este trabajo eran : Viscocrete 6, Viscocrete 20He, Viscocrete 6050.

Después de realizar ensayos comparativos de estos hormigones, el más óptimo resultado ser el viscocrete 20He. Este superplastificante de alto rendimiento combina diferentes mecanismos de acción. La adsorción en la superficie de los finos así como su mejor dispersión durante el proceso de hidratación producen los siguientes efectos:

Pronunciada aptitud de autocompactación.

Reducción importante de agua de amasado, dando hormigones de elevada resistencia y gran impermeabilidad.

Altas resistencias iniciales.

Retarda los efectos de la carbonatación.

Datos técnicos:

Tipo: Policarboxilato modificado en base acuosa.

Aspecto: Liquido poco viscoso color miel.

Densidad: 1.085gr/cm<sup>3</sup>.

Recomendaciones de uso según fabricante.



El viscocrete 20 He se utiliza en la confección de hormigones de altas prestaciones en prefabricación, obras y en centrales de hormigón elaborado.

Los hormigones tratados con viscocrete 20He se caracterizan por su baja relación a/c, una fluidez elevada, así como una cohesión óptima y una gran facilidad de autocompactación.

La importante reducción de agua unida a la elevada fluidez dan lugar a hormigones de muy alta calidad.

Se utiliza en:

- Prefabricación.
- Pavimentos fast-track.
- Muros con encofrados deslizantes.
- Hormigones con una gran reducción de agua.
- Hormigones de altas prestaciones.
- Hormigones de altas resistencias iniciales

Aplicaciones y consumos:

Se añade en el agua de amasado o en la mezcladora al mismo tiempo que el agua. Para aprovechar de manera óptima la gran capacidad de reducción de agua recomiendo un preamasado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo.

Dosificación

Entre 0,5 y el 1,5% del peso de conglomerante, dependiendo de que se emplee como superplastificante o gran reductor de agua. En caso necesario puede aumentarse dicha dosificación.

Adjunto en anexo una ficha técnica del aditivo 20He.

### **3.5 CEMENTO**

El cemento utilizado fue el CPN-40 de Loma Negra de planta Catamarca.

El cual adjunto protocolo de calidad de Loma Negra.



LOMA NEGRA C.I.A.S.A. Planta : CATAMARCA	Protocolo de ensayos			Unidad Proceso y Calidad Fecha: 01-jul-13
<b>CEMENTO PORTLAND NORMAL</b>				
<b>CPN40 - IRAM 50.000</b>				
Semana del 16-06-2013 al 21-06-2013				
<b>ANÁLISIS QUÍMICO</b>	<b>UM</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>Requisito IRAM</b>	
Pérdida por calcinación (PPC)	%	2,90	< 5	
Tróxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	%	2,78	< 3,5	
Oxido de magnesio (MgO)	%	1,27	< 5	
Oxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	%	21,84	no hay	
Oxido de calcio (CaO)	%	61,23	no hay	
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	3,62	no hay	
Oxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	4,90	no hay	
Oxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	%	0,97	no hay	
Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	%	0,78	no hay	
Oxido de Sodio equivalente (Na <sub>2</sub> O + 0,656 K <sub>2</sub> O)	%	1,64	no hay	
Residuo insoluble	%	1,82	< 5	
<b>ENSAYOS FÍSICOS</b>	<b>UM</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>Requisito IRAM</b>	
Granido (mód: 75 µm)	%	4,2	< 7,5	
Superficie específica (Blaine)	m <sup>2</sup> /kg	320	> 250	
Expansión en autoclave	%	0,00	< 1	
Tiempo de fraguado inicial	h:min	00:00	> 00:45	
Tiempo de fraguado final	h:min	04:00	< 10:00	
<b>CEMENTO PORTLAND - CPN40</b>				
<b>RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN*</b>				
<b>SEMANA</b>	<b>DÍAS</b>	<b>UM</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>Requisito IRAM</b>
16-06-2013 al 21-06-2013	2	MPa	24,6	> 20
16-06-2013 al 16-06-2013	7	MPa	39,4	no hay
20-06-2013 al 25-06-2013	28	MPa	45,7	> 40 y < 60
<p>Los resultados de los ensayos mostrados en esta planilla corresponden al promedio aritmético de los resultados parciales obtenidos sobre muestras de conjuntos diarios del cemento despaquetado la semana que se indica en cada caso.</p> <p>* Los ensayos de resistencia son realizados con Arena de Origen Alemán DIN EN 1261. La misma arena es utilizada por el ensayo de control INTI - CONSTRUCCIONES</p>				
Aprobó:  Horacio Moriconi Ude U. P. y Calidad				



## COMPOSICION DE LA MEZCLA

### 4.1 GENERAL

El hormigón autocompactante, a diferencia del hormigón convencional, necesita un diseño inicial más exhaustivo y cuidadoso de la mezcla, esto se debe a que se garantiza, no sólo las prestaciones de resistencia y durabilidad necesarias, sino la característica de colarse y compactarse por sí mismo, sin ayuda externa. Por lo tanto, el proceso de dosificación del hormigón autocompactante comprende mayor exactitud y cuidado que el llevado a cabo en el hormigón convencional, lo que conlleva la necesidad de un cambio de mentalidad en el campo de la construcción.

Los requisitos que debe cumplir un HAC son alta fluidez, falta de segregación y bajo riesgo de bloqueo, y tales requisitos se alcanzan aportando a la mezcla de hormigón un alto volumen de finos que le permita una excelente fluidez sin segregación, un bajo volumen de áridos gruesos para evitar el bloqueo entre las armaduras, una baja relación agua/finos y el uso de plastificantes de última generación. Todos los componentes de la mezcla influyen en las características del hormigón, y la diversidad de estos componentes dentro del mercado hace difícil la determinación de un tipo o dosificación de materiales para los HAC.

### 4.2 COMPOSICION INICIAL DE LA MEZCLA

Los criterios de dosificación que se proponen para los hormigones autocompactantes se pueden clasificar en dos grupos: los que se guían por referencias más o menos generales fijando las proporciones definitivas mediante ensayos de laboratorio y los que siguen métodos de dosificación específicos para aproximar las dosificaciones. El primer caso es el más utilizado. En este trabajo aplique los dos grupos.

Dosificación basada en referencias

Esta forma de dosificar está basada en referencias surgidas de la experiencia.

En general, todas las mezclas posibles de HAC deben tener un contenido total de finos (es decir, el cemento y adiciones) alto, en el rango de 400-600kg/m<sup>3</sup> y un contenido de cemento entre 200 y 400kg/m<sup>3</sup>, aunque algunos autores consideran que el contenido mínimo de cemento debe ser de 350kg/m<sup>3</sup>.

La alta dosificación de finos es necesaria por la viscosidad y cohesión moderadas que deben existir en la pasta para evitar la segregación de los áridos y disminuir el rozamiento entre los áridos gruesos.



## **DOSIFICACIONES A TRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS**

Los métodos de dosificación de mezclas para HAC difieren de los métodos tradicionales empleados en el hormigón, estando fundamentados en una base esencialmente empírica. Los métodos más conocidos son el de Okamura, el de la Universidad Politécnica de Cataluña, el recomendado por la JSCE (Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles), el de LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) de París y el de CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute). De entre estos, a continuación, se exponen las directrices principales contempladas en los métodos de dosificación más importantes:

### **MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE OKAMURA**

Este método es propuesto por Okamura en 1993 siendo modificado posteriormente por varios autores. Probablemente es el primer método nacido específicamente para la dosificación de hormigón autocompactante. Para aplicar este método se considera el hormigón como un material de dos componentes: árido grueso y mortero. En primer lugar, se fija el contenido de aire, que debe estar en un intervalo de 2 a 7%, dependiendo de la resistencia necesaria frente al hielo-deshielo. Se fija el volumen de áridos gruesos en el 50% del volumen sólido del hormigón y se calcula el peso del árido grueso por m<sup>3</sup> de hormigón utilizando la densidad aparente del mismo. Posteriormente, se determina el volumen de mortero (pasta de cemento y áridos finos), considerando que el árido fino ocupa el 40% del volumen del mismo. Para terminar la dosificación se obtiene la relación a/c y la dosis de superplastificante, que según este método se ajustan a partir de ensayos sobre el mortero, en los cuales se consigue la fluidez y la viscosidad requerida variando la dosis de superplastificante y la relación a/c. Una vez ajustada la dosificación se realizan los siguientes ensayos para determinar si el hormigón realizado se corresponde con un hormigón autocompactante: Se evalúa la fluidez del mortero mediante un embudo, midiendo el tiempo de flujo en segundos. Este tiempo de flujo debería estar entre 7 y 11 segundos. Se determina la viscosidad mediante la determinación del escurrimiento del mortero utilizando un cono con diámetro inferior de 100mm, altura de 60mm y diámetro superior de 70mm. El diámetro de la extensión final debe estar entre 24 y 26cm. Una vez realizados estos dos ensayos, si los resultados se encuentran dentro de los intervalos establecidos el hormigón es autocompactante. En la Tabla 4-1 se pueden observar los datos principales que resumen el método de dosificación de Okamura.



TABLA RESUMEN				
MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE OKAMURA				
Contenido de aire	Volumen de áridos gruesos	Volumen de árido fino	Relación a/c	Dosis de superplastificante
2-7%	50% del volumen sólido de hormigón	40% del volumen de mortero	Mediante ensayos	Mediante ensayos
ENSAYOS				
	Se mide...		Valores límite	
Embudo	Tiempo de flujo		7-11 seg.	
Cono	Diámetro de la extensión final del mortero		24-26cm	

Fig. N° 4.1 Resumen método de dosificación de Okamura

Siguiendo el método de dosificación de Okamura realice la siguiente dosificación:

- 1) El volumen de aire en un principio lo tome como 3%, luego de realizar el primer pastón se ajusto el valor teórico al valor real.
  - 2) Fije el volumen del árido grueso por  $m^3$  al 50%.
  - 3) El porcentaje de árido fino en un 40% del mortero (en volumen).
  - 4) Determine la relación a/c y dosis de súper-plastificante a través del embudo y el cono. Este punto es el más importante ya que nos mide la fluidez y viscosidad de nuestro futuro hormigón. Se probó distintas relaciones a/c, distintas dosis de aditivo y distintos porcentajes de arenas (a. fina / a. gruesa). Una vez que se determina la dosis justa de los materiales componentes del mortero. Queda componer el hormigón con todos los pasos anteriores.
- Ensayo de Cono:

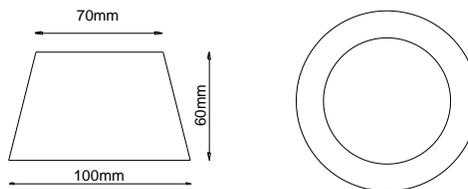


Fig. N° 4.2 Cono de fluidez



%Arid. Fino Total	%A. Fina	%A. Gruesa	a/c	C.U.C Kg/m <sup>3</sup>	AF grs.	AG grs.	Cto. grs.	Agua grs.	Aditivo grs.	Ext. cm	Observaciones
0.5	0.41	0.59	0.35	440	540	790	660	231	6.60	17	Exuda un poco
0.5	0.41	0.59	0.40	440	530	760	660	264	5.30	17	Mejoro un poco la exudación
0.5	0.60	0.40	0.40	440	770	520	660	264	5.30	15	Mejoro mas
0.5	0.60	0.40	0.40	440	770	520	660	264	6.80	24	OK
0.5	0.60	0.40	0.40	440	770	520	660	264	6.00	13	Demasiado viscoso
0.5	0.60	0.40	0.43	440	760	510	660	284	6.00	22	Exuda un poco

Tabla N° 4.1 ensayos de fluidez

Nomenclatura:

A. Fina / A. F : Arena Fina

A. Gruesa/ A.G.: Arena Gruesa

a/c: Relación Agua cemento

C.U.C.: Contenido unitario de cemento



Materiales utilizados:



Fig. Nº 4.3 Materiales utilizados

Cono y extendido ideal:

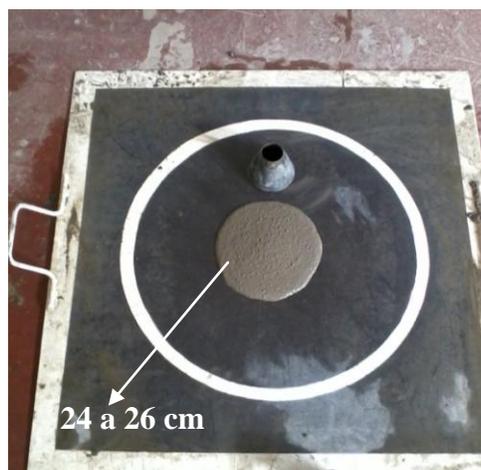


Fig. Nº 4.4 Extendido ideal



1) Dosificación por el método de Okamura:

**Resist. a compr. a 28 días (MPa)** 42  
**Tamaño máx. del agregado grueso (mm)** 12.0

<b>a</b>	=	176	<b>C</b>	=	440
<b>a/c</b>	=	0.40	<b>Agr Grueso</b>	=	883
<b>s</b>	=	0.5	<b>Agr Fino</b>	=	858
<b>Pasta</b>	=	616	<b>Agr Total</b>	=	1741

Material	Tipo	Origen	Densidad	Part %	Volumen (dm3)	Peso (kg)
6/19	Triturado	El Gran Ombú	2.84	0.00	0.0	0
6/12	Canto Rodado	Suquía	2.70	1.00	327.1	883
ARENA	Gruesa	Suquía	2.63	0.40	130.8	344
	Fina	Barrancas	2.62	0.60	196.3	514
CEMENTO	CPN	Loma Negra	3.13	-	140.6	440
AGUA	-----	POZO	1.00	-	176.0	176
	SP *	Viscocrete 20He	1.09	1.05	4.2	4.62
ADITIVO	-	-	1.00	0.00	0.0	0.00
	-	-	1.00	0.00	0.0	0.00
AIRE	-	-	-	2.50	25.0	-
<b>TOTAL</b>					<b>1000</b>	<b>2362</b>

\*El aditivo esta diluido 50% agua 50% aditivo (para una mejor distribución en la planta y disminuir las tolerancias en la planta elaboradora).

#### Método de dosificación UPC

Este método es el desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña se basa en un procedimiento fundamentado en una optimización separada de la composición de la pasta y del esqueleto granular del árido. La pasta está constituida por cemento, filler, agua y superplastificante, mientras que el esqueleto granular es la relación óptima entre arena y grava que proporciona la máxima compacidad en seco y sin compactar. En la siguiente figura (Fig.4.4 ) se visualiza el procedimiento que sigue este método para elaborar la dosificación del hormigón autocompactante.

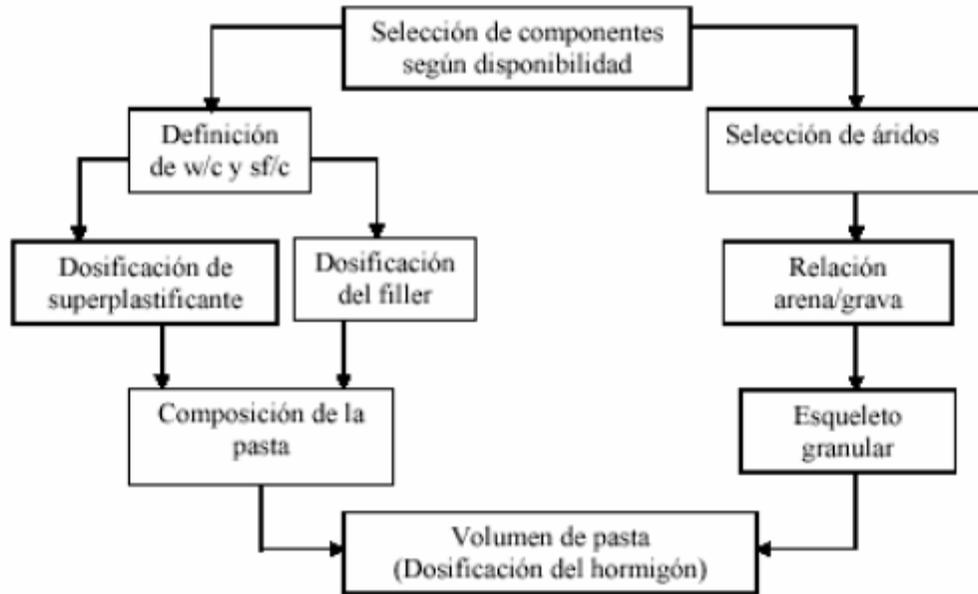


Fig. N° 4.5 Procedimiento de dosificación

Según el esquema anterior por un lado se realiza la composición de la pasta y por otro lado el esqueleto granular, una vez elaborado estas dos mezclas por separado se procede a su unión obteniendo como resultado la dosificación del hormigón que se buscaba. La relación agua-cemento la fije inicialmente en el límite superior de 0,41. Asimismo, para el esqueleto granular adopte un tamaño máximo del árido de 12mm. El cemento utilizado nuevamente es el CPN-40 de Loma Negra.

**Definición de la composición de la pasta**

La composición de la pasta quedo definida por la cantidad de cemento y las relaciones  $a/c$ ,  $sp/c$ . Tal como se ha expuesto anteriormente, para un hormigón de alta resistencia, se fija inicialmente el límite superior de la  $a/c$  en 0,41. En consecuencia, los parámetros a determinar en este caso son las relaciones  $sp/c$ . La dosificación de superplastificante se determina mediante el ensayo del cono de Marsh con apertura de salida de 8mm. Este procedimiento consiste en introducir 1litro de pasta en el cono y medir el tiempo (T) que tarda en fluir por la apertura inferior del cono. Este tiempo se llama el tiempo de flujo y se adopta como una medida inversa de la fluidez de la pasta, es decir cuanto menor sea el tiempo de flujo mayor será la fluidez de la pasta. Si se varía la relación  $sp/c$  (superplastificante/cemento) se obtiene la curva  $\log(T)-sp/c$ , que se visualiza en la figura 4-5 siguiente. Hay que tener en cuenta que en la relación  $sp/c$  sólo se tiene en cuenta el contenido sólido del cemento, teniéndose en cuenta el agua contenida en él, en la relación  $a/c$ .

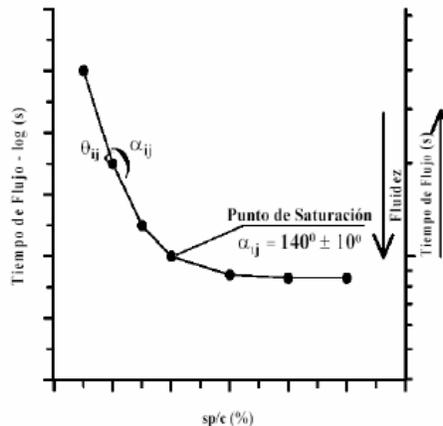


Fig 4.6 Procedimiento para definir el punto de saturación del superplastificante

La gráfica  $\log(T)$ -sp/c está compuesta de un eje coordenadas formado por el eje de abscisas en el que se representa la relación sp/c en tanto por ciento y un eje de ordenadas en el que se representa el tiempo de flujo-log medido en segundos.

Se puede observar que a medida que se aumenta el valor de la relación de sp/c disminuye el tiempo de flujo hasta llegar a un punto en el que el tiempo de flujo permanece constante a pesar de que se aumente la relación sp/c. Además como ya se ha explicado antes, en la gráfica se representa la relación inversa existente entre el tiempo de flujo y la fluidez de la pasta, es decir, que a medida que disminuye el tiempo de flujo aumenta la fluidez de la pasta. Ésta se utiliza para la definición del punto de saturación del superplastificante, que constituye el porcentaje óptimo de aditivo para la pasta considerada. Este punto de saturación se entiende como la relación sp/c para la cual un incremento en la dosificación de superplastificante no provoca mejoras significativas en la fluidez de la mezcla.

El ensayo lo realice con distintas relaciones agua/cemento de 0.38 a 0.44 y en distintas dosis de aditivo Viscocrete 20He.

En las siguientes fotografías (Fig. 4.8- 4.9) se visualizan los resultados de una aplicación práctica del método.



Fig. N° 4.7 (Cono de Marsh)

Distintas relaciones agua cemento y distintas dosis de viscoconcreto 20He.



Fig. N° 4.8 Mezclas distintas relaciones a/c

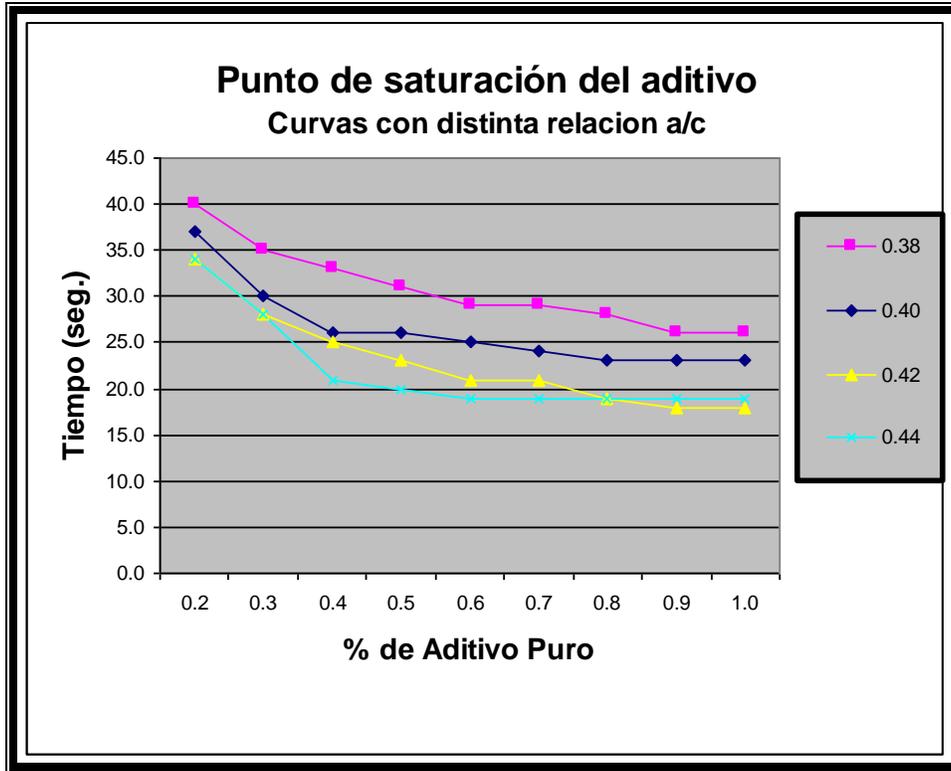


Fig. N° 4.9 Punto de saturación del aditivo

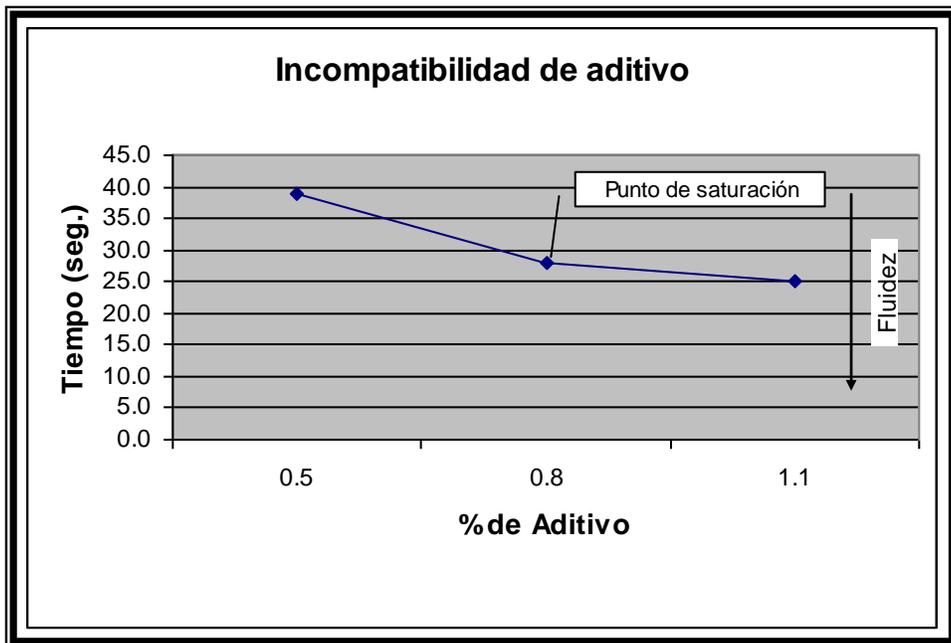


Fig. 4.10 Punto de saturación del aditivo



Como conclusión de los reiterados ensayos y pruebas con distintas relaciones a/c el porcentaje mas optimo es entre 0.5 y 0.8 % de aditivo. Las recomendaciones de dosificación de sika para este aditivo es de 0.5 a 1.5 % por lo que estoy dentro del rango sugerido.

La utilización del cono de Marsh me permitió obtener, las relaciones sp/c dando lugar a mezclas con una fluidez máxima sin segregación, con un alto nivel de cohesión interna que no perjudique significativamente la fluidez del material.

#### Definición del esqueleto granular

La composición del esqueleto granular en términos de la relación arena/grava, la determine según el criterio de máxima compacidad en seco y sin compactar, a efectos de propiciar el mínimo contenido de huecos en el mismo. El ensayo consiste en rellenar un recipiente con una mezcla seca correspondiente a una determinada relación arena/grava. A partir de las densidades y pesos de los componentes se determina el peso unitario de la mezcla y el contenido de vacíos. El ensayo lo realice para distintas relaciones arena/grava, obteniéndose la relación que da el esqueleto granular de máxima compacidad o mínimo volumen de huecos.

La mezcla de las arenas es 45% de A. Fina y 55% de A. Gruesa con un Modulo de Fineza total de 2.77.

<b>% Arena</b>	<b>P.U.S</b>
<b>45</b>	1850
<b>48</b>	1870
<b>51</b>	1900
<b>54</b>	1882
<b>57</b>	1850

Tabla Nº 4.2 Composición del esqueleto granular

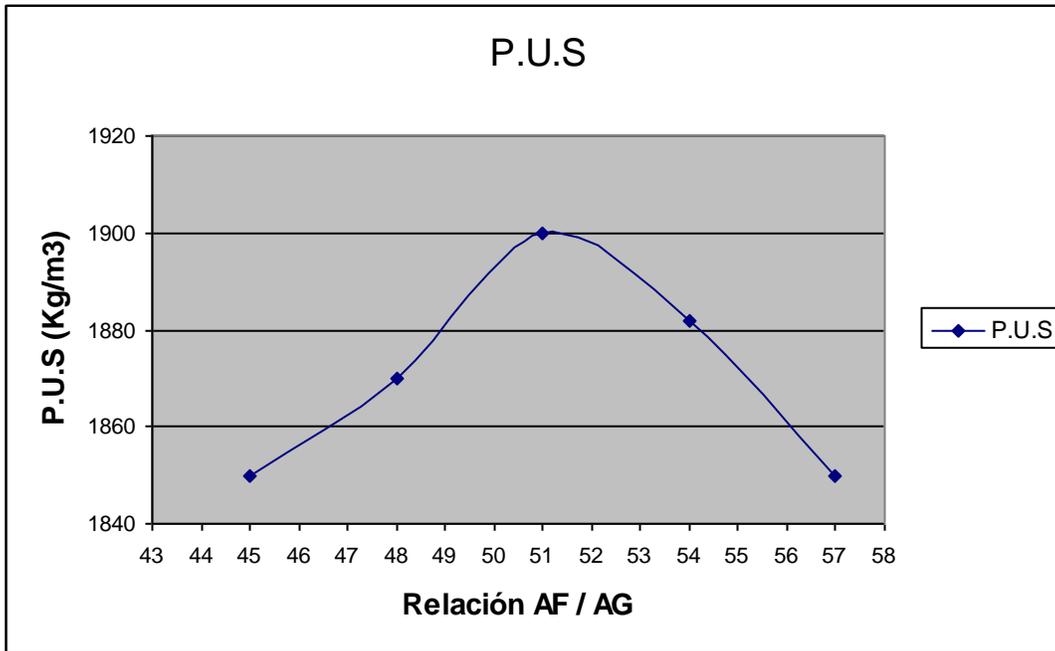


Fig. N° 4.11 Peso unitario suelto

#### Optimización del contenido de pasta y dosificación del hormigón

Una vez determinada la composición de la pasta y la relación arena/grava del hormigón se determina el contenido óptimo de pasta (en volumen) necesario para satisfacer los requisitos de resistencia y autocompactabilidad exigidos al hormigón.

En función de estos requisitos se fabrican hormigones con diferentes contenidos de pasta, determinándose el contenido óptimo de la misma frente a cada aplicación; en este sentido, el contenido mínimo de pasta debe rellenar los huecos que hay en el esqueleto granular, proporcionando la autocompactabilidad en el estado fresco y la resistencia a compresión en estado endurecido impuestas por las condiciones de contorno de cada aplicación. Las características que confieren la autocompactabilidad al hormigón en estado fresco se evaluarán mediante ensayos, tratándose posteriormente los resultados de los mismos con el fin de aceptar o rechazar el hormigón como autocompactante en base a unos criterios establecidos.

Después de un par de pastones de prueba la dosificación más óptima en cuanto a la capacidad de relleno (**fluidez**), resistencia a la segregación (**estabilidad**) y resistencia al paso (**bloqueo por armadura**) fue:





### 4.3 AJUSTE DE LA MEZCLA – PASTONES DE PRUEBAS.

Los dos métodos de dosificación anteriores nos dieron dosificaciones bastantes aproximadas con un buen comportamiento a la autocompactabilidad. Se ajustaron un poco los porcentajes de aditivo, se modificaron los porcentajes de las arenas, se probaron distintas relaciones “a/c”. Y así se lograron unas correctas dosificaciones. Para los ajustes se utilizó métodos empíricos y las siguientes recomendaciones:

Possible acción	Capacidad de relleno	Capacidad de paso	Resistencia a la segregación	Resistencia Mecánica	Retracción	Fluencia
<b>Viscosidad demasiado alta</b>						
Aumento del contenido de agua	+	+	-	-	-	-
Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
Aumento del superplastificante	+	+	-	+	*	*
<b>Viscosidad demasiado baja</b>						
Reducción contenido de agua	-	-	+	+	+	+
Reducción del volumen de pasta	-	-	-	-	+	+
Reducción del superplastificante	-	-	+	-	*	*
Uso de polvo más fino	+	+	+	*	-	-
Uso de arena más fina	+	+	+	*	-	*
Aumento del contenido de agua	+	+	-	+	*	*
Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
Aumento del superplastificante	+	+	+	+	-	-
<b>Segregación</b>						
Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
Aumento volumen de mortero	+	+	+	+	-	-
Reducción contenido de agua	-	-	+	+	+	+
Uso de polvo más fino	+	+	+	*	-	-
<b>Bloqueo</b>						
Reducción del tamaño máximo de árido	+	+	+	-	-	-
Aumento del volumen de pasta	+	+	+	+	-	-
Aumento del volumen de mortero	+	+	+	+	-	-

"+" Suele tener mejor resultado para el hormigón

"-" Suele tener peor resultado para el hormigón

"\*" No suele tener un resultado muy significativo



#### **4.4 ENSAYOS SOBRE LOS PASTONES DE PRUEBA.**

Las características a evaluar son las siguientes: La fluidez o habilidad de fluir se evalúa mediante los ensayos de extensión de flujo y el ensayo del embudo-V. Los requisitos para la extensión de flujo son un diámetro final de 60-70cm y un tiempo de  $5\pm 2$  segundos para alcanzar un diámetro de 50cm (denominado como  $T_{50}$ ). Para el ensayo del embudo-V, el tiempo de flujo recomendado es de  $10\pm 3$  segundos. La habilidad o facilidad de pasar entre armaduras se valora a través del ensayo de la caja en L. El espaciamiento y la cantidad del refuerzo se definen dependiendo del tamaño máximo del árido y/o de las condiciones reales de aplicación del hormigón. Una vez rellenado el depósito vertical con el hormigón, se abre la puerta y se miden las alturas ( $h_1$  y  $h_2$ ) del hormigón en los dos extremos del canal horizontal con la mezcla en reposo. La razón  $h_2/h_1$  define el denominado factor de bloqueo (designado por FB); el requisito recomendado es un FB igual o mayor que 0,80. Estos ensayos se verán más detalladamente en el Capítulo V.



## 5.1 ENSAYOS.

### 5.1.1 SOBRE EL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO.

El adecuado comportamiento del hormigón autocompactable en estado fresco exige que las mezclas tengan una alta fluidez con suficiente viscosidad y cohesión entre los componentes, para garantizar un flujo continuo y uniforme en toda la masa, sin producir segregación ni bloqueo del hormigón entre las armaduras.

Por ello las tres propiedades que caracterizan al HAC en estado fresco, o los tres requisitos principales de autocompactabilidad son:

- Alta fluidez o habilidad para fluir dentro del encofrado y rellenarlo bajo su propio peso.
- Habilidad de pasar a través del espacio entre la armadura.
- Estabilidad frente a la segregación de sus componentes.

Para evaluar estas propiedades tan importantes del HAC utilizamos los siguientes ensayos ( $T_{50}$ , embudo V, caja L-box). Los cuales se explican a continuación.

Como el hormigón autocompactable se caracteriza por su alta fluidez, el cono de Abrams deja de ser válido, para ser reemplazado por el ensayo de extendido o extensión del flujo ( $T_{50}$ ). El cual se utiliza el mismo cono, para evaluar la fluidez y la estabilidad.

Para este ensayo se fabricó una chapa de 90cm cuadrados con un círculo de diámetro 50 cm. (figura N° 5.1)

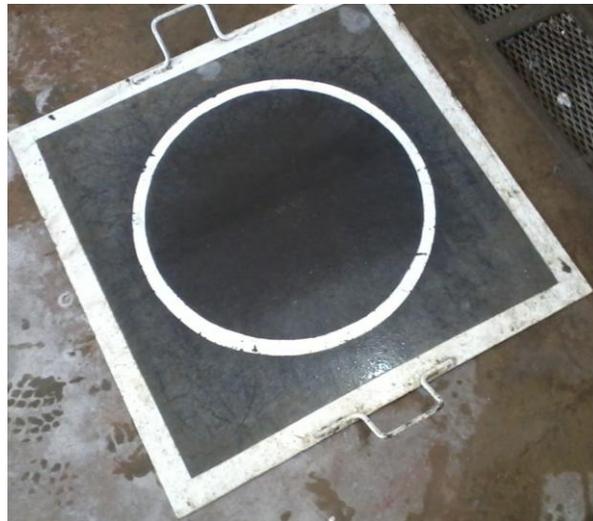


Fig. N° 5.1 Chapa ensayo de extendido



Este ensayo difiere del cono de Abrams convencional, en que la muestra de hormigón se coloca sin ningún tipo de compactación. Además, en este caso la altura del asentamiento no constituye una medida representativa, siendo el diámetro final de extensión ( $D_p$ ) la medida fundamental que se obtiene como resultado.

Adicionalmente, también suele medirse el tiempo que tarda la muestra desde el inicio del levantamiento del cono hasta alcanzar un diámetro de 500 mm ( $T_{50}$ ).

Fotografía del ensayo:



Fig. Nº 5.2 Ensayo de extendido



Fig. Nº 5.3 Ensayo de extendido



Fig. N° 5.4 control visual de estabilidad de la mezcla



Fig. N° 5.5 Extendido en movimiento

El objetivo de este ensayo es evaluar la habilidad o facilidad de fluir del hormigón. Se puede también valorar cualitativamente, en términos visuales, la presencia de segregación, que se manifestaría por la presencia de una aureola de pasta o mortero alrededor del perímetro de la extensión del flujo y/o la presencia de áridos gruesos acumulados irregularmente, sobre todo en el centro.

En las figuras siguientes se muestra un hormigón estable sin segregación (Fig. N° 5.6) Y unos hormigones segregados (Fig N° 5.7 y 5.8. )



Fig. N° 5.6 Extendido sin segregar



Fig. N° 5.7 Extendido segregado



Fig. N° 5.8 Extendido segregado

El valor de la extensión de flujo,  $D_f$ , es útil para evaluar la capacidad de deformación del hormigón autocompactable. Se recomiendan medidas de  $D_f$  entre 60 y 75 cm, presentando las mezclas en ese rango una buena habilidad o facilidad para el relleno.

El  $T_{50}$  se emplea para caracterizar la viscosidad y cohesión. En general, mayor tiempo significa mayor viscosidad y cohesión del hormigón. En cuanto a los valores de  $T_{50}$ , se sugieren que un tiempo de 3-7 segundos es aceptable. En nuestro caso como evalué la forma más práctica de elaborar un HAC, sin adición de filler y utilizando los materiales comunes de planta el tiempo aproximado fue de 6 seg., sin segregación.

Otro ensayo para evaluar la fluidez es el Embudo – V, ensayo denominado *V-funnel* en inglés, fue desarrollado por Ozawa en la Universidad de Tokio. Estudios experimentales pusieron de manifiesto que el flujo de hormigón por un embudo, al ir reduciendo la sección



transversal de la salida aumentaba el riesgo de bloqueo por el contacto entre los áridos gruesos, siendo un indicativo de la necesidad de mejorar la viscosidad. El ensayo tiene por tanto como objetivo evaluar la habilidad de fluir del hormigón en áreas restringidas en dirección vertical y bajo su propio peso, cualificando la tendencia a la segregación y al bloqueo, mediante observación de la variación de la velocidad de flujo. Para este ensayo tuve que hacer fabricar el dispositivo en chapa plegada. Este dispositivo está diseñado de la siguiente manera:

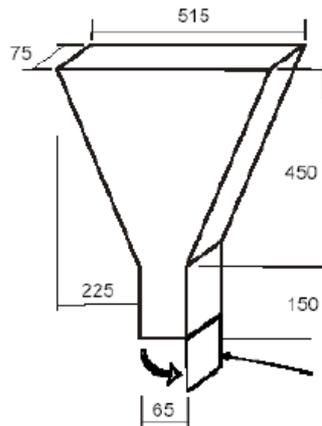


Fig Nº 5.9 Embudo en V (medidas en mm)

El procedimiento del ensayo es: Limpiar el embudo y la compuerta inferior, humedecer toda la superficie interior incluyendo la compuerta. Cerrar la compuerta y poner la muestra de hormigón en el embudo (como se muestra en la Fig 5.10), sin compactación alguna, después enrasar la parte superior con la barra metálica, igualando la superficie del hormigón a la parte superior del embudo. Poner el recipiente debajo del embudo para recoger el hormigón en su caída. Pasados  $10 \pm 2$  s del llenado del embudo, abrir la compuerta y tomar el tiempo  $t_v$  con una resolución de 0,1 s, desde el inicio de la apertura de la compuerta y hasta que se pueda ver por primera vez verticalmente a través del embudo el interior del recipiente.



Fig. Nº 5.10 Ensayo de embudo en V



El tiempo de flujo en segundos ( $t_f$ ) es la principal medida obtenida de este ensayo. Es aconsejable medir el tiempo de flujo al menos 2 veces en menos de 5 minutos, y obtener la media. Los tiempos de flujo óptimos se mueven de 6 a 12 seg.

Se puede observar la naturaleza del flujo del hormigón a través del fondo para tener una idea del bloqueo producido. Respecto a la estabilidad, un flujo continuo sin interrupción se traduce en ausencia de segregación y/o bloqueo.

Este método se ha mostrado eficiente para evaluar la habilidad de fluir del hormigón en áreas restringidas en la dirección vertical. Sin embargo, el ensayo no puede cualificar bien la tendencia a la segregación y bloqueo entre las armaduras. Asimismo, el resultado no refleja la habilidad de fluir en dirección horizontal o contraria a la gravedad. Por lo tanto, el tiempo de flujo obtenido en este ensayo no es suficiente para cuantificar las propiedades necesarias que garanticen las prestaciones del hormigón como autocompactable, por lo que deberá ser complementado con otros ensayos.

Debido a que necesitaba conocer el comportamiento o habilidad para fluir en la dirección horizontal y su comportamiento frente al bloqueo. Hice fabricar una caja “L-box” (Fig 5.11) Este es un ensayo que me permite evaluar conjuntamente la capacidad de llenado pasando de la rama vertical a la horizontal, la capacidad para sortear obstáculos, la resistencia a la segregación y la capacidad de auto nivelación de la mezcla.

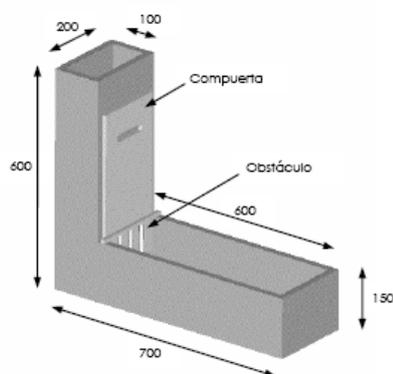


Fig. N° 5.11 Caja L - Box

El equipo posee un depósito vertical que se conecta con un canal horizontal a través de una abertura, en la que se colocan barras de armadura como obstáculo.

El ensayo consiste en llenar el depósito vertical y dejar fluir el hormigón hacia el canal a través de las armaduras. Se determinan el tiempo que tarda el hormigón en llegar a una distancia de 200 mm ( $T_{20}$ ) y de 400 mm ( $T_{40}$ ), y las alturas  $H_1$  y  $H_2$  que se alcanzan en ambos extremos de la parte horizontal, con la mezcla ya en reposo. La razón  $H_2/H_1$  se define como el coeficiente de bloqueo (FB).

La prueba permite determinar valores que cuantifican el bloqueo y estimar la fluidez del hormigón tras pasar por los obstáculos. Estos obstáculos son de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado y de la densidad de armadura de la estructura a hormigonar.

Yo dispuse 3 barras de diámetro 12mm c/ 35mm de espacio libre entre barras.



Los tiempos medidos en la caja en L (es decir,  $T_{20}$  y  $T_{40}$ ) cuantifican la velocidad de flujo a través de la barrera. No obstante, cabe reseñar que estos tiempos no son representativos de la fluidez del hormigón cuando ocurren efectos de bloqueo, resultando que las mezclas que atraviesan la armadura tienen más pasta que el hormigón retenido en la caja. Para un hormigón en el que no se presente bloqueo se recomiendan tiempos en los siguientes rangos:  $T_{20} < 1,5$  s y  $T_{40} < 2,5$  s

Por otro lado, el coeficiente de bloqueo ( $FB = h_2/h_1$ ), es un buen indicador de la habilidad para pasar por aperturas estrechas, que incluye la capacidad de deformación y la resistencia al bloqueo. Debería ser superior a 0,80 para que se considere satisfactoria la resistencia al bloqueo del hormigón.

La práctica de este ensayo hace dejar de lado los tiempos T20 y T40 ya que son muy relativos por la percepción y reacción del operador. Si es un valor importante desde mi punto de vista el FB.

$$FB = h_2/h_1$$

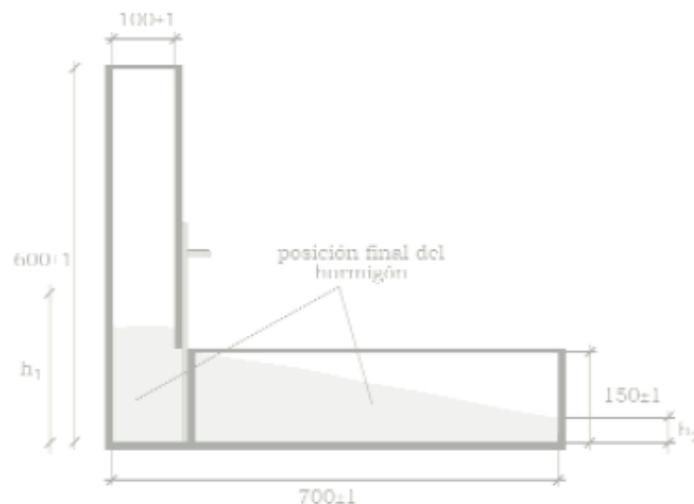


Fig Nº 5.12 Dimensiones Caja L- Box en mm



Resultados de los ensayos sobre los pastones propuestos:

Ensayos sobre el Hº		Pastón Nº 1	Pastón Nº 2	Márgenes Habituales	
				Mínimo	Máximo
Extensión	Flujo por cono (mm)	750	700	600	800
	Flujo de asentamiento $t_{50}$ (seg.)	4.5	5.5	2	5
Embudo en V	Tv (seg.)	8	8.5	6	12
Caja "L-box"	h2/h1	0.9	0.8	0.8	1
	T20	1.5	1.7	Es muy difícil de medir	
	T40	2.5	3		

Tabla Nº 5.1 Resumen de ensayos sobre hormigón en estado fresco.

Además de estos ensayos que son propios del autocompactable, utilice la norma Iram 1666 para determinar la uniformidad del hormigón. Controlando el aire incorporado y la densidad del hormigón.

### 5.1.2 SOBRE EL HORMIGON EN ESTADO ENDURECIDO.

Sobre el hormigón en estado endurecido, se determinó la característica más importante que es la resistencia a compresión simple. El moldeado de las probetas se realizó bajo la norma Iram 1524 "Preparación y curado de probetas para ensayos de compresión".

El ensayo a compresión simple se realizó bajo los lineamientos de la norma Iram.

El encabezado se realizó con placas de elastómero Iram 1709.

La prensa es una Cosacov de accionamiento manual y display electrónico de carga y tensión.

Como en el hormigón autocompactable las probetas no se compactan como en el hormigón tradicional, se realizó una comparación de resistencia en un juego de 8 probetas cilíndricas de 10x20. Cuatro compactadas y cuatro sin compactar. Se las ensayó a compresión simple a edades de 7, 14 y 28 días. Los resultados se ven en la siguiente fig. 5.13.

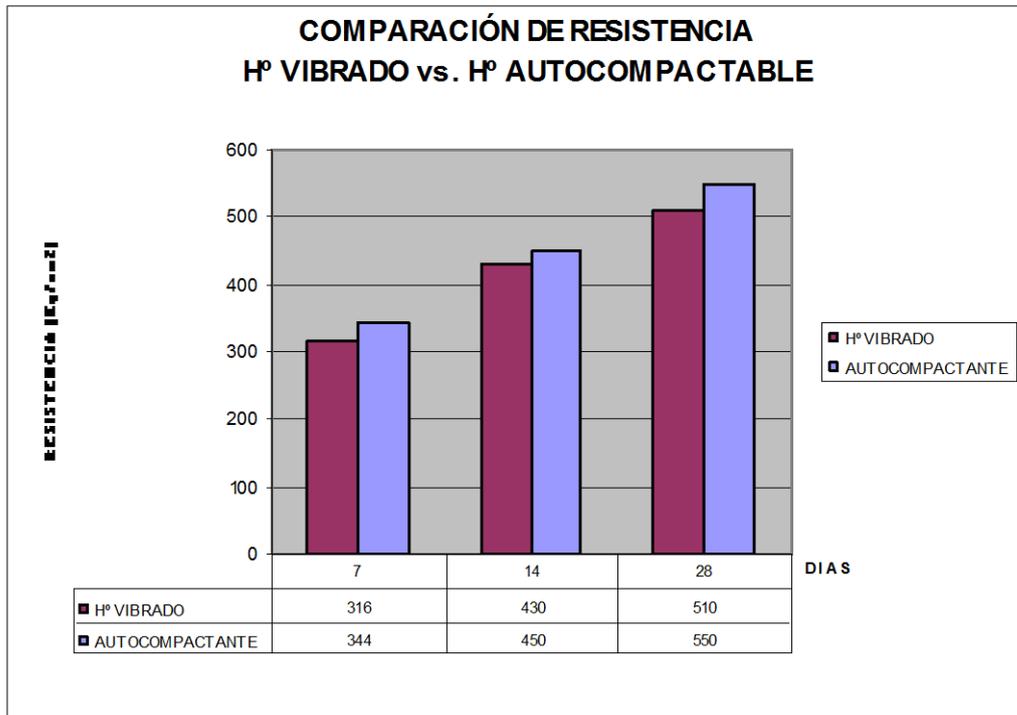


Fig. 5.13 Comparativo de resistencia a compresión simple HAC con tradicional  
 Para comprobar la distribución de los agregados en el interior de la probeta sin compactar. Se ensayó una probeta a compresión diametral, y comprobé que la distribución es perfectamente uniforme como se puede observar en la siguiente fotografía. (fig.5.14)



Fig. N° 5.14

Distribución de los áridos en el HAC

## 5.2 RESISTENCIA EN FUNCION DEL TIEMPO.

Al igual que el resto de los hormigones, en los HAC la resistencia a compresión es una de las propiedades más importante del hormigón, donde la relación agua/cemento juega un papel decisivo. Según las Directrices Europeas del HAC, se puede afirmar que para un HAC con una relación agua/cemento similar a la de un hormigón convencional, se tendrá normalmente un valor de resistencia a compresión ligeramente superior, debido a que la falta de vibrado provoca una mayor compacidad en la interfase entre el árido y la pasta endurecida.

Sin embargo, en los HAC influyen también otros factores como son una micro estructura más densa, el menor tamaño del árido, la ausencia de vibración, baja relación agua/cemento entre otros factores que permiten decir que la resistencia a compresión para una misma relación a/c suele ser mayor en un HAC respecto a uno convencional.



Otro de los posibles factores que pueden influir notablemente en el desarrollo de resistencias son los superplastificantes. El viscocrete 20 He combina diferentes mecanismos de acción. La adsorción en la superficie de los finos así como su mejor dispersión durante el proceso de hidratación producen efectos significativos en las resistencias iniciales y finales.

En la siguiente figura se muestra el desarrollo de la resistencia a compresión simple de la primera dosificación por el método de Okamura. Tome una serie de probetas y las ensaye a compresión simple a diferentes edades bajo curado normalizado.

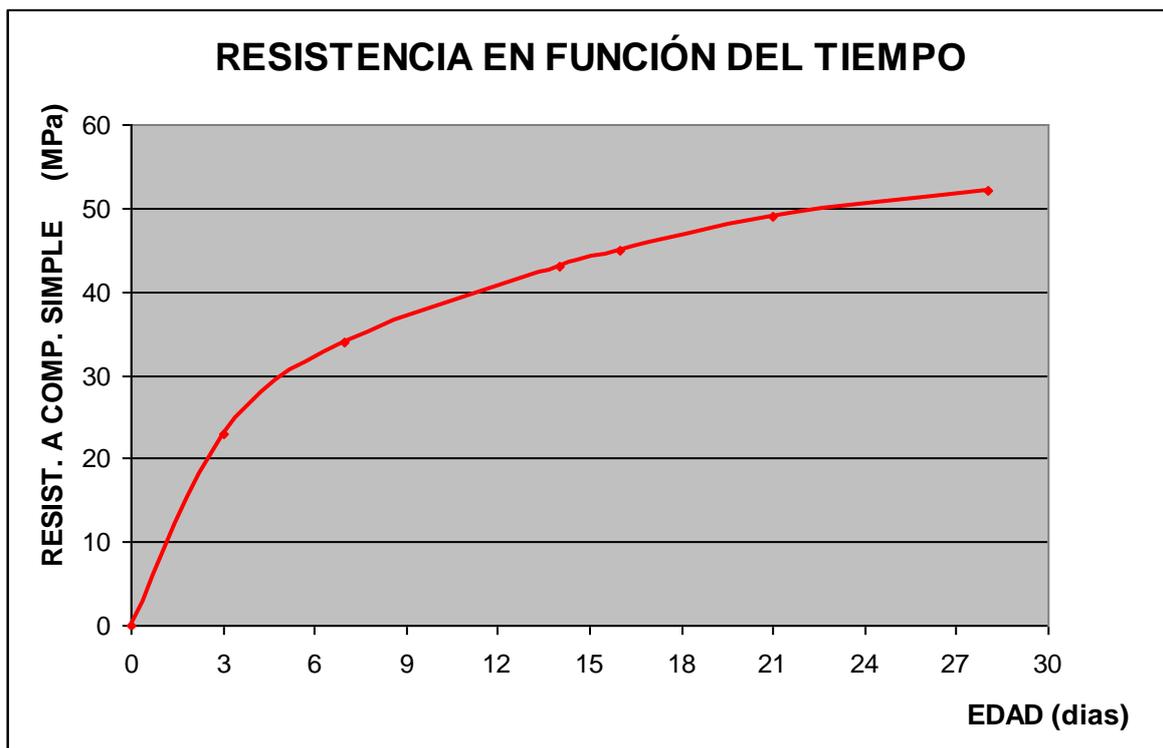


Fig. Nº 5.15 Resistencia en función del tiempo

### 5.3 LLENADO DE UNA VIGA A ESCALA INDUSTRIAL.

Como todos los ensayos de laboratorio fueron satisfactorios se decidió llevar la primer dosificación a escala industrial. Se llenaron unas vigas rectangulares de 11m<sup>3</sup> que tenían una densidad de armadura importante. (ver plano de armadura adjunto en Anexo)

Estas vigas se utilizan para el apoyo de tribunas de fútbol.

El espacio entre las armaduras era muy reducido Fig. 5.16 y 5.17. El hormigón se elaboró con mezcladora de eje horizontal con capacidad para 2m<sup>3</sup>, cargando primero los áridos corregidos por humedad, luego el cemento y por último el resto del agua con el aditivo. Para que el aditivo pueda desarrollar plenamente sus efectos, el tiempo de mezclado fue de 60seg. El transporte desde la planta a la zona de moldeo fue por tolva y el colado se efectuó desde la parte superior de la viga.



Fig N° 5.16 Espaciamiento de armaduras



Fig N° 5.17 Espaciamiento de armaduras



El colado de estas vigas fue muy satisfactorio, el hormigón recorría cada espacio del encofrado sin segregación ni exudación, dando una correcta terminación y resistencia. En la siguiente figura se muestra como se desplaza el hormigón por su propio peso sin bloquearse. Corriendo homogéneamente entre las armaduras.



Fig. N° 5.18 Desplazamiento del hormigón

#### 5.4 EFICIENCIA DE MEZCLADO.

Realice este ensayo para conocer la eficiencia de mezclado en la planta, para ello se tomaron muestras de hormigón en la descarga de las tolvas, y se comprobaron los resultados obtenidos con los teóricos, teniendo en cuenta que los mismos no deben superar las tolerancias establecidas por la norma IRAM 1666 parte III.

En la siguiente tabla se encuentran las diferencias máximas admisibles para evaluar la uniformidad del hormigón.



Ensayo comparativo sobre dos muestra	Unidad	Diferencia máxima admisible	Método de ensayo
Densidad del hormigón fresco calculada como libre de aire	Kg/m <sup>3</sup>	16	IRAM 1562
Contenido de aire del hormigón	dm <sup>3</sup> /100dm <sup>3</sup>	1	IRAM 1602 o 1511
Contenido de agregado grueso de cada muestra retenida sobre tamiz 4.75mm.	Kg/100Kg	6	6.1
Resistencia media de rotura a la compresión (de por lo menos tres probetas cilíndricas por muestra de hormigón), a la edad de 7 días, referida a la resistencia media del hormigón de ambas muestras	Mpa/100MPa	7.5	IRAM 1546 e 1524

El hormigón cumplió todos los requisitos de la norma Iram 1666.

### **5.5 CONTROL ESTADISTICO, DESVIO NORMAL.**

Para el control de resistencia se moldearon 3 probetas cilíndricas de 10 x 20cm, de cada una de las nueve vigas que se fabricaron.

Las cuales se ensayaron dos a 28 días y la otra en el momento antes del desmolde.

Para el control estadístico tome la resistencia a 28 días.

En la próxima tabla se muestran los resultados a compresión simple de las probetas.



<p style="text-align: center;"><b>PROBETAS</b>  <b>Vigas Rectangulares Tribunas</b></p>						REFERENCIA:		
						CV: Curado Vapor		
						CN: Curado Normalizado		
						CA: Curado al Aire		
Nº	Nº Probeta	Estructura	Fecha de Moldeo	Edad de Curado	Fecha Ensayo	Curado	Tensión de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Extendido (cm)
<b>1</b>	885	VR	16/08/13	4	20/08/13	CA	391	<b>60</b>
	886	VR	16/08/13	28	13/09/13	CN	510	
	887	VR	16/08/13	28	13/09/13	CN	510	
<b>2</b>	925	VR	26/08/13	1	27/08/13	CV	246	<b>62</b>
	926	VR	26/08/13	28	23/09/13	CN	573	
	927	VR	26/08/13	28	23/09/13	CN	581	
<b>3</b>	949	VR	28/08/13	1	29/08/13	CV	302	<b>61</b>
	950	VR	28/08/13	28	25/09/13	CN	500	
	951	VR	28/08/13	28	25/09/13	CN	510	
<b>4</b>	964	VR	30/08/13	3	02/09/13	CA	294	<b>60</b>
	965	VR	30/08/13	28	27/09/13	CN	510	
	966	VR	30/08/13	28	27/09/13	CN	512	
<b>5</b>	979	VR	03/09/13	1	04/09/13	CV	290	<b>59</b>
	980	VR	03/09/13	28	01/10/13	CN	510	
	981	VR	03/09/13	28	01/10/13	CN	509	
<b>6</b>	994	VR	05/09/13	1	06/09/13	CV	288	<b>58</b>
	995	VR	05/09/13	28	03/10/13	CN	550	
	996	VR	05/09/13	28	03/10/13	CN	535	
<b>7</b>	4	VR	09/09/13	1	10/09/13	CN	264	<b>60</b>
	5	VR	09/09/13	28	07/10/13	CN	525	
	6	VR	09/09/13	28	07/10/13	CN	515	
<b>8</b>	22	VR	11/09/13	1	12/09/13	CN	313	<b>60</b>
	23	VR	11/09/13	28	09/10/13	CN	540	
	24	VR	11/09/13	28	09/10/13	CN	536	
<b>9</b>	49	VR	17/09/13	1	18/09/13	CV	322	<b>62</b>
	50	VR	17/09/13	28	15/10/13	CN	531	
	51	VR	17/09/13	28	15/10/13	CN	542	

### 5.6 CONTROL DE CURADO.

Los hormigones elaborados en esta planta de premoldeados y pretensados pesados, requieren un tratamiento especial a la hora del curado. Esta operación requiere el mayor de los cuidados a causa que debe permitir el desmolde, rotación de moldes y el movimiento de piezas desde el lugar de fabricación hasta la zona de acopio a una temprana edad.



El curado comienza cuando se cubre la pieza una vez terminada, con una lona en forma de arco (fig 5.19).



Fig. Nº 5.19 Carpa de curado a vapor

El ciclo de curado a vapor consiste en un intervalo inicial de espera, previo a la acción del vapor con la pieza tapada con una lona, un periodo de incremento de temperatura hasta alcanzar un valor del orden de los 70°C (período de calefacción), un periodo en el que se mantiene esa temperatura máxima constante (período de permanencia) y un periodo de disminución de temperatura (período de enfriamiento) Fig. Nº 5.20.

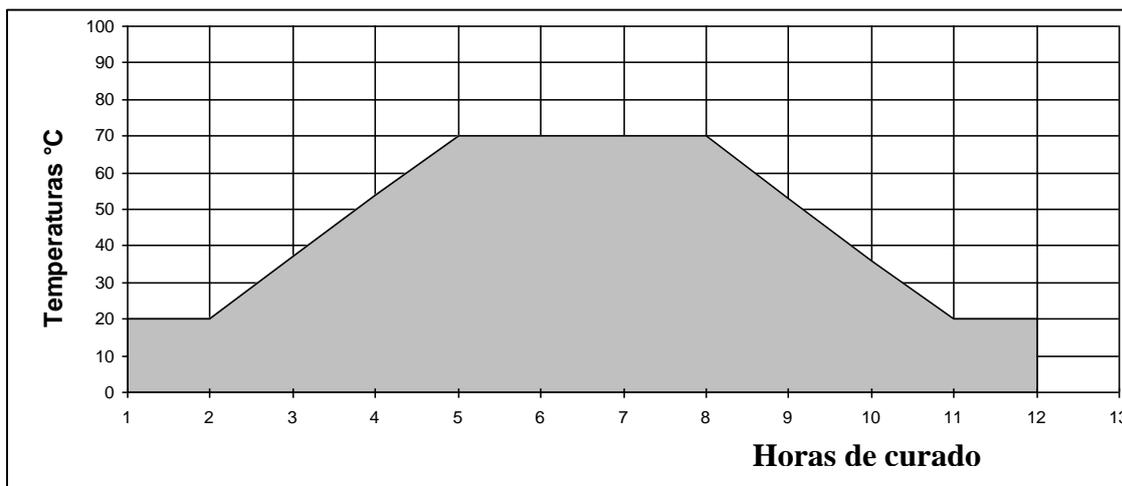


Fig. Nº 5.20 Ciclo de curado a vapor, estructura de armadura floja.



- 1) Periodo previo a la inyección de vapor después de la fabricación. (2hs aprox)
  - 2) Periodo de elevación de temperatura (3hs aprox)
  - 3) Periodo de máxima temperatura (3hs aprox)
  - 4) Periodo de enfriamiento (2hs aprox)
- Gradiente de temp. Optimo 17°C/hora

### **5.7 CONTROL DE PRODUCCION.**

La producción del hormigón autocompactable debe ejecutarse con mucho control por parte del laboratorio. El control de los materiales, tolerancias y mecanismos de la planta debe ser estricto.

En cuanto al almacenamiento de los áridos se debe contar con un buen stock y tener la menor dispersión posible de humedades dentro del acopio en cada uno de los áridos.

En cuanto a la mezcladora no hay un requisito específico, si controle la uniformidad de dos pastones a través de los ensayos que propone la norma Iram 1666.

Durante la producción del HAC, es preciso realizar ensayos sobre el contenido de humedad y la granulometría de los áridos con mayor frecuencia de lo habitual puesto que el HAC es más sensible a las variaciones que el hormigón normal.

Los ajustes sobre todo del agua, deben ser más controlados en los días de altas temperaturas.

En cuanto al transporte del hormigón desde la planta hasta el molde, se debe tener una buena estanqueidad en la tolva, y tener muy en cuenta que el hormigón es afectado por demoras inesperadas, que pueden provocar variaciones en la consistencia y afectar negativamente al resultado final.

Es muy importante tener en claro estas recomendaciones y cumplirlas, ya que volver a repetir este hormigón es muy sensible a pequeños cambios de humedad y características de los agregados.

Con las probetas moldeadas para el control de resistencia a los 28 días, se obtuvieron algunos parámetros que nos califican la uniformidad para elaborar el hormigón, el equipo disponible y el control. Estos parámetros se encuentran en la siguiente tabla:

Siendo  $f'_{ci}$  resultado de un ensayo en  $\text{Kg/cm}^2$  y  $f'_{cm}$  resistencia media del lote en  $\text{Kg/cm}^2$  y "n" la cantidad de ensayos representativos del lote



ESTUDIO ESTADISTICO RESISTENCIA A 28 DIAS Hº AUTOCOMPACTABLE

Nº DE PROBETA	$f'_{ci}$	$f'_{cm} - f'_{ci}$	$(f'_{cm} - f'_{ci})^2$	$(f'_{cm} - f'_{ci})^2 / n-1$
1	510	17.72	314	29
2	510	17.72	314	29
3	573	-45.28	2050	186
4	581	-53.28	2839	258
5	500	27.72	769	70
6	510	17.72	314	29
7	510	17.72	314	29
8	512	15.72	247	22
9	510	17.72	314	29
10	509	18.72	351	32
11	550	-22.28	496	45
12	535	-7.28	53	5
13	525	2.72	7	1
14	515	12.72	162	15
15	540	-12.28	151	14
16	536	-8.28	69	6
17	531	-3.28	11	1
18	542	-14.28	204	19
<b>Número de ensayos</b>			<b>n</b>	<b>12</b>
<b>Resistencia Promedio</b>			<b><math>f'_{cm}</math></b>	<b>527.72</b>
<b>Desviación Normal</b>			<b><math>S_n</math></b>	<b>29</b>
<b>Dispersión</b>			<b><math>\delta</math></b>	<b>5</b>
<b>Resistencia característica</b>			<b><math>f'_{bk}</math></b>	<b>481</b>
<b>Máximo</b>				<b>581</b>
<b>Mínimo</b>				<b>500</b>

A través de la tabla de Rusch y la desviación normal obtenida, nos indica que estamos en condiciones óptimas en el control y automatismo.



Guía de Rusch	Sn (Kg/cm <sup>2</sup> )
Con vigilancia especialmente buena, personal escogido, almacenamiento de áridos protegido y dosificación automática	30
Con vigilancia muy buena, personal con experiencia y buena mecanización	50
Con control normal e hipótesis normal	70

Tabla N° 5.2 Guía de Rusch

La desviación estándar es una medida estadística de la dispersión en los resultados de los ensayos que representan a un determinado hormigón.

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (f' \cdot c_i - f' \cdot c_m)^2}{n-1}}$$

El coeficiente de variación “ $\delta$ ”, que nos indica el grado de dispersión de producción de la planta.

$$\delta = \frac{S_n}{f'_{cm}} * 100\%$$

Lo cual indica que al ser  $\delta < 15\%$  son excelentes condiciones de elaboración. Este valor se debe a buenos controles de calidad, esto incluye humedad en áridos, tolerancias en pesajes, correctos funcionamientos de equipos, entre otros.

Debo aclarar además, que la resistencia a 28 días es un poco alta. Esto se debe a que se necesita una buena resistencia inicial sobre todo en las piezas pretensadas.

Por ejemplo el reglamento Cirsoc para un H-38 pide 34 MPa para poder aplicar el pretensado definitivo “un 89%”, para un H-47 pide 40 MPa. “un 85%”.

Es por eso que se realiza el curado a vapor, para poder desmoldar la pieza al día siguiente. Ayudando de esta manera a levantar las resistencias iniciales.



## 5.8 Vigas terminadas

Vista de vigas terminadas, con excelente terminación superficial

La excelente terminación superficial es una característica importante que afecta no sólo el aspecto, imagen y apariencia de las piezas estructurales de hormigón, obviamente con mayor predisposición para la comercialización, sino también porque constituye una importante barrera contra los agentes agresivos del medio, otorgando protección al hormigón y a las armaduras y por lo tanto contribuyendo a la durabilidad de la estructura





### 6.1 PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES

Las proporciones de los componentes de HAC son diferentes a los del hormigón de compactación convencional o vibrado, cuya comparación se expone en la siguiente figura.

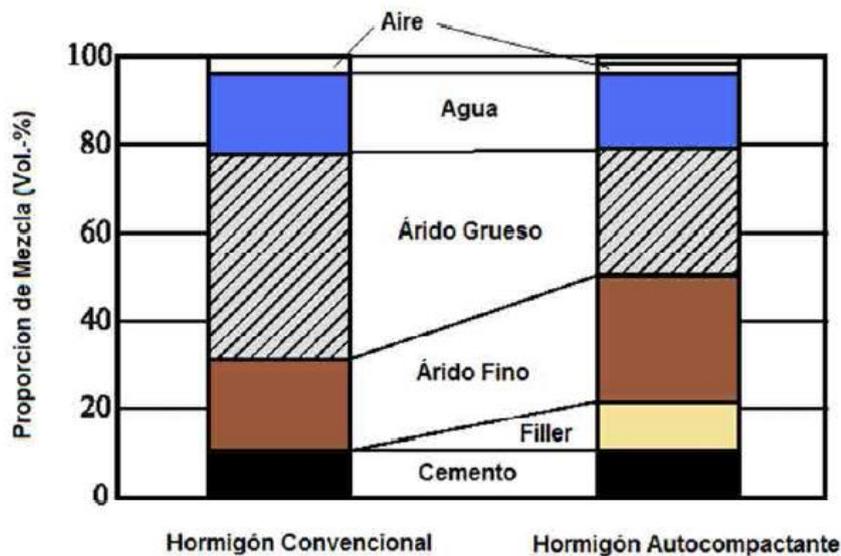


Fig. N° 6.1 Comparativo en volumen de los materiales componentes del HAC y el hormigón tradicional o vibrado.

Como se puede apreciar en la Fig. N° 6.1, en el HAC los porcentaje de aire son inferiores, el % de árido grueso es menor (para evitar la trabazon), el % de árido fino es mayor (para dar mayor fluidez), y el % de cemento es mayor en el caso de no utilizar filler (para evitar la segregación). A esta tabla le esta faltando el % de aditivo que no se expresa en forma gráfica ya que son volúmenes muy reducidos con respecto a los materiales.

Pero en el HAC generalmente es mayor el % de aditivo.

En este trabajo no se utilizó filler por una cuestión de practicidad operativa. Si se probó a nivel de laboratorio distintos tipos de filler como ser el calcáreo provisto por cantera San Agustín, un fino originado del residuo del polvo de granito de la empresa Suolo S.A. y un fino provisto por Loma Negra.

Todos estos productos mejoran la viscosidad de la pasta y evitar la segregación del hormigón. Siempre que las canteras mantengan la homogeneidad del mismo en el tiempo. Pero operativamente es poco práctica su utilización ya que tendría que modificar la planta, agregar un silo, un sinfín, una balanza etc.



Los hormigones utilizados en esta planta tienen un alto contenido unitario de cemento, ya que necesitan una resistencia inicial alta, para el destensado. Con lo cual dejamos el uso del filler para más adelante. Y aproveche el fino que me aporó el cemento.

## **6.2 CUIDADOS ESPECIALES**

El hormigón autocompactable es altamente sensible a cualquier variación de cualquiera de sus elementos. Los cambios más comunes son:

Variación de las humedades en los áridos.

Cambio en las propiedades físicas en los áridos.

Temperatura del cemento.

Temperatura ambiente.

Retrasos en las descargas de las tolvas.

Fuera de los componentes del hormigón, tenemos errores mecánicos y humanos que debemos cuidar. Como ser:

Controlar periódicamente las balanzas de la planta.

Estar muy atento a los cambios en las humedades de los áridos y en las tolerancias de carga de los componentes (tener un acopio controlado y medianamente homogeneizado).

Recircular periódicamente el aditivo

Controles más estrictos en el curado.

## **6.3 ESTUDIO ECONÓMICO**

El estudio económico en la Industria de Elementos Premoldeados es un poco complejo, ya que no se puede comparar directamente el precio por m<sup>3</sup> de HAC y el tradicional. La utilización de los hormigones autocompactantes no se limita simplemente al costo del metro cúbico de hormigón, sino que considera entre los términos de la ecuación económica aspectos asociados a la facilidad de colocación y compactación, rapidez de construcción, elevada resistencia a temprana edad, reutilización de los moldes, posible disminución de los tiempos de aplicación de vapor, ausencia de los retoques posteriores al desmolde, ahorro en equipos de compactación que resultan innecesarios aun para copiar bordes complicados, detalles y espesores ultra delgados y fundamentalmente lograr con rapidez el llenado y compactación del hormigón en zonas congestionadas de armadura y de difícil acceso. La eliminación de la vibración y el ruido colabora con la salud de los operarios, mejora el ambiente laboral. El notable incremento de utilización de estos hormigones en el mundo, como también el constante reemplazo de los superfluidificantes tradicionales por los policarboxilatos, parecieran aseverar que efectivamente nos encontramos ante un hormigón del futuro, que facilita significativamente las tareas de obra, mantiene un alto desempeño en resistencias y durabilidad y disminuye los costos finales de producción.



## 7.1 CONCLUSIONES

La factibilidad de diseñar un hormigón con un comportamiento autocompactante es real. Cada diseño debe tener muy presente la pieza a hormigonar, si bien muchas veces los ensayos para estudiar la reología de la mezcla dan buenos resultados. No se adecuan a todas las piezas de la misma forma. Ya que un hormigón puede tener una excelente terminación estética para una pieza y segregarse para otra pieza.

Además, es necesario llevar a cabo una exhaustiva y correcta elección de los ensayos en estado fresco, con los diferentes equipos, con el objetivo de discriminar la importancia particular de cada uno de ellos según el elemento a hormigonar.

Finalmente, el valor agregado del HAC debe permitir mejoras en las piezas para reducir costos especialmente en tiempo, calidad y reparaciones.

Por último, en cuanto a mi se refiere, con la realización del presente Trabajo Final pude entender que el verdadero legado que la Facultad nos deja, es adquirir una lógica de razonamiento y entendimiento acorde a los problemas que cotidianamente como ingeniero tendré que afrontar en la vida profesional, brindándome herramientas básicas de aplicación universal y fuentes de información a donde recurrir para entender los fenómenos, enseñándome los caminos a seguir para la obtención de resultados adecuados, correctos y exitosos.



## **ÍNDICE DE FIGURAS**

- Fig. N° 1.1 Organigrama de la empresa.
- Fig. N° 2.1 Ubicación geográfica de la planta Pretensados en Córdoba.
- Fig N° 2.2 Planta de elaboración en corte.
- Fig. N° 2.3 Cabina de mandos en planta elaboradora.
- Fig. N° 2.4 Tolva de carga.
- Fig. N° 2.5 Cargadora frontal.
- Fig N° 3.1 Granulometría Arena Fina.
- Fig. N° 3.3 Granulometría Canto rodado 6/12.
- Fig. N° 3.4 Ensayos Físicos-Químicos del agua.
- Fig. N° 4.1 Resumen método de dosificación de Okamura.
- Fig. N° 4.2 Cono de fluidez..
- Fig. N° 4.4 Extendido ideal.
- Fig. N° 4.3 Materiales utilizados.
- Fig. N° 4.5 Procedimiento de dosificación.
- Fig 4.6 Procedimiento para definir el punto de saturación del superplastificante.
- Fig. N° 4.7 (Cono de Marsh).
- Fig. N° 4.8 Mezclas distintas relaciones a/c.
- Fig. N° 4.9 y 4.10 Punto de saturación del aditivo.
- Fig. N° 4.11 Peso unitario suelto.
- Fig. N° 5.1 Chapa ensayo de extendido.
- Fig. N° 5.2 y 5.3 Ensayo de extendido.
- Fig. N° 5.4 control visual de estabilidad de la mezcla.
- Fig. N° 5.5 Extendido en movimiento.
- Fig. N° 5.6 Extendido sin segregar.
- Fig. N° 5.7 Extendido segregado.
- Fig. N° 5.8 Extendido segregado.
- Fig. N° 5.9 Embudo en V.
- Fig.N° 5.10 Ensayo de embudo en V.
- Fig. N° 5.11 Caja I – Box.
- Fig N° 5.12 Dimensiones Caja L- Box en mm.
- Fig. 5.13 Comparativo de resistencia a compresión simple HAC con tradicional.
- Fig. N° 5.14 Distribución de los áridos en el HAC.
- Fig. N° 5.15 Resistencia en función del tiempo.
- Fig N° 5.16 Espaciamiento de armaduras.
- Fig N° 5.17 Espaciamiento de armaduras.
- Fig. N° 5.18 Desplazamiento del hormigón.
- Fig. N° 5.19 Carpa de curado a vapor.
- Fig. N° 5.20 Ciclo de curado a vapor, estructura de armadura floja.
- Fig. N° 6.1 Comparativo de la proporciones en volumen de los materiales de los distintos hormigones.



## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla Nº 4.1 ensayos de fluidez.

Tabla Nº 4.2 Composición del esqueleto granular.

Tabla Nº 5.1 Resumen de ensayos sobre hormigón en estado fresco.

Tabla Nº 5.2 Guía de Rusch.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Revista Hormigonar “Asociación Argentina del Hormigón Elaborado edición nº 10 Año 2006. EFNARC, “Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC”, Reino Unido, 2002.

Manual del hormigón Sika Autores T. Hirschi, , H. Knauber, J. Schlumpf, U. Waber 2001  
Fernández Cánovas, Manuel, “Hormigón”, 5ª Edición adaptado a la Instrucción de Cementos RC-97 y a la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-98, Madrid, 1999.

Fernández Cánovas, Manuel, “Hormigones especiales, Jornada Técnica sobre: NUEVOS HORMIGONES”, Organizada por IECA delegación del levante (Instituto Español del cemento y sus Aplicaciones).

Gettu, Ravindra; Agulló. Luis; “Estado del Arte del Hormigón Autocompactable y su Caracterización”. Cemento Hormigón Nº 861 [50-67] abril 2004 y Nº 862 [32-55] mayo 2004.

Fornasier, Fava, Zitzer; “Desarrollo y caracterización de hormigones autocompactantes”. Octubre 2001.

Fernández Luco, Torrent “Diseño y comportamiento reológico de hormigones autocompactantes” .

Apunte de hormigón armado y pretensado año 2000 y 2005.

Reglamento Cirsoc 201 versión 1982.