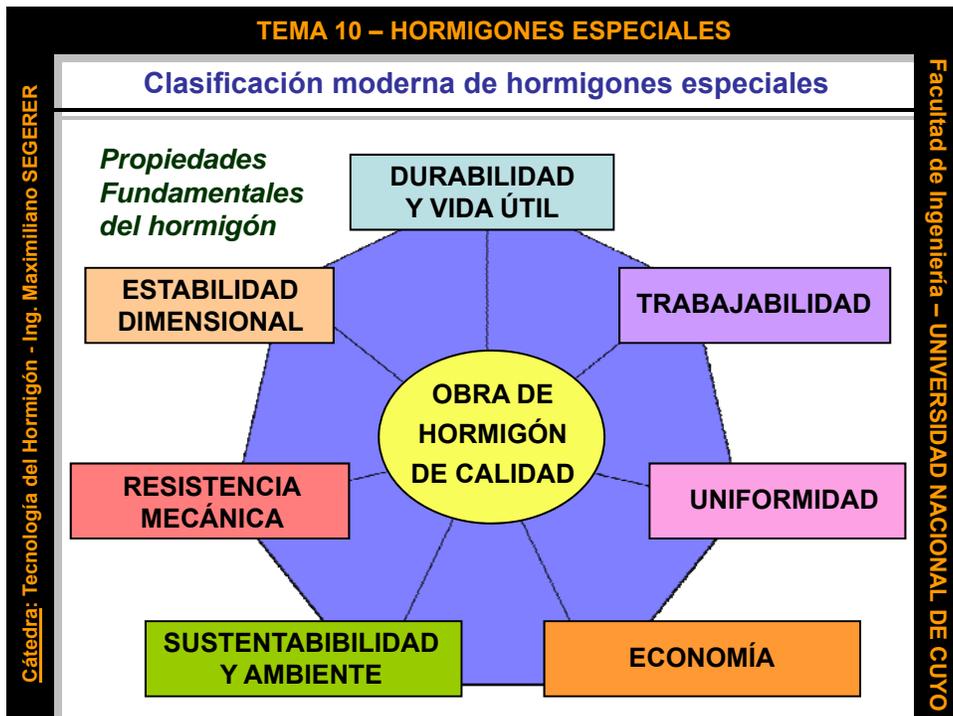


TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Contenido	UNC - TdH - TEMA 10 – Hº ESPECIALES
	CLASIFICACIÓN MODERNA DE Hº ESPECIALES
	● Definición y tipos de hormigones especiales
	Hº ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE
	● Definiciones de H.A.R. y H.A.P. y avances
	● Aplicaciones y ventajas competitivas
	HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES
	● Generalidades, introducción y aplicaciones
	● Comportamiento en estado fresco y endurecido
	● Dosificaciones y aplicaciones
	● Economía y costos de HAC
	OTROS HORMIGONES ESPECIALES
	● Hormigones con valor arquitectónico
	● Hormigones sustentables
	● Hormigones de densidad baja o elevada
● Hormigones de colocación no convencional	



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Clasificación moderna de hormigones especiales

Diferencias entre hormigones convencionales y especiales

Hormigones convencionales	Hormigones especiales
<ul style="list-style-type: none"> - Se emplean materiales y tecnologías usuales y disponibles en el medio - Existen los conocimientos e instalaciones para su producción - Sus normas tecnológicas y de cálculo figuran en los Reglamentos y Normas IRAM - Su comportamiento está ampliamente estudiado y las reglas de arte establecidas - Se pueden solicitar en cantidad y sin anticipo importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Actualmente, están en etapa de investigación y/o constante progreso a escala mundial - En ciertos casos, no existen localmente las tecnologías y/o conocimientos para su empleo o para su fabricación - No existen Reglamentos para su utilización o normas de ensayo - En Argentina, se está empezando a emplearlos primero en forma experimental y en varios casos en en escala industrial - Falta de difusión en el medio

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Clasificación moderna de hormigones especiales

Hormigones convencionales	Hormigones especiales
Hormigón simple	Hormigón liviano
Hormigón armado	Hormigón pesado
Hormigón pretensado	H° reforzado con fibras
Hormigón premoldeado	Hormigón Coloreado
Hormigón bombeado	H° Alto Desempeño
Hormigón en masa	H° Alta Resistencia
Hormigón proyectado	H° Autocompactante
Hormigón ciclópeo	H° Arquitectónicos
Relleno dens. controlada	Hormigón Reciclado
Hormigón elaborado	Contracción compensada

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Definiciones de Hormigón de Alta Resistencia (H.A.R.)

- La definición de HAR **no puede ser considerada estática**, ni el tiempo ni en el lugar que se considere. En el país, hace 15 años, hormigones H-40 eran considerados como HAR, mientras que ahora son H° convencionales
- La definición es tomada en base a **cual es la resistencia que puede alcanzarse empleando materiales y técnicas convencionales**
- Actualmente, **ACI 363R-98** define a un hormigón de alta resistencia (HAR) como aquél que tienen una **resistencia especificada** ($f'c$) a compresión **≥ 50 MPa**, aunque se establece que el cambio de comportamiento de hormigón convencional a HAR se da a los 55 a 60 MPa
- El **Eurocódigo 2** define como HAR las **clases C50/60 y superiores**
- En Argentina, el **CIRSOC 201-05** establece tres clases resistentes que pueden ser consideradas como HAR: **H-45, H-50 y H-60**

Hormigón Convencional	H° Alta Resistencia	H° Muy Alta Resistencia	H° Ultra Alta Resistencia
< 50 MPa	de 50 a 100 MPa	de 100 a 150 MPa	> 150 MPa

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Comparación de las categorías entre las versiones del Reglamento e IRAM 1666

CIRSOC 201:82 Norma IRAM 1666:86			CIRSOC 201:05		IRAM 1666:2019		
Resistencia característica $\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1,65 S$	H° Simple	H-4	H-15	H° Simple	Resistencia especificada $f'c = f'_{cm} - 1,28 S$	H-5	5 MPa
		H-8	H-20	S. y Armado		H-10	10 MPa
	H° Simple	H-13	H-25	H° Simple		H-15	15 MPa
	H° Armado	H-17	H-30			H-20	20 MPa
			H-35			H-25	25 MPa
	H° Simple	H-21	H-40	H° Armado		H-30	30 MPa
	H° Armado	H-30	H-45	H° Pretesado		H-35	35 MPa
		H-38	H-50			H-40	40 MPa
	H° Pretesado	H-47	H-60			H-45	45 MPa
						H-50	50 MPa
				H-55	55 MPa		
				H-60	60 MPa		
				H-80	80 MPa		
				H-100	100 MPa		

Clasificación sencilla de 5 en 5 MPa
 Se incorporan H° de Alta Resistencia

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Materiales constituyentes para H.A.R.

- Los H.A.R. se producen con **materiales de alta calidad**, cuidadosamente seleccionados y con la **optimización del diseño de la mezcla**

1) **Cemento**: Cementos de uso corriente CP40 y CP50 - Pueden ser ARI

2) **Agregados**: Componente fundamental - CONTROL DE CALIDAD

Agregados resistentes, limpios y con buena capacidad adherente

No es indispensable el empleo de agregados triturados (< H-80)

3) **Agua**: Debe cumplir con los requisitos mínimos según Norma IRAM

4) **Aditivos**: Reductores de agua de alto rango - INDISPENSABLE

Es muy importante la compatibilidad aditivo - cemento + adiciones

Otros aditivos: Retardadores de fragüe e incorporadores de aire

5) **Adiciones**: Empleadas microsílíce (MS) y cenizas volantes (CV)

Para resistencias superiores a 80 MPa es indispensable CV ó MS y superiores a 100 MPa es casi obligada la adición de CV+MS ó MS

Relación agua / material cementíceo (a/c): En general entre **0,20 y 0,35**

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance



¿Cuáles son las máximas resistencias alcanzadas en la actualidad?

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue su evolución? Lugar: **Canadá y Estados Unidos** ← **1964**

Suceso Se construyen dos edificios, en los cuales mediante aditivos fluidificantes de bajo rango, logrando por primera vez resistencias de **40 MPa**. Estos edificios son Place Victoria en Montreal de 194 metros y el Marina City en Chicago de 198 metros de altura



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias? Lugar: **Canadá** ← **1975**

Suceso Se construye la estructura más alta del mundo, hasta el año 2009. Se trata de la CN Tower, en Toronto, de 458 metros de estructura de **hormigón H-50** (553 metros en total)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: *Estados Unidos* ← **1975**

Suceso Se construye el edificio más alto del mundo con estructura de hormigón. El Water Tower Place en Chicago tiene 260 metros de altura y se emplearon hormigones de **60 MPa**, utilizando por primera vez **aditivos superfluidificantes** (reductores de agua alto rango); los cuales son el principal responsable de los HAR



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: *Estados Unidos* ← **1987**

Suceso Se emplean por primera vez combinados la adición de microsílíce y aditivos superfluidificantes, logrando las mayores resistencias en aplicaciones en obras de envergadura a la fecha: **130 MPa**. El Two Union Square de Seattle tiene 230 metros de altura



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: **Estados Unidos** ← **1991**

Suceso Se construye el edificio de hormigón armado más alto del mundo, empleando hormigones con resistencias de **85 MPa**. El 311 South Wacker de Chicago tiene 293 metros de altura



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: **Malasia** ← **1998**

Suceso Por primera vez, un edificio de hormigón armado es el más alto del mundo. Las Torres Petronas, diseñadas por el Arquitecto argentino César Pelli, tienen una altura total de 452 metros, superando a la Torre Sears. Para su construcción se emplearon hormigones con resistencias entre **40 y 80 MPa**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: **Taiwán** ← **2005**

Suceso	Se bate un nuevo récord en altura de edificios. En este caso el Taipei 101, con estructura de hormigón armado, alcanza los 452 metros su último nivel y los 508 metros de altura (H-60 – H-80)
---------------	---



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: **Argentina** ← **2009**

Suceso	Se inauguraré el edificio más alto de Argentina, la Torre Cavia - Le Parc - Figueroa Alcorta, con 44 pisos y una altura de 173 metros; diseñado con una estructura de hormigón armado, habiendo empleado hormigones de resistencias de hasta 70 MPa
---------------	--



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: Dubai ← **2010**

Suceso	El 4 de enero 2010 se inaugura el edificio más alto del mundo con 818 metros de altura, el Burj Kalifa. Está compuesto de una estructura de hormigón armado hasta los 500 metros y por arriba estructura metálica. Se emplearon 420.000 m ³ (H-40 – H-60)
---------------	--

Kate's Video Cutter (Free)







Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Lugar: Argentina ← **2011**

Suceso	En la actualidad se emplean en nuestro país hormigones H-60 y H-80 en edificios de altura. Asimismo, cabe destacar que estos hormigones no son contemplados por el Reglamento
---------------	---

Torres del Yacht
H-60 – HAC



Madero Office
H-60 – H-80 – HAC



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Suceso

Comienza la construcción de la KINGDOM TOWER (Jeddah Tower), que será el edificio más alto del mundo y se estima que se concluirá en el año 2020. Tendrá una altura final de 1007 m. Consumirá más de 1/2 millón de m³ de hormigón.

Lugar: Arabia Saudita ← **2014**

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Cómo fue la evolución de las resistencias?

Próximos rascacielos que se encuentran en construcción

2015	2014	2014	2016	2014	2016
Shenzhen (China)	Shangai (China)	Tianjin (China)	Seul (Corea)	New York (USA)	Guangzhou (China)

Lugar: China ← **2016**

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Lugar: **Dubai** ← **2021**

Suceso Se inauguraría la torre más alta del mundo en Dubai, con más de 1000 metros de altura, proyectada por Santiago Calatrava. Su estructura principal resistente es de hormigón armado. Podría llegar hasta 1400 metros según algunas fuentes



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Hormigones de alta resistencia o de alto desempeño?

- No siempre la propiedad más importante en un proyecto es la resistencia final de la estructura (capacidad de resistir esfuerzos en servicio)
- Por ello, la elección de H.A.R. **sólo el 25 al 35% de las veces se realiza con el objeto de alcanzar altas resistencias**
- La elección en el 65-75% restante se realiza por los **beneficios adicionales** que trae aparejado el empleo de elevadas resistencias, originando el concepto de **H° de alto desempeño (HAD) o alta performance (HAP)**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Hormigones de alta resistencia o de alto desempeño?

- Las **propiedades buscadas**, sin ser excluyente, en H.A.D. pueden ser **una o más de las siguientes**:
 - Alta resistencia inicial (habilitación rápida de estructuras)
 - Alto módulo de elasticidad (baja deformabilidad)
 - Alta resistencia a abrasión
 - Elevada durabilidad en ambientes severos
 - Incremento de la vida útil de las estructuras
 - Baja permeabilidad y difusión
 - Resistencia al ataque químico de ambientes agresivos
 - Alta resistencia a la congelación y deshielo
 - Tenacidad y resistencia al impacto
 - Facilidad de colado

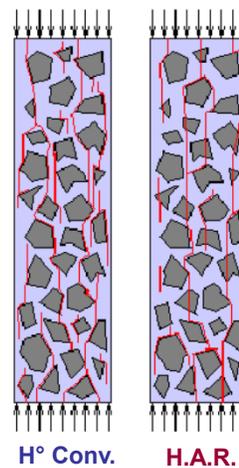


TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

¿Porqué son más resistentes y durables?

- En los hormigones convencionales “**el eslabón más débil**” es siempre **la interfaz pasta – agregado** que presenta ciertas debilidades estructurales y una porosidad más elevada
- Debido a que el agregado por lo general es más resistente que la pasta de cemento; **deberá incrementarse la resistencia** de esta última, **disminuyendo su porosidad**
- Esto se logra con **bajas relaciones a/c**, empleo de **aditivos** reductores de agua de alto rango y **la densificación de la interfaz** con ayuda de **adiciones activas**, logrando así que ambas fases sean más resistentes (y menos porosas)
- Por ello, al **disminuir la porosidad** no sólo se **incrementa la resistencia**, sino se **aumenta la durabilidad del hormigón** ante diferentes ambientes de exposición; siendo **mayor** cuantitativamente el **incremento de la durabilidad**





TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Además de edificios...
*¿En qué otras obras se emplean
Hormigones de alto desempeño?*



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D.

Lugar: **Noruega** ← **1986**

Suceso Inauguración de la Plataforma off-shore Gullfaks C, expuesta a ambientes de extrema. Fue una de las primeras obras en emplear hormigones diseñados por desempeño H-70 con microsílíce.



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D. Lugar: **Inglaterra y Francia** ← **1993**

Suceso Se inaugura el Eurotunnel, que conecta por medio del ferrocarril las localidades de Pas de Calais y Folkestone, siendo el túnel sub-fluvial más importante del mundo a la fecha con 50 km



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D. Lugar: **Estados Unidos** ← **2002**

Suceso Se construye la catedral más grande del mundo, Our Lady of the Angels Cathedral, en California con una capacidad de 2800 personas sentadas. Se empleó hormigón masivo coloreado diseñado para una vida útil de 300 años



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D. Lugar: **Argentina** ← **2003**

Suceso	Comienza a ser mucho más económica la construcción de grandes autopistas con pavimentos de hormigón empleando con equipos de tecnología del alto rendimiento (TAR) en el país; con un rendimiento de 800 a 1800 metros lineales de autopista / día En 2003 se inaugura la autopista de la Ruta 7 de San Luis, entre Córdoba y Mendoza; empleando 370.000 m ³ de hormigón De 1996 a 2006 se colocaron 1.675.000 m ³ de hormigón con TAR De 2007 a 2010 se prevé la colocación de 2.400.000 m ³ con TAR
---------------	---



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D. Lugar: **Francia** ← **2005**

Suceso	Se termina de construir el Viaduc de Millau, el puente con pilares más altos del mundo, que sobrepasan los 270 metros de altura
---------------	---



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D.

Lugar: China ← **2009**

Suceso Se finaliza la construcción de la presa más grande del mundo (27.900.000 m³ de hormigón). La Presa Three Gorges, es el mayor aprovechamiento hidroeléctrico del mundo y la obra donde mayor volumen de hormigón se empleó (triplicando al segundo)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ejemplos de H.A.D.

Lugar: China ← **2011**

Suceso Ubicado en Qingdao es el puente más largo del mundo con una longitud de 164,8 km en total y luces de promedio de 80 metros. Se concluyó en 2011 después de 4 años, empleando más de 10.000 trabajadores y un costo de U\$S 8,5 billones.



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Lugar: Arabia Saudita ← **2014**

Suceso Comienza la construcción de la KINGDOM TOWER (Jeddah Tower), que será el edificio más alto del mundo y se estima que se concluirá en el año 2020. Tendrá una altura próxima a 1000 m. Consumirá más de 1/2 millón de m³ de hormigón.



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Lugar: China ← **2016**

Suceso Se inaugura el puente más alto del mundo, puente atirantado con superestructura de hormigón (565 metros entre tablero y el valle)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Lugar: **Argentina** ← **2016**

Suceso Refuncionalización del Aeropuerto Plumerillo. Por primera vez se vierten en una obra en Argentina más de 50.000 m³ en una misma obra en 50 días corridos con tecnologías de alto rendimiento



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe

Construcción de la obra civil de la primera antena de la Agencia Espacial Europea (ESA) en América, existiendo otras dos antenas de diseño análogo en Australia y España

Principales tipos de hormigones empleados en el proyecto:

- H-30 masivo para platea, con Módulo E de 32 GPa a 1 año
- H-40 para tabiques, vigas y losas, con Módulo E de 34 GPa



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe

La problemática surgió debido a que para hormigones H-30 y H-40 elaborados con materiales locales de Mendoza se obtienen módulos de 25 a 28 GPa aprox., estando lejos de lo requerido

Para conformar estas especificaciones, se diseñaron **hormigones de alto desempeño alcanzando resistencias elevadas** (no obtenidas en la Región a la fecha) **para lograr la rigidez requerida**

En primera instancia se propuso trabajar con agregados basálticos triturados traídos de otra provincia; sin embargo se decidió por criterios técnico-económicos **trabajar con agregados rodados locales y cementos de producción próxima a la obra**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe

Propiedades del Hormigón Fresco

La demanda de agua para mezclas con CPN 40 y CPF 40 con o sin adiciones, no varió de manera considerable, **disminuyendo un 6% en promedio la demanda de agua al sustituir cemento por adición mineral**, aunque ésta presenta mayor finura

Para mezclas con **CPP 40**, la demanda es entre un **5 y un 10% superior** que para el caso de los otros cementos, disminuyendo levemente también con la adición. Las relaciones agua / aglomerante son bajas, con valores de 0,27 a 0,33 en general.



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe

Recomendaciones para las dosificaciones de obra

- Para la **platea masiva** (32 GPa), aunque no se consigan los módulos más elevados:

Emplear CPP 40 con un contenido de adición próximo al 15-20%, maximizando a su vez la cantidad de aditivo al límite de segregación (0,55% peso) y empleando agregados de cantera SR, no recomendando los agregados gruesos MG.

- Para el caso de los **tabiques y demás elementos** (34 GPa):

Emplear CPN 40 con un contenido de adición del 12 al 15% y agregados próximos a las obras (MZ para dovelas y SR para hormigones in situ), utilizando la máxima dosis compatible en planta de aditivo (0,60%).

En todos los casos se maximizó el contenido de agregado grueso (1030-1060 kg/m³) para incrementar los módulos estáticos

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Preparación para el hormigonado de la platea de fundación

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Encofrados de tabiques principales

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Encofrados de tabiques principales

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Sistema de "carpas" para hormigonado en tiempo frío y protección

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Hormigonera in-situ de capacidad de 1 m³ empleada para toda la obra

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Hormigonado por bombeo de tabiques (Ver medidas de protección)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Sistema de calefacción entre tabique y "carpas" mantenido durante 10 días

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Desencofrado de tabiques

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Hormigonado de losa interior

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Dovelas prefabricadas ya trasladadas a obra

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Montaje de dovelas prefabricadas y ensamblado en obra

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Montaje de dovelas prefabricadas y ensamblado en obra

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Montaje del anillo superior para vincular las dovelas prefabricadas

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Encofrado de vigas y anillo de vinculación de dovelas

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Obra civil de hormigón armado concluida

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe



Antena montada

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Construcción de la Antena DS3 - Malargüe

Resultados de Control de Calidad en Obra

Elementos hormigonados	Descripción dosificación	Resistencias (MPa)		Módulos (GPa)	
		28 d	1 a 28 d	28 d	1 a 28 d
					



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance



Todas estas obras no hubieran sido posible sin el avance de la tecnología del hormigón y el trabajo interdisciplinario entre las diferentes partes involucradas en el proyecto

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ventajas competitivas de los Hormigones de alto desempeño

1) Resistencia

- Resistencias de 3 a 6 veces las de H° convencionales, obteniendo secciones más esbeltas y menor peso propio de la estructura
- Mayor rigidez y control de deformaciones (edificios de altura y puentes)
- Reducción de armaduras de corte
- Facilidad de aplicación de cargas a edades tempranas (ej. industria del prefabricado) y rápida puesta en servicio
- Pueden diseñarse a 56 y 90 días logrando importantes ahorros económicos y disminuyendo el impacto ambiental de la industria
- Importantes ventajas y libertades para arquitectos e ingenieros en el diseño de todo tipo de obras y elementos estructurales

NOTA: Mayor fragilidad y su rotura puede presentarse sin preaviso, de todas formas en la ductilidad de la estructura participan más el diseño y detallado de las armaduras que la baja deformabilidad del hormigón



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ventajas competitivas de los Hormigones de alto desempeño

2) Durabilidad

- Muy baja permeabilidad al agua y cloruros (corrosión), por la gran compacidad que adquieren la pasta cementícea y la interfaz
- Mayor resistencia a ciclos de congelación y deshielo en climas fríos
- Inhibición mediante adiciones de la reacción álcali-agregado
- Mejor resistencia a ataques de sulfatos, ácidos y bacterias
- Mayor resistencia a la abrasión
- Incremento considerable de la vida útil de las construcciones
- Empleo de hormigones sustentables, considerando el ciclo de vida de materiales



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Ventajas competitivas de los Hormigones de alto desempeño

3) Economía

- Incremento de la productividad debido a la rápida construcción y/o rotación de encofrados
- Reducción de la masa de construcción y del costo de fundaciones asociado
- Incremento de la vida útil de la construcción
- Reducción de los costos de mantenimiento
- Gran trabajabilidad en estado fresco, ya que poseen una fluidez elevada sin riesgo de segregación ni de exudación
- Mayor espaciamiento entre columnas y mayores luces libres, permitiendo libertades de diseño y mejor aprovechamiento de superficies
- Óptimo aprovechamiento del terreno en ciudades muy pobladas
Ej.: Central Plaza Hong Kong Terreno U\$S 400M - Edificio
- Si bien el m³ de H.A.D. es más costoso, evaluando todos los factores que influyen en el proyecto suelen ser muy convenientes (ahorro \$\$\$)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance



¿Cuáles son las máximas resistencias alcanzadas en la actualidad?

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Hormigones de ultra-alta resistencia

- Su desarrollo comenzó a fines de los '90 y también son conocidas como hormigones de polvo reactivos, con resistencias de > 150 MPa
- Existen varias patentes comerciales y no son disponibles en grandes volúmenes (morteros pre-embolsados), restringiendo sus aplicaciones



- ← **Cemento**
(700 kg/m³)
- ← **Microsilice**
(200 kg/m³)
- ← **Polvo de cuarzo**
(300 kg/m³)
- ← **Arena**
(1000 kg/m³)
- ← **Fibras**
- ← **Aditivos**
- ← **Agua**
(180 kg/m³)

- Generalmente son curados aceleradamente (4 días a 90 °C) y se obtienen resistencias de hasta 230 MPa
- De no ser curados al vapor, se obtienen resistencias de 100 MPa a las 24 horas
- En general son reforzados con fibras y tienen carácter autocompactante



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Hormigones de ultra-alta resistencia

Silo en Joppa (Illinois)
Compr.: 220 MPa
Flexión: 50 MPa

Puente en Sherbrooke

Estación en Calgary (Canadá)

Compr.: 160 MPa

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones de alta resistencia y de alta performance

Hormigones de ultra-alta resistencia

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Contenido	UNC - TdH - TEMA 10 – Hº ESPECIALES
	CLASIFICACIÓN MODERNA DE Hº ESPECIALES
	● Definición y tipos de hormigones especiales
	Hº ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE
	● Definiciones de H.A.R. y H.A.P. y avances
	● Aplicaciones y ventajas competitivas
	HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES
	● Generalidades, introducción y aplicaciones
	● Comportamiento en estado fresco y endurecido
	● Dosificaciones y aplicaciones
	● Economía y costos de HAC
	OTROS HORMIGONES ESPECIALES
	● Hormigones con valor arquitectónico
	● Hormigones sustentables
● Hormigones de densidad baja o elevada	
● Hormigones de colocación no convencional	

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Hormigones autocompactantes - HAC	
Reseña histórica	
- Por mucho tiempo la compactación del hormigón ha sido un tema de gran preocupación en la Ingeniería, dada la importancia que tiene este proceso en el producto de hormigón terminado	
1985: Comienza el desarrollo en ↓ Japón (Prof. Okamura)	
1988: Primeras pruebas a escala ↓ de obra en Japón	
1998: 1º Simposio Internacional ↓ sobre HAC	
A partir del 2000 gran cantidad ↓ simposios y congresos	
2001: Lomax coloca los primeros ↓ HAC en Buenos Aires	
2006: En Mendoza se comienza a ↓ despachar HAC	

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Importancia del HAC

- Según la mayor parte de los investigadores y tecnólogos, **el HAC es el hormigón del futuro** ya que actualmente es el **material de mayor proyección en la industria de la construcción**
- Es importante recalcar que los **aditivos hiperfluidificantes** de última generación tienen un rol muy importante, en la aparición y desarrollo de los HAC, pero si:
 - a) No se cuenta con materiales componentes de calidad
 - b) No existe un adecuado sistema de seguimiento de las propiedades del hormigón
 - c) No se tienen en cuenta tanto los materiales como las tecnologías disponibles localmente
 - d) No realizan ensayos de laboratorio y de obra y control de calidad continuo
 - e) No se conocen las necesidades de la estructura a llenar
 - f) No existe un vínculo importante entre el productor de hormigón elaborado y el constructor



se llegará a un buen resultado sólo por casualidad

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Definición de Hormigones Autocompactantes (HAC)

- El Hormigón Autocompactante (**HAC**) es un **hormigón especial** con una **fluidez muy elevada sin que se presente segregación** y que es colado en obra **sin emplear energía de compactación, llenando perfectamente los encofrados y recubriendo las armaduras**, incluso en casos de congestión
- El empleo del HAC contribuye a **incrementar la productividad** y **mejorar el ambiente de trabajo**; además de lograr **hormigones con una excelente durabilidad** y una **perfecta terminación de las superficies**

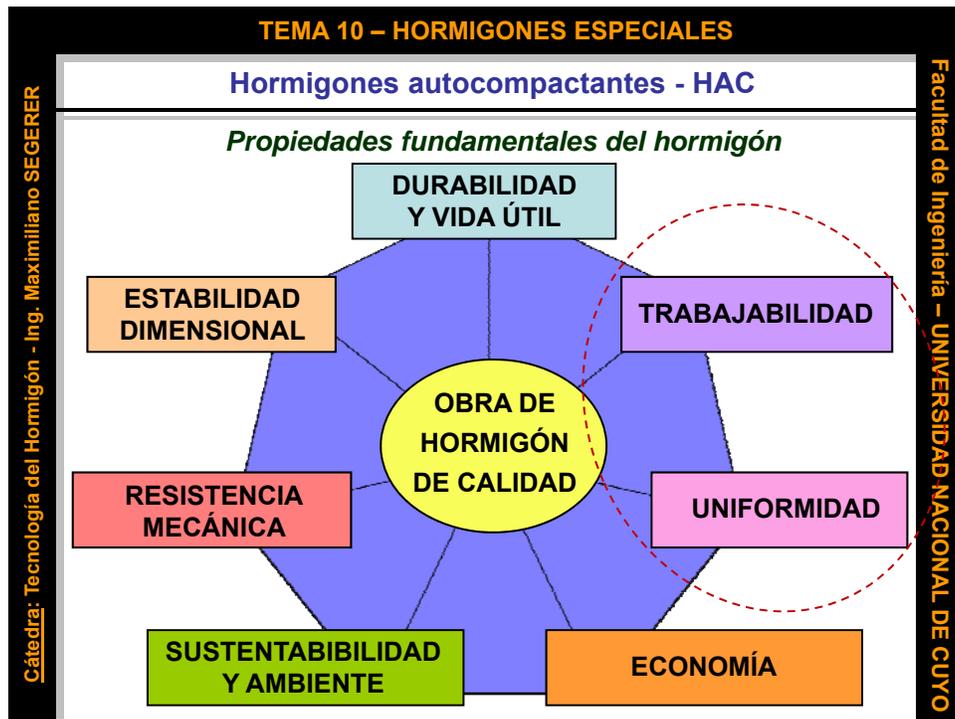
Combinación con otros hormigones especiales

- ◆ HAC coloreado
- ◆ HAC modificado con polímeros
- ◆ HAC reforzado con fibras
- ◆ HAC de alta resistencia
- ◆ HAC liviano
- ◆ HAC reciclado



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Mercado de HAC en la actualidad

- El HAC tiene el potencial de reemplazar la mayor parte del hormigón vibrado convencional, pero algunos de los inconvenientes que se presentan son:

- 1) Mayor costo unitario, que aparentemente incrementaría el costo de la obra
- 2) No se evalúa el costo de la obra considerando todos sus componentes
- 3) Desconocimiento o escepticismo en nuestra Región
- 4) Falta de Normas de ensayo y Reglamentos de aplicación



<p>Argentina</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ciudad de Buenos Aires: 8% - Mendoza < 0,5% 	<p>Unión Europea</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hormigón Elaborado: 25-40% - Premoldeados: 50-70% - Dinamarca > 50% - Suecia > 50% - Noruega > 70%
<p>Estados Unidos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hormigón Elaborado: 15-25% - Premoldeados: 60-80% 	

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Importancia de un adecuado comportamiento en estado fresco

- La mayor parte de los ensayos del HAC han sido desarrollados para cuantificar y calificar diferentes propiedades en estado fresco
- Por su elevada fluidez **no son aplicables los ensayos tradicionales**
- Debido a la falta de normalización internacional, existe una **gran cantidad de ensayos** desarrollados por diferentes países e investigadores
- Los **principales parámetros** para juzgar la calidad del HAC en estado fresco son:

1	Fluidez (Consistencia)
2	Segregación (Cohesividad)
3	Exudación
4	Poder autonivelante
5	Capacidad de pasaje



- Se estudiarán:
 - Ensayos para cuantificar estos 5 parámetros
 - Propiedades del hormigón fresco en transporte y puesta en obra

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

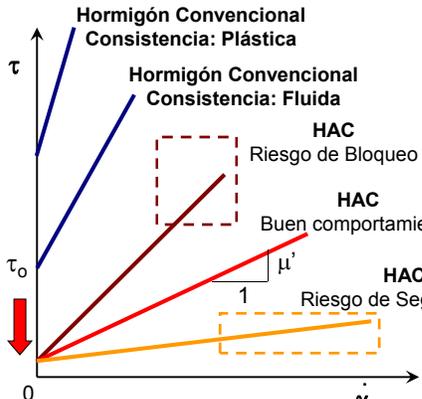
TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Reología del HAC

Se deben cumplir **dos condiciones** para lograr la **autocompactabilidad**:

- 1) Un valor muy pequeño o nulo de tensión crítica de forma que el hormigón se comporte como un fluido Newtoniano
- 2) Un valor moderado de la viscosidad plástica



$\dot{\gamma}$: Velocidad de deformación (1/s)

τ : Tensión tangencial (Pa)

τ_o : Tensión crítica (Pa)

μ' : Viscosidad plástica (Pa.s)

Fluido de Bingham

$$\tau = \tau_o + \mu' \dot{\gamma}$$

Fluido Newtoniano

$$\tau = \mu' \dot{\gamma}$$

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Hormigón Autocompactantes

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.1) Extendido con el Cono de Abrams

- Con este sencillo ensayo pueden apreciarse 3 parámetros:

a.1) Diámetro de extendido (E)

a.2) Tiempo en alcanzar 50 cm de E (T_{50})

a.3) Índice Visual (VSI)

- Es el ensayo más simple y mayormente empleado para caracterizar el HAC, debido a que brinda mucha información necesitando elementos de ensayo convencionales

++	1	Fluidez
+	2	Segregación
+	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
-	5	Capacidad de pasaje

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.1) Extendido con el Cono de Abrams

- El **Índice de Estabilidad Visual (VSI)** es una calificación empírica, que consiste en **calificar de 0 a 3**, dependiendo el **aspecto de los bordes en y en el centro del ensayo de extendido** para juzgar la segregación del HAC

++	1	Fluidez
+	2	Segregación
+	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
-	5	Capacidad de pasaje

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.2) Caja en L (L-Box)

- Consiste en medir la fluidez y la capacidad de pasaje del HAC

- Se coloca el HAC en la parte vertical de la L, retira verticalmente la tapa y el hormigón por su propio peso tiende a pasar entre las barras a la sección horizontal de la L

- Se miden las alturas del hormigón a los 20 cm y a los 40 cm y en función de la diferencia de alturas se mide la aptitud del HAC

++	1	Fluidez
-	2	Segregación
-	3	Exudación
+	4	Poder autonivelante
++	5	Capacidad de pasaje

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.3) Caja en U (U-Box)

- Consiste en medir el poder autonivelante y la capacidad de pasaje del HAC
- Se coloca el HAC en una rama de la U, se retira verticalmente la tapa y el hormigón por su propio peso tiende a pasar entre las barras a la otra rama de la U
- En función de la diferencia de alturas entre las dos ramas de la U se mide la aptitud del HAC

+	1	Fluidez
+	2	Segregación
-	3	Exudación
++	4	Poder autonivelante
++	5	Capacidad de pasaje



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.4) Anillo J (J-Ring)

- Es uno de los pocos ensayos que está normalizado en EE.UU. (ASTM C 1261-06)
- Es similar al de extendido, sólo que se coloca una “jaula” de barras para apreciar la capacidad de pasaje o bloqueo
- También se mide el Índice visual para estimar la segregación de la mezcla

++	1	Fluidez
+	2	Segregación
+	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
+	5	Capacidad de pasaje



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.4) Anillo J (J-Ring)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.5) Embudo en V (V-Funnel)

- Consiste en medir la fluidez y el riesgo de bloqueo de la mezcla en estudio
- Se llena con el HAC el embudo, retirando la tapa horizontal de la abertura y se mide el tiempo que tarda en pasar el HAC por el orificio
- En función del tiempo de pasaje se mide la fluidez del HAC

++	1	Fluidez
+	2	Segregación
-	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
+	5	Capacidad de pasaje

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.6) Segregación dinámica

- Existen dos ensayos para cuantificar la segregación del HAC:
 - 1) **Ensayo de estabilidad en tamiz GTM**
 - 2) **Ensayo de segregación estática**
- En ambos se coloca en un recipiente el HAC dejándolo reposar un tiempo, y luego se **cuantifica la fracción de agregado grueso**, en la superficie y en fondo
- Si la fracción de agregado grueso del fondo es muy superior a la de la porción superficial, existe una tendencia marcada a la segregación

-	1	Fluidez
++	2	Segregación
+	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
-	5	Capacidad de pasaje

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.6) Segregación dinámica

- El ensayo sobre tamiz #4 (EN 12350-11) es el más sencillo de realizar
- Es recomendable tener valores de 2 a 5% en este ensayo

-	1	Fluidez
++	2	Segregación
+	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
-	5	Capacidad de pasaje

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.7) Segregación estática

- Se deben realizar cortes sobre probetas de hormigón o extraer testigos de la parte superior e inferior de la estructura
- Se aprecia visualmente la estabilidad o segregación estática con ayuda del VSI

-	1	Fluidez
++	2	Segregación
-	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
-	5	Capacidad de pasaje



0

Estable

No existe mortero en la superficie
Agregados distribuidos uniformemente



1

Estable

Poco mortero en la Superficie. Pequeña acumulación de partículas finas



2

Inestable

Pasta de cemento en superficie
Agregados mal distribuidos



3

Inestable

Importante capa de pasta de cemento en la superficie
Mala distribución

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.8) Exudación

- Los HAC presentan una **exudación relativamente baja**, siendo necesario determinar la capacidad y la velocidad de exudación
- **HAC con exudaciones muy bajas son propensos a la fisuración** en elementos planos como **losas y pisos**
- Este **riesgo de fisuración por contracción plástica**, se acentúa en climas secos como Mendoza, o cuando existen altas temperaturas y/o vientos moderados
- Como consecuencia, en el caso de pisos y losas **el curado debe comenzar inmediatamente** después del colado
- Una media a elevada exudación implica **problemas en el diseño** de la mezcla

-	1	Fluidez
+	2	Segregación
++	3	Exudación
-	4	Poder autonivelante
-	5	Capacidad de pasaje





Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

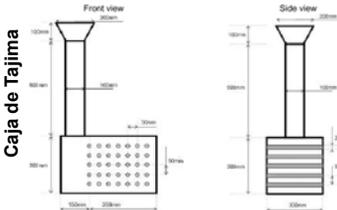
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a.9) Otros ensayos

Caja de Tajima



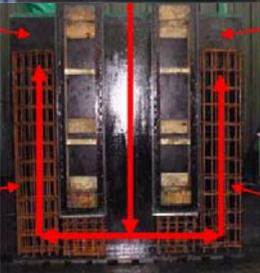
Ensayo Orimet



Ensayo de aceptación en obra



Ensayos en elementos estructurales



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b.1) Mezclado y Transporte del HAC

- El mezclado y el transporte del HAC puede realizarse en **camiones hormigoneros convencionales**, siempre que se asegure un adecuado mezclado
- El **tiempo de mezclado es un poco superior** al de un hormigón convencional
- Si se prepara el HAC en planta, con el transcurso del tiempo puede producirse un fenómeno como la pérdida de asentamiento, llamado **"pérdida de extendido"**
- Debido a la fluidez la **capacidad útil del mixer puede disminuir** en 0,5 m³
- En caso de incorporar los aditivos en obra, se **mezclará el hormigón al menos 7 minutos** hasta apreciar el aspecto autonivelante del hormigón
- Este sistema tiene la ventaja de poder transportar en largos trayectos el hormigón, pero el inconveniente de necesitar en obra personal capacitado para darle el carácter autocompactante al hormigón mediante la incorporación de aditivos



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b.2) Colocación del HAC

- Debido a la elevada fluidez del HAC, se **disminuyen las presiones de bombeo** con lo que se logra:
 - ♦ **Mayores alturas de bombeo**, para un mismo equipo de bombeo
 - ♦ **Disminución notable de roturas**
 - ♦ **Agilización de la obra**
 - ♦ **Excelentes resultados si se bombea desde la parte inferior**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b.2) Colocación del HAC

- También puede colocarse con:
 - ♦ Descarga de la canaleta
 - ♦ Balde de hormigonado
 - ♦ Cinta transportadora
 - ♦ Volquetas
- Respecto a la **altura de caída**, según diversas experiencias la altura máxima de caída del hormigón sin segregación es superior a la del H° convencional



- Se ha constatado que con **alturas de caídas de 3 a 5 m**, habituales en obra, **no se segrega**
- La **velocidad de colocación**, debido a la ausencia de vibrado y la fluidez del HAC, es **muy superior** que para hormigones convencionales
- Estas propiedades, **aumentan la productividad**, lo que se presenta como una de las **principales ventajas competitivas** del HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b.3) Recubrimiento de armaduras

- Aunque el hormigón no se vibrado, en las estructuras hormigonadas con HAC se logra una **excelente adherencia**
- Es una gran ventaja para zonas de congestión de armaduras, donde con el vibrado convencional no puede asegurarse una verdadera transferencia de esfuerzos



2004 3 10

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b.4) Presiones sobre encofrados

- **Subestimar las presiones** de diseño del encofrado puede llevar a:
 - ♦ **Mala calidad** de construcción con deformaciones inadmisibles
 - ♦ Importantes problemas en lo que respecta a la **seguridad**
- Caso contrario, **sobrestimarlas** lleva a:
 - ♦ **Aumentos notorios en el costo** de la construcción
- Las presiones varían fuertemente con el tiempo y están influenciadas fundamentalmente por tres parámetros:
 - 1) **La velocidad de llenado** (m/hora)
 - 2) **El proceso de aumento de consistencia** (espesamiento)
- Las presiones máximas serán un equilibrio de ambos



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

b.4) Presiones sobre encofrados

- Cuando el hormigón es colado a **bajas velocidades** no se llega a importantes presiones
- En cambio, para **altas velocidades** de colocación, la **presión** en elementos de altura **puede aumentar de manera considerable**
- En la tecnología del HAC hay diversas opiniones, pero se coincide que hay **un incremento en las presiones**
- Este incremento de presiones está dado fundamentalmente por la **mayor velocidad de colocación y agilidad** que se tiene en obra, debido a la velocidad de descarga de los camiones y al no vibrar
- Ciertos estudios muestran que a igualdad de velocidad de colocación, el HAC puede llevar a **presiones de diseño un poco superiores**, pero el principal factor es la mayor velocidad de llenado, propia de los HAC
- En síntesis, **al trabajar con HAC debe estudiarse cada caso en particular y probablemente se obtengan encofrados más robustos y un poco más costosos**, debido a que se generan presiones del hormigón fresco superiores



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Principales propiedades en estado endurecido

- Es difícil encontrar HAC de categoría menor a H-30:
 - a) Elevado contenido de finos (principalmente cemento)
 - b) Empleo de aditivos de última generación
 - c) Se deben promocionar hormigones de resistencias medias y elevadas, para el mejor aprovechamiento de recursos y mayor durabilidad de las estructuras
- Por lo tanto, los HAC son hormigones de media y alta performance por sus propias características y ambientalmente amigables
- Se estudiarán las siguientes propiedades:
 - a) Resistencia
 - b) Durabilidad
 - c) Uniformidad
 - d) Variaciones dimensionales
 - e) Comportamiento del HAC en estructuras
 - f) Terminación Superficial



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a) Resistencia

- Como se mencionó, en la gran mayoría de los casos, los HAC presentan **resistencias superiores a 30 MPa**
- Respecto a la evolución de resistencias, presentan curvas muy similares a las de hormigones convencionales de igual categoría

El gráfico muestra la evolución de la resistencia a compresión (MPa) en función de la edad de ensayo (días) para dos tipos de hormigón: Hormigón Autocompactante (línea roja) y Hormigón Convencional (línea azul). El eje vertical representa la resistencia a compresión en MPa, con marcas de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40. El eje horizontal representa la edad de ensayo en días, con marcas de 0, 3, 7, 14 y 28. Ambas curvas muestran un aumento rápido de la resistencia en los primeros 7 días, seguido de un crecimiento más lento. La curva del hormigón autocompactante se sitúa por encima de la del hormigón convencional, indicando una mayor resistencia.

Edad de ensayo (días)	Hormigón Convencional (MPa)	Hormigón Autocompactante (MPa)
0	0	0
3	15	18
7	25	26
14	28	30
28	32	35

- La **resistencia a tracción es similar** a la de hormigones convencionales
- Con respecto al **Módulo de Elasticidad Estático y Dinámico** el **HAC presenta valores del 10-15% inferiores** que un hormigón convencional de igual categoría

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b) Durabilidad

- En general, son **hormigones libres de defectos y más durables**; presentan propiedades similares a hormigones convencionales de igual categoría
- Es muy importante destacar que en el hormigón colado en la estructura, **se eliminan los defectos de compactación** y con ello el **riesgo de debilidades en su vida útil**
- Ensayos realizados en el país, confirman que las propiedades de:
 - ♦ Penetración de cloruros
 - ♦ Coeficiente de succión capilar
 - ♦ Absorción
 - ♦ Permeabilidad al aire
 - ♦ Congelación y deshielose presentan **similares** a la de hormigones convencionales de igual resistencia
- De todos modos, la demanda de agua del HAC es superior a la de un hormigón convencional, por lo que a **igualdad de relación agua/cemento** presenta **mejores prestaciones el HAC**

La fotografía muestra un ensayo de laboratorio en un hormigón. Se observa un recipiente de plástico transparente que contiene una muestra de hormigón. El recipiente está conectado a un sistema de medición con cables de colores (rojo, azul, negro) que se conectan a un equipo de medición externo. El ensayo parece estar relacionado con la medición de propiedades de durabilidad como la succión capilar o la absorción.

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

c) Uniformidad

- Ensayos realizados sobre estructuras, revelan una **mayor uniformidad del HAC** comparado con hormigones convencionales de igual categoría:
 - ◆ Menor variación de resistencias en altura de tabiques y columnas
 - ◆ La resistencia de testigos varía entre el 90 y 95% de la resistencia de probetas, cuando para el hormigón convencional estos valores son del 80 al 90%
 - ◆ Los coeficientes de variación de diferentes propiedades disminuyen
- Estas experiencias demuestran que es posible obtener **estructuras más homogéneas** y con **menor probabilidad de presencia de defectos de colocación**
- Además, en la obra no **se piensa en “ablandar” el hormigón** adicionando agua, con lo que **se elimina el riesgo de esta disminución de performance** del hormigón en la estructura que **muchas veces se hace “a escondidas”**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

d) Variaciones Dimensionales

- Debido al **mayor contenido de pasta**, el HAC presenta en general **mayores variaciones dimensionales** comparado con un hormigón convencional:
 - ◆ **Incremento leve a moderado de contracción por secado**
 - ◆ **Incremento leve a moderado de fluencia lenta y creep**
- La magnitud del incremento depende de muchas variables como el tipo y contenido de cemento y adiciones, tipo y cantidad de agregados de diferentes tamaños, etc.
- Este **aumento de variación volumétrica** debe ensayarse en cada caso en particular, y se encuentra entre el **10 al 40%**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

e) Comportamiento del HAC en estructuras

- Una de las **principales debilidades** del HAC es su **falta de reglamentación**
- De todas maneras, como se describió, presentan prestaciones similares o superiores a hormigones de igual categoría
- Debido a la **amplia experiencia en el mundo** en obras de edificación, no debe existir el prejuicio que el hormigón va a comportarse de manera diferente en estado endurecido debido a su extremada fluidez en estado fresco
- En Mendoza, se están realizando **ensayos a escala real para verificar el HAC en ciertos tipos de estructuras** y comparar los resultados con los obtenidos para hormigones convencionales



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

f) Terminación superficial

- Una de las principales ventajas **muy valorable** desde lo **arquitectónico**, es la perfecta terminación superficial de los HAC
- Se necesitan **encofrados** con buena lisura superficial, sino se se presentarán defectos



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

f) Terminación superficial

- Si el encofrado presenta **irregularidades**, intencionales o no, el HAC lo **plasmará en el hormigón endurecido**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

f) Terminación superficial

- Muchas veces, se escoge el HAC por sus **excelentes condiciones estéticas**
- Para **pisos**, si se trabajan adecuadamente, se logra una **lisura muy buena** sin demasiado trabajo



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Consideración del HAC en las diferentes etapas del proyecto

- Para aprovechar **todo el potencial del HAC**, el mismo debe **tenerse en cuenta desde la concepción de la obra**. Sólo de esta manera:
 - ♦ El *arquitecto* podrá **diseñar formas esbeltas** o no convencionales y aprovechar las virtudes de un hormigón visto de excelente terminación
 - ♦ El *ingeniero* podrá **disponer sus armaduras** sin temor a defectos de vibrado
 - ♦ El *calculista* podrá disponer de la posible sobrerresistencia y **disminuir el volumen de hormigón y la cuantía de armaduras**
 - ♦ El *constructor* estará seguro que está realizando una **obra de calidad, sin el temor de obtener bajas resistencias**
 - ♦ El *cliente* podrá disponer de una obra **estéticamente agradable, resistente, durable y más económica**
- Ese es uno de los **principales aspectos a tener en cuenta**, ya que en este caso se maximizarán las **ventajas competitivas del HAC**



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Método Simplificado de Diseño de HAC

- 1er Paso - Recopilar antecedentes y planificación**
- ↓
- 2do Paso - Caracterización de los materiales constituyentes**
- ↓
- 3er Paso - Obtención de las propiedades en estado fresco en laboratorio**
- ↓
- 4to Paso - Obtención de propiedades en estado endurecido en laboratorio**
- ↓
- 5to Paso - Puesta a punto y ensayos a escala de obra**
- ↓
- 6to Paso - Seguimiento intenso en los primeros días de HAC en obra**
- ↓
- 7mo Paso - Adaptar el HAC a la obra y elemento estructural**
- ↓
- 8vo Paso - Control de Calidad y Seguimiento de Propiedades**

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Parámetros generales de diseño

Parámetros	Unidades	Valores recomendados	
		de	a
Relación Agua / Polvo	En volumen	0,80	1,10
Relación Agua / Cemento	En Peso	menor a	0,48
Contenido de Polvo	Volumen (litros/m ³)	160	240
	Peso (kg/m ³)	450	600
Pasta	Volumen del hormigón (%)	mayor a	40%
Agregado Grueso	Volumen del hormigón (%)	28	35
Agregado fino	Volumen del hormigón (%)	40%	50%
	Peso agregado total (%)	mayor a	50%
Contenido de Agua	Volumen (litros/m ³)	menor a	200
Contenido de aire	Volumen (%)	1,5	2,5
Proporción de Aditivos	Peso del cemento (%)	Depende de cada aditivo	

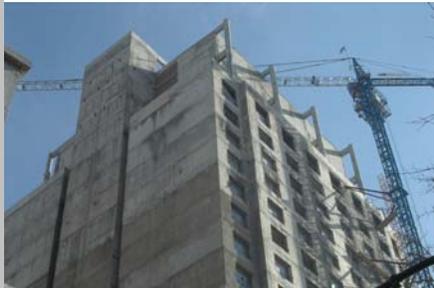
Polvo: Cemento + Adiciones + Fracción de agregados pasante tamiz # 100
Pasta: Polvo + Agua + Contenido de Aire

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Principales aplicaciones en Mendoza y en el país

- a) **Hormigón Estructural Sismorresistente**
- b) **Ensayos para verificar el comportamiento estructural del HAC**
- c) **Elementos premoldeados**
- d) **Piletas de almacenaje de vinos**
- e) **Otras aplicaciones en Argentina**

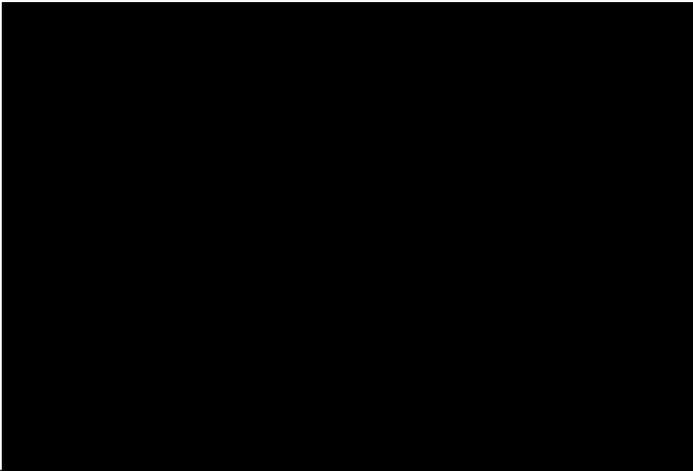




TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

a) Hormigón Estructural Sismorresistente

- El HAC vertido en el Hotel Sheraton-Huentala tuvo múltiples beneficios
- Se han vertido hasta el momento 2.500 m³ de HAC en la superestructura



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

b) Ensayos para verificar el comportamiento estructural del HAC

- En el laboratorio IMERIS de la UNC, se está realizando un completo proyecto para determinar la aptitud del HAC en elementos estructurales
- Para el proyecto se han moldeado:
 - 36 placas (losas mixtas)
 - 1 pórtico completo
 - Partes del pórtico por separado
 - 12 Columnas cortas



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

c) Elementos premoldeados

- Actualmente se provee HAC elaborado a una planta de prefabricado de:
 - ◆ Postes y placas
- Se escogió el HAC para eliminar los costos y mantenimiento de los equipos de vibrado y la mano de obra, además de conseguir excelentes terminaciones



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

d) Piletas de almacenaje de vinos

- Se escogió el HAC por los constantes defectos constructivos con el hormigón H-21 convencional, por el elevado costo de la puesta en obra y apuntando a una excelente terminación superficial
- Además, se logrará disminuir las fugas, obtener una mayor impermeabilidad y agilizar la productividad de la obra



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

e) Otras aplicaciones en Argentina



The collage consists of several images: on the left, construction workers in yellow hard hats and safety harnesses are working with rebar; in the center, a tall, modern building with a glass facade is under construction; on the right, a large-scale construction site shows a multi-story building's steel frame and rebar structure. The bottom part of the collage shows a close-up of rebar and formwork.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Acueducto Chaco



The collage shows construction workers in a field setting, a tall building under construction, and a close-up of a concrete pump truck's chute discharging concrete into a formwork. The bottom part of the collage shows a close-up of rebar and formwork.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Centro Cívico Córdoba



The image block contains four photographs. The top-left photo shows a construction site with a dense network of steel reinforcement bars and formwork for a concrete structure. The top-right photo shows a completed section of the building's facade, characterized by a complex, geometric, perforated pattern. The bottom-left photo shows the building from a distance during the day, highlighting its unique, angular, and perforated design. The bottom-right photo shows the building at night, illuminated from within, which makes the perforated facade glow and reveals the internal structure.

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Parques eólicos con torres de hormigón



The image block contains three photographs. The left photo shows a tall, slender, white concrete wind turbine tower standing in a field under a clear blue sky. The top-right photo shows a large, precast concrete tower section being transported on a multi-axle trailer by a truck, with a crane nearby. The bottom-right photo shows several concrete tower sections under construction at a site, with cranes and other construction equipment visible.

Rossetti Ingeniería
Complejo Eólico Trés Picos-A
22 de ago de 2019

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Vivienda Villa Gesell



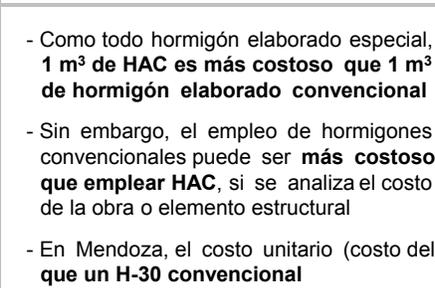
TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

- Como todo hormigón elaborado especial, **1 m³ de HAC es más costoso que 1 m³ de hormigón elaborado convencional**
- Sin embargo, el empleo de hormigones convencionales puede ser **más costoso que emplear HAC**, si se analiza el costo de la obra o elemento estructural
- En Mendoza, el costo unitario (costo del m³) del **HAC-30 es un 20 ± 5% mayor que un H-30 convencional**



- En compañías de hormigón elaborado de Buenos Aires y de otros países, este incremento de costos es similar o un poco superior
- Pero...

Porqué se está empleando cada vez más HAC?

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

- El HAC presenta una **cantidad muy importante de ventajas competitivas** si se lo compara con un hormigón convencional
- La visión de estas ventajas competitivas se comprende, si uno analiza al **HAC como un sistema constructivo** y no sólo como un material de construcción
- La aceptación del costo unitario adicional del HAC está fuertemente influenciado por los **beneficios económicos** de emplear el “sistema constructivo HAC”



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Costos directos (cuantitativos)	Valoración
1) Costo del m ³ de hormigón	☹️ ☹️
2) Tareas de compactación (equipos y mano de obra)	😊 😊 😊
3) Tareas de armado (material y mano de obra)	😊 😐
4) Encofrados (material y mano de obra)	☹️ ☹️
5) Tareas de desencofrado, protección y curado	😊 😐
6) Andamiaje y áreas de circulación	😊 😊
7) Tareas de “maquillaje” (material y mano de obra)	😊 😊

Costos variables entre un H° Convencional y un HAC




TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Costos variables entre un H° Convencional y un HAC	Costos indirectos (cualitativos)	Valoración
	8) Dosificación, mezclado y transporte	☹️
	9) Especialización de la mano de obra	😊😊
	10) Calidad de terminaciones del hormigón visto	😊😊😊
	11) Aumento de productividad y avance de obra	😊😊😊
	12) Disminución global de la mano de obra	😊😊😊
	13) Menor costo financiero de pagos	😊😊
	14) Disminución de presiones de bombeo	😊
	15) Incremento de la altura de bombeo para un equipo	😊😊
	16) Disminución de defectos involuntarios de vibrado	😊😊😊
	17) Solución al problema de refuerzos congestionados	😊😊😊
	18) Mayor control de calidad de materiales y del hormigón	☹️
	19) Mejoras del ambiente de trabajo (ej: ruidos)	😊😊😊
	20) Disminución de lesiones de espalda y brazo	😊😊😊
	21) Mayor seguridad y prevención de accidentes	😊😊😊
	22) Aseguramiento de un hormigón en obra de calidad	😊😊😊
	23) Menores costos de mantenimiento en la vida útil	😊😊

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Tanques de almacenamiento de gas natural en Osaka: 1999 en Japón

Hormigón: 12.000 m³ de H-60

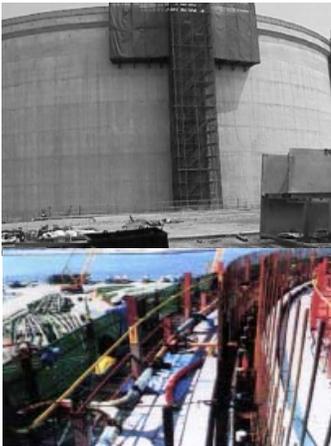
Dimensiones: 85 metros de diámetro
 38 metros de altura
 80 cm de espesor
 215.000 m³ de capacidad

Experiencia
 Se realizaron los mismos tanques con hormigón convencional y con HAC

Etapas de hormigonado
 Se redujo de 14 a 10, con lo cual la obra duró 4 meses menos (10% reducción del plazo)

Mano de obra
 Con hormigón convencional se requirió 1,5 h/m³, mientras que con el HAC se redujo a 0,35 h/m³

Reducción de costos
 El tanque de almacenamiento con HAC tuvo un **costo global del 8% inferior** al realizado con hormigón convencional



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Ejemplo para piletas de contención en Mendoza

Dimensiones: Largo: 15,00 m
Ancho: 6,00 m **Capacidad: 225 m³**
Altura: 2,50 m
Espesor de tabiques y piso: 0,20 m

Materiales: 45 m³ de hormigón elaborado
55 kg de acero por m³ de hormigón



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Ejemplo para piletas de contención en Mendoza Con el diseño definido	Hormigón H-21 Convencional Espesor: 0,20 m	Hormigón H-30 Autocompactante Espesor: 0,20 m	Variación
Resumen Mano de Obra			
Encofrado y Desencofrado	U\$\$ 3.840	U\$\$ 3.840	→ -
Armado	U\$\$ 2.665	U\$\$ 2.665	→ -
Colado	U\$\$ 1.225	U\$\$ 305	↓ \$ 75%
Reparación de superficies	U\$\$ 615	U\$\$ 150	↓ \$ 75%
Curado	U\$\$ 245	U\$\$ 245	→ -
Resumen Materiales			
Hormigón Elaborado (incl. aditivos)	U\$\$ 4.960	U\$\$ 6.450	\$ 30%
Encofrados	U\$\$ 2.330	U\$\$ 2.685	\$ 15%
Hierro	U\$\$ 3.150	U\$\$ 3.150	→ -
Alambre	U\$\$ 85	U\$\$ 85	→ -
Clavos	U\$\$ 130	U\$\$ 130	→ -
Material de reparación superficies	U\$\$ 240	U\$\$ 45	↓ \$ 75%
Resumen equipos			
Bomba	U\$\$ 600	U\$\$ 300	↓ \$ 50%
Vibrador	U\$\$ 150	U\$\$ -	↓ \$ 100%
Andamios	U\$\$ 200	U\$\$ 100	↓ \$ 50%
	U\$\$ 1.900	U\$\$ 400	
	U\$\$ 20.475	U\$\$ 20.150	↓ 1,4%

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES			
Hormigones autocompactantes - HAC			
<u>Ejemplo para piletas de contención en Mendoza</u> Pensando HAC desde el diseño	Hormigón H-30 Autocompactante Espesor: 0,20 m	Hormigón H-30 Autocompactante Espesor: 0,15 m	Variación
Resumen Mano de Obra			
Encofrado y Desencofrado	U\$S 3.840	U\$S 3.840	→ -
Armado	U\$S 2.665	U\$S 2.880	\$ 8%
Colado	U\$S 305	U\$S 230	↓ \$ 25%
Reparación de superficies	U\$S 150	U\$S 150	→ -
Curado	U\$S 245	U\$S 245	→ -
	U\$S 7.205	U\$S 7.345	
Resumen Materiales			
Hormigón Elaborado (incl. aditivos)	U\$S 6.450	U\$S 4.835	↓ m ³ 25%
Encofrados	U\$S 2.685	U\$S 2.685	→ -
Hierro	U\$S 3.150	U\$S 3.800	kg 16%
Alambre	U\$S 85	U\$S 100	kg 16%
Clavos	U\$S 130	U\$S 150	kg 16%
Material de reparación superficies	U\$S 45	U\$S 45	→ -
	U\$S 12.545	U\$S 11.465	
Resumen equipos			
Bomba	U\$S 300	U\$S 225	↓ \$ 25%
Vibrador	U\$S -	U\$S -	→ -
Andamios	U\$S 100	U\$S 100	→ -
	U\$S 400	U\$S 325	
	U\$S 20.150	\$ 19.135	↓ 4,4%

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Hormigones autocompactantes - HAC	
<p><u>Ejemplo para piletas de contención 2008 en Mendoza</u></p> <p>Para el caso en estudio y empleando precios actuales de mercado</p> <p>a) Con el diseño de la obra definido</p> <p>H-30 Autocompactante <i>presenta costos directos Similares (un poco inferiores) al H-21 Convencional</i></p> <p>b) Empleando HAC desde el diseño</p> <p>H-30 Autocompactante <i>6% más económico en costos directos que el H-21 Convencional</i></p>	<p>Y además hay que tener en cuenta:</p> <p>1) Que se emplea un hormigón de categoría superior y aumentará considerablemente su impermeabilidad, durabilidad, etc.</p> <p>2) No se han considerado costos indirectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Especialización de la mano de obra - Calidad de terminaciones del hormigón - Aumento de productividad - Disminución global de la mano de obra - Menor costo financiero de pagos - Disminución de presiones de bombeo - Incremento de la altura de bombeo - Disminución de defectos involuntarios - Solución a refuerzos congestionados - Mejoras del ambiente de trabajo - Disminución de lesiones - Seguridad y prevención de accidentes - Aseguramiento de una obra de calidad - Menores costos de mantenimiento

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

- 1- HAC se han desarrollado con éxito en Mendoza empleando **materiales localmente disponibles**
- 2- Esta nueva **tecnología constructiva elimina en buena parte la incertidumbre** que puede provocar el **error humano durante la colocación** o la falta de especialización, con lo cual las estructuras terminadas tienen un mayor grado de confiabilidad
- 3- Las mejoras de **resistencia, durabilidad y uniformidad** logradas con los HAC que se logran en las estructuras terminadas, deberían verse reflejado en los Reglamentos
- 4- Actualmente resulta **indispensable la normalización** de los procedimientos de ensayo del HAC en estado fresco, para fijar criterios de aceptación y rechazo
- 5- Deben desarrollarse **estudios de investigación** en Tecnología del Hormigón y comportamiento estructural del HAC, con materiales y tecnologías locales



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Hormigones autocompactantes - HAC

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

- 6- El HAC debe ser considerado desde la **concepción misma del proyecto** para que puedan explotarse al máximo todos sus atributos; de todas maneras, si no se ha considerado puede resultar muy valioso su empleo
- 7- Desde el punto de vista constructivo es **fundamental una evaluación económica** considerando no sólo el costo del material (m^3 de hormigón) sino también el de las **ventajas** asociados a su utilización
- 8- Hay que **difundir** en el medio el uso apropiado del HAC y cuáles son todos sus **beneficios directos e indirectos**, tanto para las diferentes personas involucradas en el diseño, construcción y proveedor de hormigón como para la estructura
- 9- Probablemente el HAC puede constituirse en la **tecnología del hormigón del futuro** y jugará un **rol protagónico en la industria de la construcción**



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Contenido	UNC - TdH - TEMA 10 – Hº ESPECIALES
	<p style="text-align: center;">CLASIFICACIÓN MODERNA DE Hº ESPECIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Definición y tipos de hormigones especiales
	<p style="text-align: center;">Hº ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Definiciones de H.A.R. y H.A.P. y avances ● Aplicaciones y ventajas competitivas
	<p style="text-align: center;">HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Generalidades, introducción y aplicaciones ● Comportamiento en estado fresco y endurecido ● Dosificaciones y aplicaciones ● Economía y costos de HAC
	<p style="text-align: center;">OTROS HORMIGONES ESPECIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Hormigones con valor arquitectónico ● Hormigones sustentables ● Hormigones de densidad baja o elevada ● Hormigones de colocación no convencional

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones coloreados

- El hormigón coloreado es un material que ofrece patrones de belleza diferenciados, quiebra la monotonía de las construcciones y puede ser más económico como terminación de superficies, además de reducir el mantenimiento

- Su utilización en otros países está ampliamente difundida y en América Latina existe una tendencia creciente a su utilización, con recientes aplicaciones en nuestro país

- **Aplicaciones:** hormigones vistos arquitectónicos, control de calidad de grandes obras, bloques y adoquines de hormigón

- Además de la calidad del hormigón como material, deben ser extremadamente cuidadas todas las tareas de puesta en obra





Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones coloreados

- Los hormigones coloreados se producen con:
 - 1) Cementos coloridos o blancos
 - 2) Pigmentos (2 al 5% del peso cemento)
- Al usar de pigmentos y cemento portland blanco se obtienen los mejores resultados
- Los agregados, agua, aditivos, encofrados y curado no deben decolorar el hormigón



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

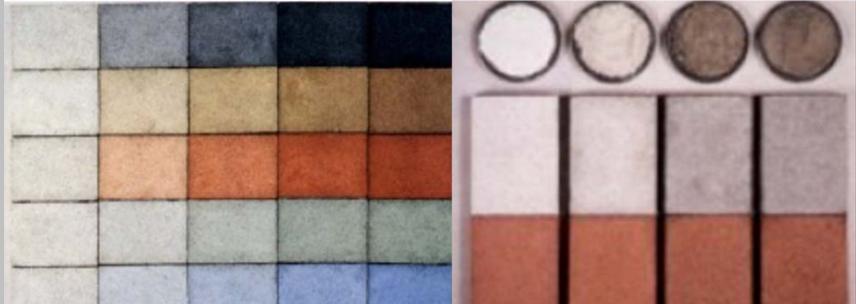
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones coloreados

- Los Pigmentos deben presentar las siguientes características:
 - Ser inertes con los demás componentes del hormigón o mortero
 - Insolubles en agua
 - Resistente a los álcalis
 - Resistentes a la acción a la luz y a la intemperie
 - Posibilidad de mezclarse fácilmente con el cemento
- En nuestro país actualmente se dispone de algunas marcas comerciales



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones coloreados



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones coloreados



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones coloreados



The image shows three vertical concrete cylinders on the left, each with a number (2, 3, 4) written on it. On the right, there is a photograph of a construction site showing a concrete wall under construction with rebar reinforcement and wooden formwork.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

*Hormigones coloreados
en Río Grande*



The image shows a paved walkway on the left, likely made of colored concrete, leading towards a building. On the right, there is a photograph of a cross-section of a concrete slab, showing a reddish-brown color in the top layer, which is the colored concrete.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón traslúcido

- Se trata de bloques de H° con fibras ópticas orientadas y paralelas y los mismos pueden usarse para fines estructurales
- El aspecto sombrío del hormigón es superado y tiene un fuerte impulso comercial, pese a que su costo es muy elevado
- Fue patentado en 2004 por un Arq. húngaro



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón traslúcido



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón fotografado

- Hormigón obtenido mediante la "impresión" en los encofrados de diferentes dosis de aditivos (retardadores superficiales), que pueden ser quitados al desmoldar



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

*Hormigón fotografado
(Bodega San Juan)*



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

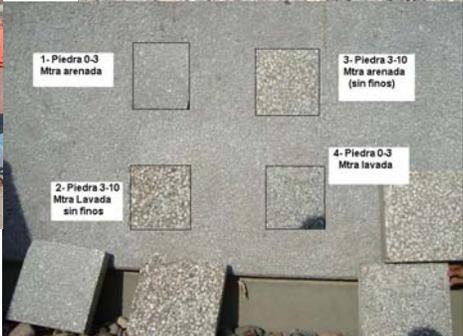
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón con agregado expuesto

- Se obtiene mediante la aspersion de retardantes sobre la cara expuesta y una vez que ha fraguado, se quita la capa superficial mediante hidrolavado



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón con agregado expuesto



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón agregado expuesto



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón estampado



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones reciclados

- Según el Eurocódigo 2, los hormigones elaborados con agregados reciclados procesados de la trituración de H°, deberán cumplir con los mismos requisitos que se exigen a un hormigón convencional
- Los agregados reciclados presentan, en general: elevada absorción de agua, densidad media y desgaste moderado
- Pueden emplearse agregados gruesos y/o finos reciclados en diferentes porcentajes de sustitución de agregados naturales. Según varios estudios, los mejores resultados se obtienen sustituyendo hasta 40% del agregado grueso
- Las resistencias son similares y los parámetros de durabilidad disminuyen levemente, respecto a H° convencionales
- Tienen una gran importancia medioambiental y su empleo comienza a crecer



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón “verde”

- El hormigón verde (green concrete), hormigón con alto contenido de adiciones u hormigón sustentable, está constituido por material cementante que contiene más del 40% de adiciones que no son clinker. La producción de clinker es la responsable del 8% de la contaminación mundial
- Surge como solución a problemas de índole tecnológico, económico y ecológico, ligadas a:
 - a) La producción del cemento
 - b) La necesidad de la eliminación de pasivos producidos por otras industrias (cenizas, escorias, microsílíce)
- Fundamentalmente se reduce la contaminación ambiental y cae el consumo de recursos naturales no renovables requiriendo menos energía, además de obtener H° de mayor durabilidad que si se utilizara sólo CPN
- Esta tendencia está muy arraigada en nuestro país en los últimos 10 años, acompañando los lineamientos de la comunidad europea

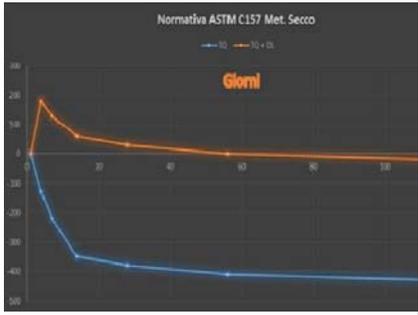


TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones de contracción compensada

- Existen diferentes tipos, pero los más empleados son aquellos que generan una expansión similar durante las primeras 24 horas a la esperable durante la vida útil del hormigón, creando tensiones de pre-compresión al inicio y luego deformaciones (y tensiones asociadas) casi nulas
- Debe contarse con ensayos de caracterización para definir el porcentaje de aditivo (generalmente alto del 1-3% del peso del cemento) y otros parámetros para el dimensionamiento del elemento (armaduras, postensado, etc.)
- Otras aplicaciones comprenden los hormigones con control de estabilidad volumétrica para la industria del pre-moldeado u otros llamados de “acción compactante” con el objeto de reducir al mínimo el riesgo de fisuración y los inconvenientes de durabilidad que se pueden asociar a las fisuras
- Es indispensable realizar ensayos con materiales locales antes de su empleo



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones de contracción compensada

- Las principales aplicaciones son en pisos industriales sin juntas de paños de 20 x 20 metros hasta 40 x 40 metros, los cuales deben poseer armaduras bien dimensionadas y posicionadas, como así también procedimientos específicos constructivos con un delicado y extensivo curado del hormigón



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones de contracción compensada

- Generalmente los aditivos son polvos inorgánicos que crean ligeras expansiones y cambian el menisco del agua y por ende la capacidad de perder agua por contracción por secado, dando mayor estabilidad volumétrica
- El costo unitario del aditivo y las armaduras de diseño, suelen hacer que estos hormigones no tengan tantas aplicaciones, salvo en industrias que requieren elevada planicidad y dónde el mantenimiento de juntas es tema muy relevante. Seguramente, cada vez tendrá más aplicaciones



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

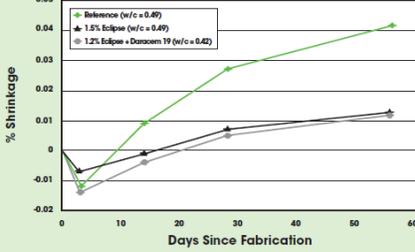
TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigones de contracción compensada

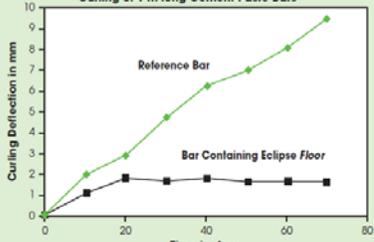
- Las dosis de los aditivos tienen que ser bien estudiadas y se ubican entre el 1 y 2% y no sólo depende de los materiales empleados sino de la condición de futura exposición (HR, temperatura)
- Asimismo deben ser acompañadas del diseño del piso industrial (ACI 302 y ACI 223R-10, siendo esta última la más moderna y específica)

Figure 6 — ASTM C 157 Shrinkage
 3 Day Cure, 385 kg/m³ (650 lbs/yd³) Cement



Days Since Fabrication	Reference (w/c = 0.49)	1.5% Eclipse (w/c = 0.49)	1.2% Eclipse + Daracem 19 (w/c = 0.42)
0	0.00	0.00	0.00
10	-0.015	-0.010	-0.005
20	-0.010	-0.005	-0.002
30	-0.005	-0.002	-0.001
40	-0.002	-0.001	0.000
50	-0.001	0.000	0.000
60	0.000	0.000	0.000

Figure 2 - Midpoint Deflection Measurements of Reference Cement Bar vs. Eclipse Floor Treated Bar
 Curling of 1 m long Cement Paste Bars



Time in days	Reference Bar (mm)	Bar Containing Eclipse Floor (mm)
0	0	0
10	2	0.5
20	4	1.5
30	6	1.5
40	7.5	1.5
50	8.5	1.5
60	9	1.5
70	9.5	1.5
80	9.5	1.5

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Contenido	UNC - TdH - TEMA 10 – Hº ESPECIALES
	CLASIFICACIÓN MODERNA DE Hº ESPECIALES
	Definición y tipos de hormigones especiales
	Hº ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE
	Definiciones de H.A.R. y H.A.P. y avances
	Aplicaciones y ventajas competitivas
	HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES
	Generalidades, introducción y aplicaciones
	Comportamiento en estado fresco y endurecido
	Dosificaciones y aplicaciones
	Economía y costos de HAC
	OTROS HORMIGONES ESPECIALES
	Hormigones con valor arquitectónico
Hormigones sustentables	
Hormigones de densidad baja o elevada	
Hormigones de colocación no convencional	

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Otros hormigones especiales	
Hormigón liviano estructural	
- En algunas provincias, existe producción de agregados livianos para hormigones, como la arcilla expandida (leka) o escorias de alto horno	
- En función del tipo de agregado, el peso específico del hormigón puede estar entre 1500 y 1900 kg/m³ , siendo en promedio un 30% más liviano que un hormigón convencional	
- Las categorías resistentes que pueden obtenerse oscilan de 15 a 40 MPa ; debiendo siempre consultar la disponibilidad económica en la región	
- Si se los considera desde el proyecto mismo, con el empleo de estos hormigones se puede:	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminuir el peso propio de estructuras ➤ Aumentar la resistencia al fuego ➤ Aumentar el confort termo-acústico ➤ Reducir costos de calefacción / refrigeración 	

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón liviano estructural




Peso específico del agregado



Peso espec. H°	Resistencia del H°	Agregado
160	0,7 a 5 MPa	Vermiculita exp.
320	0,7 a 5 MPa	Perita exp.
480	5 a 10 MPa	Pómez
640	5 a 10 MPa	Escorias
800	17 a 40 MPa	Arcilla y esquistos exp.
800	17 a 40 MPa	Sinterizadas
800	17 a 40 MPa	Arcilla expand.
800	17 a 40 MPa	Cenizas
800	17 a 40 MPa	Escorias exp.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón liviano estructural

4 últimos niveles
Torre Catalina



Losas colgantes
Edificio Pirelli



ACI 213R-03

**Guide for Structural
Lightweight-Aggregate Concrete**

Reported by ACI Committee 213

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón alivianado (no estructural)

- Son **muy solicitados** a los proveedores de hormigón elaborado, debido a la **incomodidad y lentitud de producción en obra**, cuando es necesario:
- **Aislación térmica** en viviendas o azotea de edificios, ya que su coeficiente de **conductividad térmica es 2 a 8 veces inferior** que un H° convencional
- **Brindar pendientes** en estructuras, alivianando las mismas
- Su peso específico se regula entre 800 y 1600 kg/m³ y pueden elaborarse:
 - Empleando **agregados livianos** (ej: pomeca)
 - Empleando perlitas de **poliestireno expandido**
 - Empleando **aditivos espumígenos**
- No todos estos hormigones son bombeables, debiendo tener en cuenta la dosificación (contenido de cemento, peso específico) y la eficiencia de los medios de colocación para hormigones alivianados



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón alivianado (no estructural)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



Aspecto en fresco de alivianados espumígeno + Perlitas PSE



Aspecto en endurecido de alivianados con espumígeno + Perlitas PSE

La base del pedido es el peso específico que comunica el proyectista

Puede haber otros requerimientos de resistencia a compresión, pero bajos de 0,5 a 4 MPa (por ejemplo para clavarlos o fijar tabiquería)

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Relleno de densidad controlada (RDC)

- Los **RDC** son mezclas de cemento, arena, aditivos (espumígenos) y agua, que presentan una **consistencia muy fluida** que les permite **compactarse y, en general, nivelarse sólo por acción de la gravedad**
- **No son hormigones estructurales**, sino “rellenos”; su resistencia a compresión no sobrepasa los 5 MPa y la mayoría de sus aplicaciones emplean **resistencias menores a 2 MPa**; por lo que también los RDC son llamados **morteros de baja resistencia controlada** o rellenos fluidos cementíceos



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

- En función de sus **aplicaciones y requisitos**, como la posibilidad o no de su futura excavación, las densidades varían entre **1600 a 2000 kg/m³**
- El RDC fundamentalmente **reemplaza al suelo compactado**, sin la **incertidumbre e influencia** de la **mano de obra** de éste, o en algunos casos la **imposible accesibilidad** para su compactación, además de **agilizar el avance** en gran forma de los proyectos en los cuales se emplea



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

- Cuando se emplea para el **relleno de zanjas y camas de conductos**; debe evaluarse siempre si en un futuro **puede o no ser necesaria una nueva excavación**, debiendo especificar al proveedor:
 - Resistencia < 0,5 MPa → Posteriormente excavable a mano
 - Resistencia 0,5 a 1,0 MPa → Posteriormente excavable a máquina
 - Resistencia > 1,0 MPa → No excavables



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

- Otras de las principales aplicaciones es el **recalce de fundaciones o estribos** o el **llenado** de huecos, depresiones, hundimientos, pase de instalaciones, etc. de **imposible acceso para la compactación del suelo**
- En estos casos, la elevada fluidez del RDC y la resistencia garantizada (sin vibrado) superior a un suelo compactado, permite garantizar el apoyo y transferencia de cargas al terreno



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

- Entre las principales **ventajas**, figuran:
 - Reduce los costos de excavación
 - Resistente y no erosionable
 - Habilitación rápida de caminos sobre zanjas rellenadas
 - Mejora la seguridad de los operarios, ya que no entran a zanjas
 - Llena vacíos inaccesibles
 - Puede ser posteriormente excavado
 - No requiere casi ensayos, mano de obra ni equipamiento para compactar
 - Reduce el equipamiento necesario
 - No es afectado por la humedad, eliminando el hundimiento de pavimentos



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

*RDC como base de apoyo
y nivelación*



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

Capacidad soporte y nivelación de la base de apoyo

- Los RDC son de suma utilidad en los lugares **difícilmente accesibles** y que **no puede garantizarse una buena compactación de un suelo de calidad**
- **Son materiales económicos de relleno muy versátiles**, pero lamentablemente son a veces poco empleados por desconocimiento o escepticismo



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

- Se puede emplear para llenar lugares de difícil compactación (o control), teniendo una gran productividad y asegurando la calidad de los trabajos
- Rellenos de tabiques de piletas, tapadas de años, rellenos contra hormigón existente de estribos de puentes o alcantarillas, etc.



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

Existen relaciones probadas entre resistencias a penetración Proctor y CBR (de suelos) y las resistencias a compresión de RDC

En muchas regiones, que no cuentan con suelos de adecuada capacidad portante se emplea como RDC en pavimentos de todo tipo de tránsito

Esto también es extrapolable a estructuras hidráulicas y

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Los RDC son materiales muy versátiles. Se establece una categorización en función del uso o aplicación:

- RDC Tipo 1 - Resistencias de 5 a 8 kg/cm² a 28 días para usos de rellenos general.** Es empleado cuando no es un criterio relevante la capacidad portante y transmisión de esfuerzos (relleno entre excavaciones en Figura 2) y cuando por alguna razón exista la posibilidad de que deba excavar a mano (pala) sin mucho esfuerzo.
- RDC Tipo 2 - Resistencias de 9 a 13 kg/cm² a 28 días para usos de rellenos que necesiten una habilitación más temprana** desde el punto de vista constructivo (desenformado lateral a las 48 horas, por ejemplo) o colado de diferentes capas de determinada altura (ej. 1 metro) en dos días consecutivos.
- RDC Tipo 3 - Resistencias de 14 a 20 kg/cm² para tapado de conductos específicos,** que se prefiere que sean excavables a máquina (instalaciones, cañeros, etc.). Por ejemplo, para tapadas de cloacas en reparaciones de pavimentos, que no provocará su hundimiento típico por deficiencias de compactación y agilizará los trabajos.
- RDC Tipo 4 - Resistencias de 21 a 29 kg/cm² cuando sobre éstos van a circular vehículos como camiones,** siempre con carpeta de rodamiento superior de hormigón. Esta especificación estará dada fundamentalmente por el calculista del pavimento o piso industrial y la capacidad o módulo deseado de la base.
- RDC Tipo 5 - Resistencias de 30 a 40 kg/cm² cuando sobre éstos van a circular vehículos muy pesados o cuando se desea reemplazar el "hormigón pobre"** o suelo-cemento, en el caso de pavimentos. Este requerimiento tipo de RDC es el que especifica la Dirección Nacional de Vialidad que solicita 21 kg/cm² a 7 días, material ampliamente utilizado en la infraestructura vial del noreste argentino (Figura 3).
- RDC Tipo 6 - Resistencias » 40 kg/cm².**

Las resistencias dependerán de la calidad de los materiales y de la formulación, pero sólo a título orientativo se presentan en función de experiencias locales en más de 10 provincias los siguientes contenidos de cemento.

- RDC Tipo 1 - 4 a 8 kg/cm² a 28 días:** Contenido de cemento 70 + 20 kg/m³
- RDC Tipo 2 - 9 a 13 kg/cm² a 28 días:** Contenido de cemento 95 + 20 kg/m³
- RDC Tipo 3 - 14 a 20 kg/cm² a 28 días:** Contenido de cemento 140 + 30 kg/m³
- RDC Tipo 4 - 21 a 30 kg/cm² a 28 días:** Contenido de cemento 180 + 30 kg/m³
- RDC Tipo 5 - 31 a 40 kg/cm² a 28 días:** Contenido de cemento 210 + 30 kg/m³

Respecto a las densidades en fresco, los valores varían en función principalmente de la arena empleada y la demanda de agua total. Los pesos unitarios varían habitualmente de 1.550 a 1.800 kg/m³, debiendo realizar los ensayos de ajuste para el cierre del m³ despachado.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

Caracterización de RDC en estado fresco



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Relleno de densidad controlada (RDC)

Caracterización de RDC en estado endurecido



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón permeable

- Es un hormigón con nula o poca cantidad de arena, de asentamientos muy bajos que permite una red de huecos conectados, ya que su estructura está constituida por el agregado grueso adherido (triturado 3/8 a 3/4“)
- Debe realizarse un diseño inferior del drenaje, ya que deja pasar todo el agua que cae sobre él de forma bastante rápida y hacer mantenimiento superficial
- Pueden lograrse categorías H-17 a H-25 con resistencias a flexión de 3,0 a 4,0 MPa para pavimentos de medio o baja tránsito

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón permeable

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón pesado

- El peso por unidad de volumen del **H° normal** varía, según su composición, de **2,2 a 2,4 t/m³**
- El **peso específico del H° pesado (entre 2,8 y 6,4 t/m³) depende** fundamentalmente del **peso específico del agregado** empleado
- El H° pesado es muy **eficaz** para **impedir el paso de radiaciones** gama, de neutrones y RX

- Aplicaciones:
Centrales nucleares, estructuras para impedir paso de radiaciones o almacenar sustancias tóxicas y contaminantes (**blindaje**)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

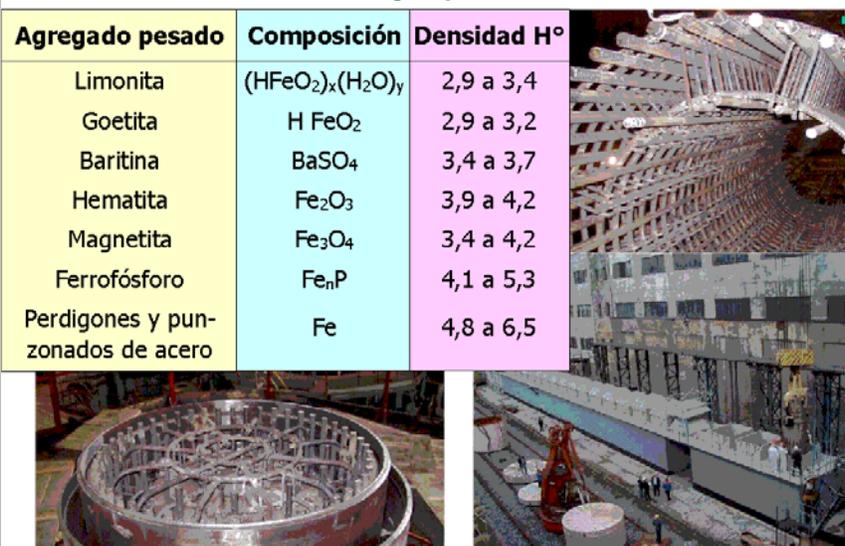
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón pesado

Agregado pesado	Composición	Densidad H°
Limonita	$(HFeO_2)_x(H_2O)_y$	2,9 a 3,4
Goetita	H FeO ₂	2,9 a 3,2
Baritina	BaSO ₄	3,4 a 3,7
Hematita	Fe ₂ O ₃	3,9 a 4,2
Magnetita	Fe ₃ O ₄	3,4 a 4,2
Ferrofósforo	Fe _n P	4,1 a 5,3
Perdigones y punzonados de acero	Fe	4,8 a 6,5



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales




Hormigón pesado con esferas "perdigones" metálicos en RA-10 (Ezeiza)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón pesado

- Su uso está muy restringido a aplicaciones nucleares y su especificación se suele realizar por densidad. Con esta densidad se modela lo que es la absorción atómica y necesidades de otro tipo de blindajes en reactores
- En los trabajos de colocación, hay que prestar atención a la segregación

ACI 304.3R-96

**Heavyweight Concrete:
 Measuring, Mixing, Transporting, and Placing**

Reported by ACI Committee 304

**Standard Practice for Selecting Proportions for
 Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)**

(Reapproved 2002)
 Reported by ACI Committee 211

Tabla 1: Ejemplos de dosificaciones de hormigones pesados.

Materiales	Unidades	Ejemplo 1		Ejemplo 2	
		Peso	Volumen	Peso	Volumen
Agua	litros / m ³	165	17%	175	18%
Cemento CPx 40	kg / m ³	340	10%	360	11%
Arena mezcla convencional	kg / m ³	660	25%	610	23%
Agregado grueso pesado	kg / m ³	2270	48%	2290	48%
Reductor de agua	kg / m ³	1,5	-	2,0	-

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Contenido	UNC - TdH - TEMA 10 – Hº ESPECIALES
	CLASIFICACIÓN MODERNA DE Hº ESPECIALES
	Definición y tipos de hormigones especiales
	Hº ALTA RESISTENCIA Y ALTA PERFORMANCE
	Definiciones de H.A.R. y H.A.P. y avances
	Aplicaciones y ventajas competitivas
	HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES
	Generalidades, introducción y aplicaciones
	Comportamiento en estado fresco y endurecido
	Dosificaciones y aplicaciones
	Economía y costos de HAC
	OTROS HORMIGONES ESPECIALES
	Hormigones con valor arquitectónico
	Hormigones sustentables
Hormigones de densidad baja o elevada	
Hormigones de colocación no convencional	

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES	
Otros hormigones especiales	
Hormigón compactado a rodillo (HCR)	
	- Es una mezcla de Hº (seca) con asentamiento nulo que se compacta con rodillos vibratorios o neumáticos , como un terraplén
	- Es un Hº en masa al que se lo compacta con maquinarias viales
	- Ensayos de control de calidad en obra de densidad
	- Aplicaciones:
	1) Obras hidráulicas (presas)
	2) Obras viales (calzadas)
	

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón compactado a rodillo (HCR)

- **Cemento:** Pozolánico, BCH, contenido entre **75 y 120 kg/m³ en presas** y entre **200 y 300 kg/m³ en pavimentos**
- Generalmente se emplean **adiciones minerales** (Cenizas volantes)
- Se obtienen resistencias de **10 a 40 MPa**



- La **consistencia** se determina con el **ensayo Vebe**, con tiempos de remoldeo de 10 a 20 seg en presas y 30 a 90 seg en pavimentos

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón proyectado (shotcrete)

- Las principales aplicaciones del hormigón proyectado se centran en túneles, mantenimiento de taludes; pero también pueden emplearse en obras de baja y mediana envergadura como piletas o sub-muraciones o bien como técnica para reparación o rehabilitación de estructuras
- Existen dos métodos de proyección: vía seca y vía húmeda, siendo más empleada en la actualidad la segunda que consiste en emplear un hormigón de consistencia fluida (15 a 20 cm) y luego inyectar el aditivo acelerante de fragüe en la boquilla de proyección



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón proyectado (shotcrete)

- Existe mucha bibliografía internacional y en general suelen basarse en las recomendaciones del Comité ACI 506. En general se trabaja con TMN de 9 a 12 mm como máximo y CUC superiores a 380-400 kg/m³
- Los aditivos acelerantes deben ser compatibles con el cemento y se suelen incorporar en dosis muy elevadas como 5 al 9% del peso del cemento
- En muchos casos se emplean fibras metálicas cuando son estructurales y se utiliza como un refuerzo discreto, mientras que cuando cumplen funciones de sostén puramente pueden emplearse macro-fibras plásticas para reducir el grado de fisuración y mejora en general las propiedades mecánicas y de impermeabilidad (evitar que el agua del muro lo atraviese)

<u>ACI 506R</u>	<u>ACI 506.1R</u>
Guide to Shotcrete	Committee Report on Fiber Reinforced Shotcrete
Reported by ACI Committee 506	Reported by ACI Committee 506
	<u>ACI 506.4R</u>
Specification for Shotcrete (ACI 506.2 Guide for the Evaluation of Shotcrete	
Reported by ACI Committee 506	Reported by ACI Committee 506

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón proyectado (shotcrete)

Proyectado con fibras metálicas de refuerzo (estructurales)



Hº Proyectado con macro-fibras plásticas
Que reducen riesgo de fisuración y por ello incrementan las resistencias mecánicas

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón proyectado (shotcrete)

- Si bien se suelen moldear probetas para el control, las mismas no suelen ser representativas ya que no se tiene en cuenta el efecto de la proyección (genera una mayor porosidad) y del acelerante que quita resistencia final
- Lo recomendable es proyectar artesas, paneles o cajones, de 50 a 60 cm de lado y 7 a 10 cm de profundidad, para luego extraer y ensayar testigos a diferentes edades (encabezado y rotura convencional)



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón proyectado (shotcrete)

- Es muy relevante contar con un equipo de proyección (maquinaria y personal) capacitado, para reducir el rebote y optimizar tiempos de proyección
- Algunos comentarios útiles para la proyección:
 - Debe colocarse el hormigón minimizando el rebote, siendo recomendable comenzar desde abajo hacia arriba
 - La velocidad de la boquilla se ajusta para obtener mejor adherencia
 - La boquilla es recomendable que esté perpendicular y entre 1 y 2 metros
 - Brindar las condiciones de seguridad y accesibilidad para la proyección
 - No es recomendable aplicar en superficies donde exista agua acumulada



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón proyectado (shotcrete)

Hormigón proyectado en túneles con fibras metálicas



Sostenimiento de taludes con macro-fibras plásticas



Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

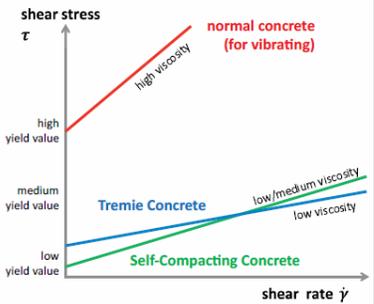
Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón a colar bajo agua (o lodo bentonítico)

- Deben diseñarse no sólo hormigones cohesivos, sino también técnicas constructivas muy cuidadas y realizadas por cuadrillas capacitadas
- El hormigón debe poseer un contenido medio a alto de cemento (en general mayor a 360-380 kg/m³), su TMN no debe ser elevado (≤ 25 mm), es recomendable el aire incorporado y su relación a/c debe ser baja ($\leq 0,45$)
- Además y en casos especiales, las fibras plásticas suelen dar muy buenos resultados, como así también los aditivos anti-deslave (anti-washout)



The graph plots shear stress (τ) on the y-axis against shear rate ($\dot{\gamma}$) on the x-axis. Three curves are shown: 1) Normal concrete (for vibrating) is a red line with a steep slope labeled 'high viscosity', starting at a 'high yield value'. 2) Tremie Concrete is a blue line with a moderate slope labeled 'low/medium viscosity', starting at a 'medium yield value'. 3) Self-Compacting Concrete is a green line with a shallow slope labeled 'low viscosity', starting at a 'low yield value'.

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón a colar bajo agua (o lodo bentonítico)

- Existen ensayos específicos que sirven para cuantificar la capacidad de deslave del hormigón al entrar en contacto con el agua (Cuerpo Ingenieros CRC-C 61-89A)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón a colar bajo agua (o lodo bentonítico)

- El método de colocación más tradicional es el denominado “Tremie”, que viene del francés “tubería” y consiste en asegurarse que la tubería siempre esté llena de hormigón (y sumergida en él) e ir la retirando para que el hormigón fresco entre en contacto con otro hormigón y no con el agua para evitar su deslave (segregación por lavado y contacto con el agua)
- De esta manera, el hormigón “que aparece arriba” al concluir el llenado, será el primero que fue colocado ya que va desplazando el agua o lodo bentonítico por ascenso del hormigón y por diferencia de densidad

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Hormigón a colar bajo agua (o lodo bentonítico)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Procedimiento constructivo de muro colado (lodo bentonítico)

FIGURE 1: Examples of Deep Foundations

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Procedimiento constructivo de muro colado (lodo bentonítico)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Procedimiento constructivo de muro colado (lodo bentonítico)

Cátedra: Tecnología del Hormigón - Ing. Maximiliano SEGERER

Facultad de Ingeniería – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TEMA 10 – HORMIGONES ESPECIALES

Otros hormigones especiales

Control de calidad mediante testigos calados de muro colado (lodo bentonítico)

