



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Mendoza

Ce.Re.De.Te.C

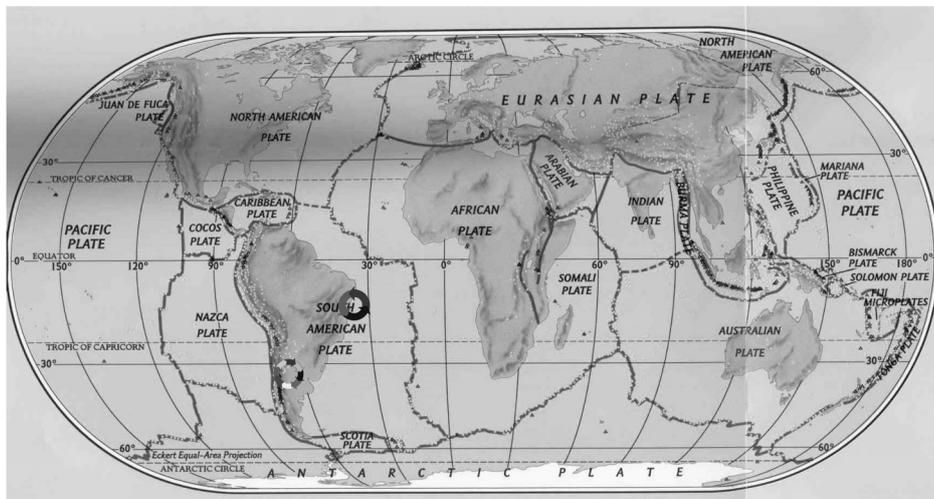
**Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción,
Sismología e Ingeniería Sísmica**

HSC Designed by Three Mixture Proportioning Methods. How much Different Are They?

Autores: Graciela Maldonado - Paulo Helene

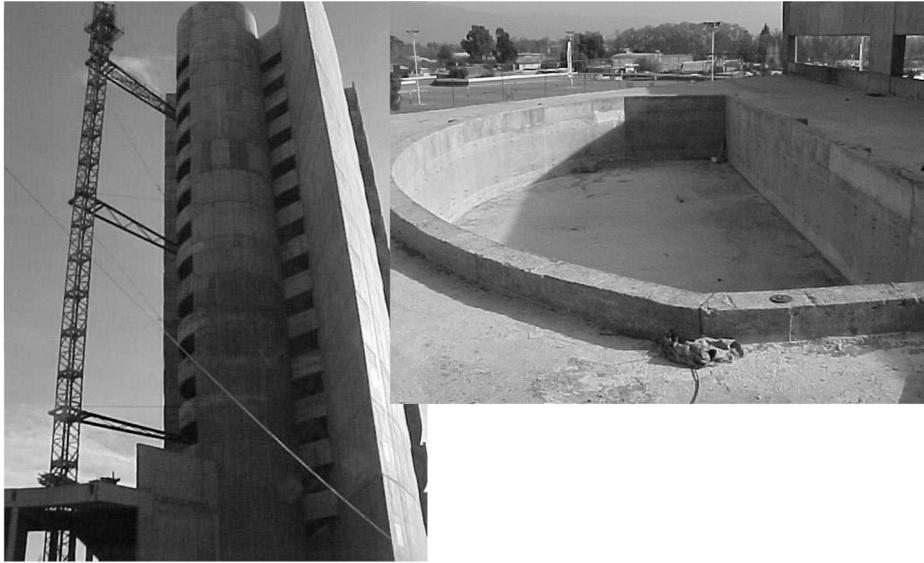
1

Justificación



2

Justificación



3

Objetivos

- **Seleccionar el mejor método de dosificación para una zona de alto riesgo sísmico.**
- **Contribuir al desarrollo tecnológico de los hormigones de alta resistencia y performance.**

4

Metodología

- Se eligieron tres métodos conocidos para confeccionar las mezclas con los materiales locales:
- ✓ Método del American Concrete Institute
- ✓ Método del Instituto del Cemento Portland Argentino
- ✓ Método de la Universidad de São Paulo

5

Materiales utilizados

- ◆ Cemento portland CPN 40
 - ASTM tipo I
 - ASTM tipo III
- ◆ Agregado grueso
 - rodado natural
 - rodado natural partido
- ◆ Agregado fino
 - arena natural rodada lavada
 - arena natural rodada relavada
- ◆ Aditivos
 - plastificante
 - superplastificante
- ◆ Agua

6

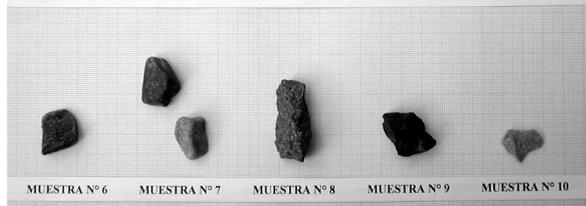
Características de los cementos

Tipo de cemento	Composición potencial de Bogue				Finura Blaine	W/C de la pasta	28 d -f _{cc}
	SC ₃	SiC ₂	AC ₃	FAC ₄			
	%	%	%	%	m ² /kg	kg / kg	MPa
CPN-40ARI (ASTM tipo III)	61.0	14.9	1.9	13.9	399	0.5	42.8
CPN-40 (ASTM tipo I)	59.5	15.9	2.7	13.4	308	0.5	43.7

7

Agregados gruesos

Canto rodado natural



Canto rodado natural partido

8

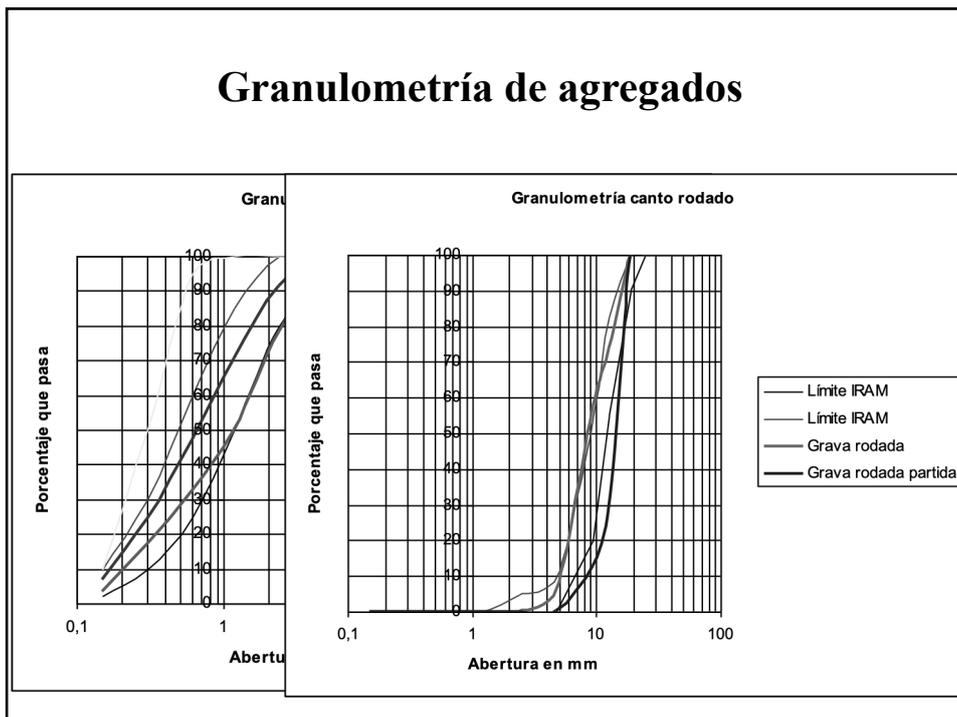
Características de los agregados gruesos

Agregado grueso	Roca original en porcentaje del peso	Densidad	Absorción	Tamaño máximo	Coeficiente Los Angeles ASTM C 535
		kg/m ³	%	mm	
Grava de río rodada	granito, riolita, sílice 70% basalto, andesita 14.5%	2,57	0.20	19	20
Grava rodada partida*	granito, riolita, sílice 39% basalto, andesita 40%	2,54	0.16	19	14

* La grava rodada partida se obtiene por quebrantamiento de grava rodada de mayor tamaño.

9

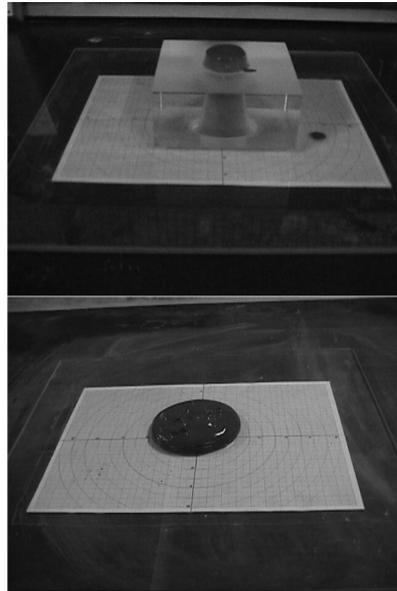
Granulometría de agregados



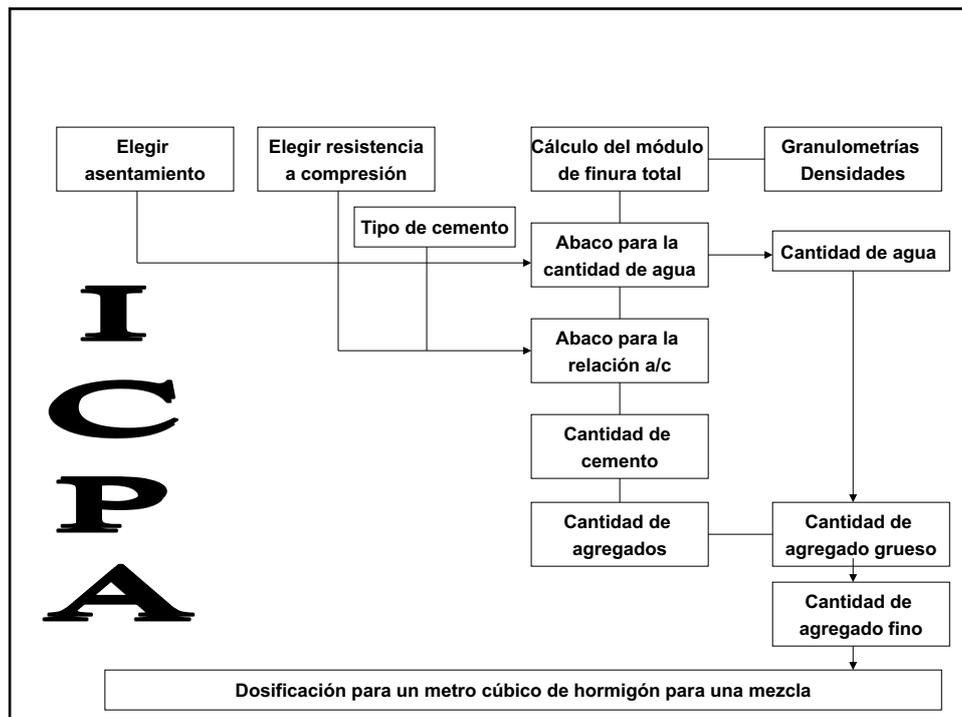
10

Características de los aditivos usados

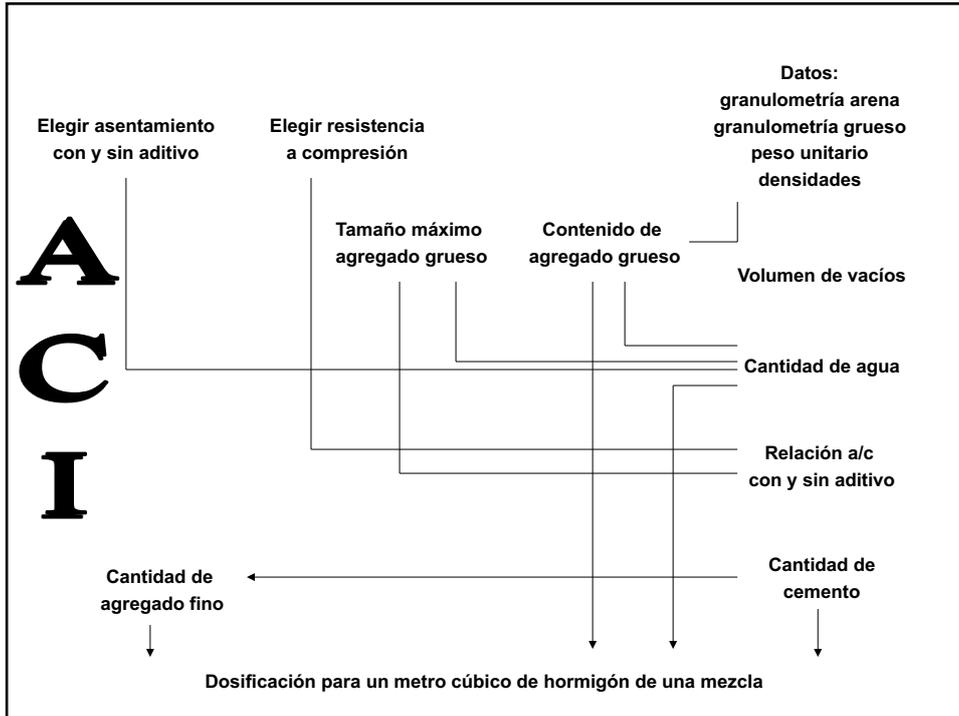
- **Plastificante:** dosis usada 0,3% en peso del cemento
Lignosulfonato modificado
 29% tenor de sólidos
- **Superplastificante:** dosis usada la necesaria para alcanzar el asentamiento
Polímero melamínico modificado
 42% tenor de sólidos
- **Ensayo de compatibilidad de aditivos y cemento:** método del cono de Kantro



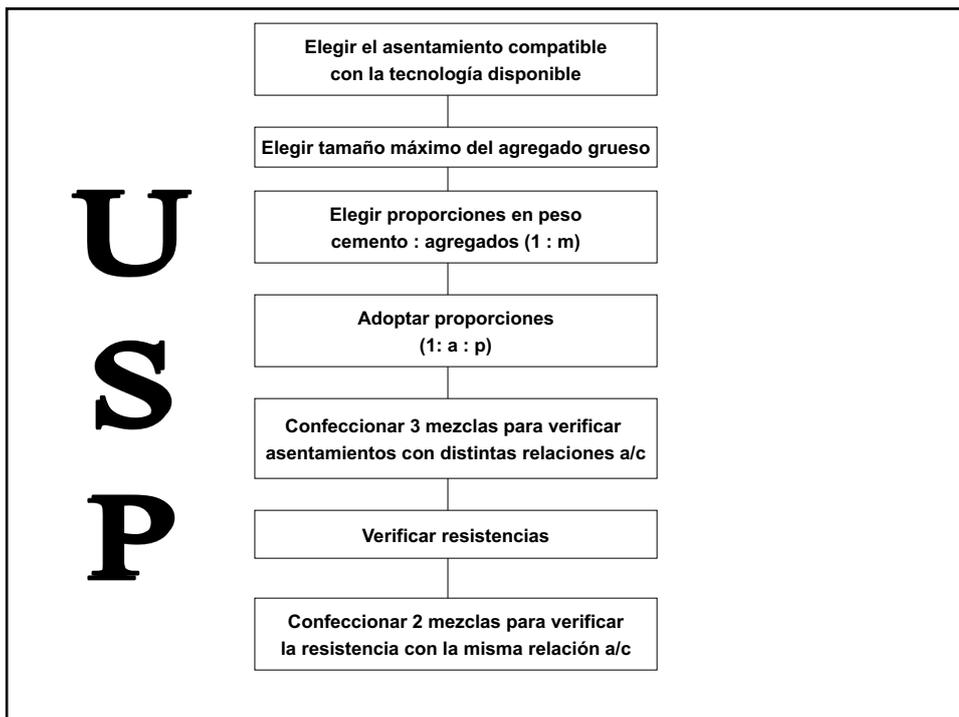
11



12



13



14

Programa de ensayos

- Trabajos previos
- Mezclado
- Probetas para ensayos
- Ensayos de laboratorio

15

Proporciones de las mezclas

Series de mezclas	Tipo de agregado grueso	Tipo de cemento	1:m cemento/ agregados	1:s:g cemento / arena / grava	Slump	Costo	C	W/C
					mm	us\$/m ³	kg/m ³	
Método del ACI								
1.2	Grava de río rodada	ASTM tipo III	1: 3.87	1: 1.25 : 2.61	120	96.96	450	0.40
2.1	Grava de río rodada partida		1: 2.31	1: 0.45 : 1.85	110	119.67	666	0.27
9.1	Grava de río rodada lavada	ASTM tipo I	1: 2.78	1: 0.71 : 2.09	120	98.96	590	0.30
Método del ICPA								
3.1	Grava de río rodada (RRG)	ASTM tipo III	1: 2.85	1: 1.23 : 1.84	150	103.81	580	0.30
4.1	Grava de río rodada partida		1: 2.55	1: 1.01 : 1.52	140	146.94	660	0.24
8.1	Grava de río rodada lavada	ASTM tipo I	1: 3.23	1: 1.16 : 2.08	140	91.71	531	0.30

16

Proporciones de las mezclas

Series de mezclas	Tipo de agregado grueso	Tipo de cemento	1:m cemento/ agregados	1:s:g cemento / arena / grava	Slump	Costo	C	W/C
					mm	us\$/m ³	kg/m ³	
Método de la USP								
5.1	Grava de río rodada	ASTM tipo III	1: 2.0	1: 0.62 :1.38	120	119.02	730	0.27
5.2			1: 2.4	1: 0.84 :1.56	140	111.98	645	0.30
5.3			1: 2.8	1: 1.05 :1.75	120	98.72	578	0.34
6.1	Grava de río rodada partida (CRRG)	ASTM tipo I	1: 2.0	1: 0.71 :1.29	130	151.25	735	0.20
6.2			1: 2.4	1: 0.94 :1.46	150	137.20	673	0.22
6.3			1: 2.8	1: 1.16 :1.64	140	125.17	594	0.25
7.1	Grava de río rodada partida	ASTM tipo I	1: 2.0	1: 0.65 :1.35	120	97.40	718	0.31
7.2			1: 2.4	1: 0.87 :1.53	120	80.15	582	0.35
7.3			1: 2.8	1: 1.09 :1.71	120	83.28	570	0.39
10.1	Grava de río rodada lavada (WRRG)	ASTM tipo I	1: 2.0	1: 0.71 :1.29	120	105.00	713	0.28
10.2			1: 2.4	1: 0.94 :1.46	110	97.00	640	0.32
10.3			1: 2.8	1: 1.17 :1.63	120	84.00	565	0.36

17

Confección de mezclas y condiciones de ensayo

Orden de incorporación de los materiales

1°) agregado grueso

2°) 80% del agua

3°) cemento

4°) plastificante

5°) agregado fino

6°) resto de agua + superplastificante

Tiempo de mezclado:
mínimo 5 minutos



18

Confección de mezclas y condiciones de ensayo

**Ensayos en laboratorio :
a temperatura ambiente**

- **Ensayo del cono de Abrams**
- **Determinación del peso unitario del hormigón**
- **Determinación del contenido de aire: aparato de Washington**



19

Confección de mezclas y condiciones de ensayo

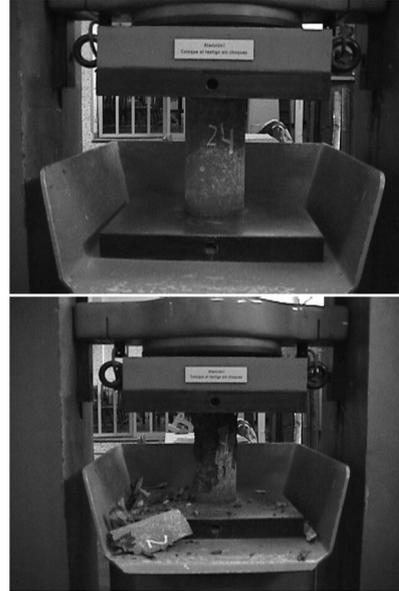
- **Curado húmedo hasta la fecha de ensayo**
- **Probetas para ensayos mecánicos**
 - Ø 10 cm x 20cm
 - Ø15 cm x 30 cm
- **Probetas para ensayos de durabilidad**
 - Ø15 cm x 5 cm



20

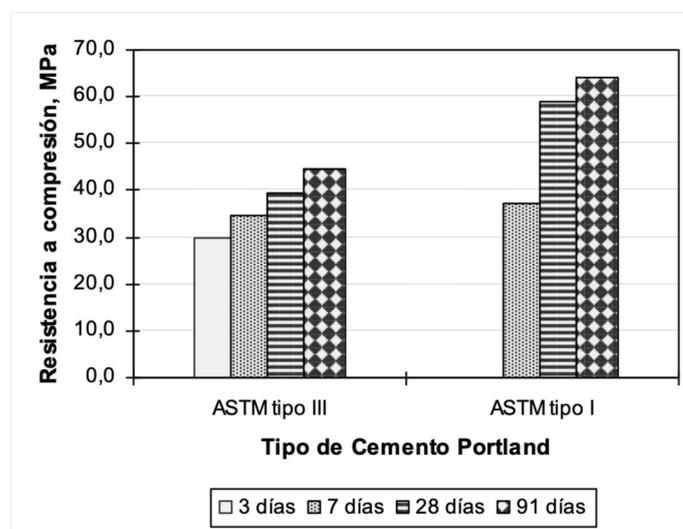
Resistencia a compresión

- **Ensayo de resistencia a compresión IRAM 1546**
- **Condiciones del ensayo: curado de las probetas, encabezado o pulimentado de cabezas, excentricidades de carga**



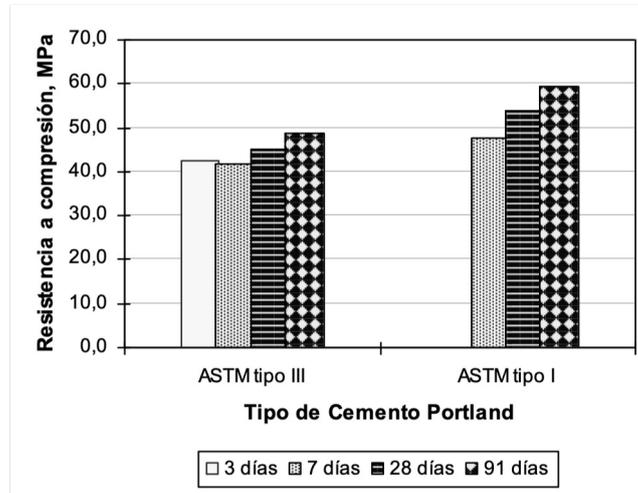
21

Resistencia a compresión: Método del ACI



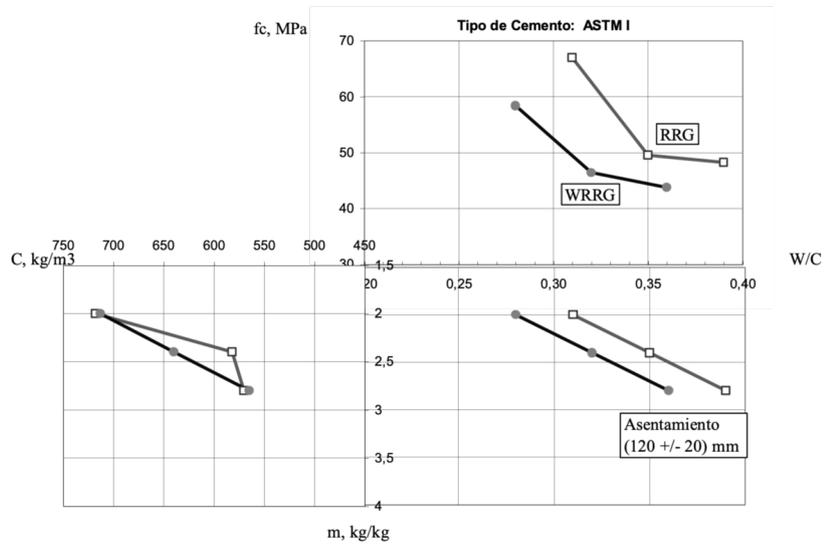
22

Resistencia a compresión: Método del ICPA

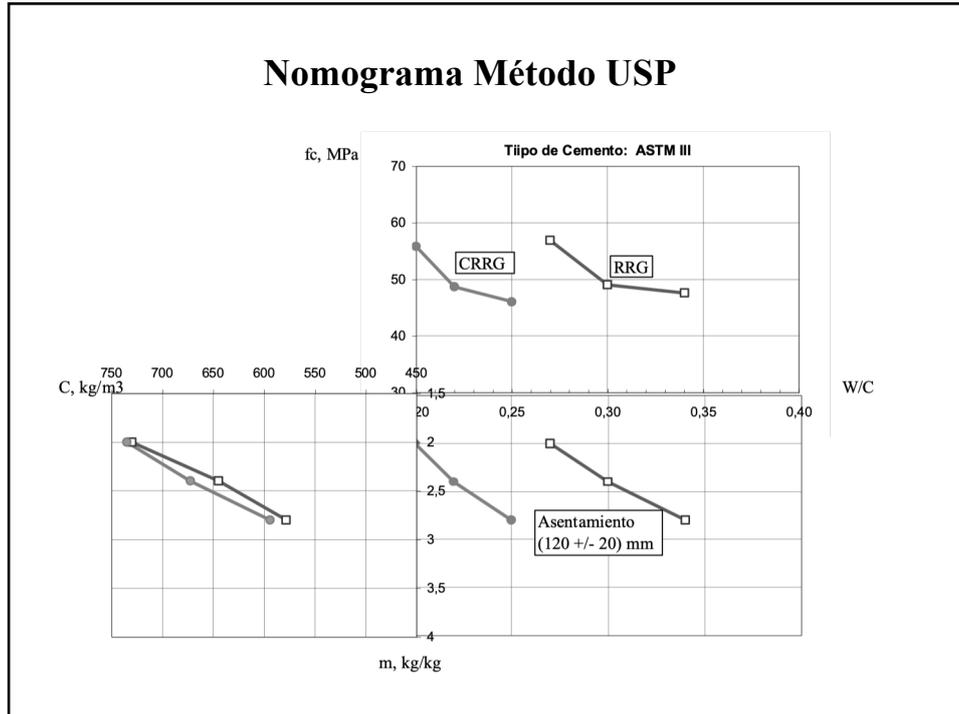


23

Nomograma Método USP



24



25

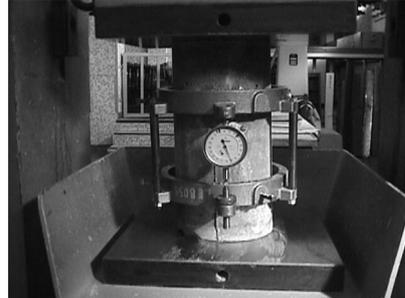
Resistencia a compresión

- Modelo ICPA para cemento ASTM tipo I
 $f'_{c28} = 117.46 e^{-2.73024 W/C} \text{ [MPa]}$
- Modelo USP para cemento ASTM tipo I
 $f'_{c28} = 76.73 e^{-1.2754 W/C} \text{ [MPa]}$
- Modelo USP para cemento ASTM tipo III
 $f'_{c28} = 59.61 e^{-0.6283 W/C} \text{ [MPa]}$

26

Módulo de elasticidad

- ASTM C 469
- Norma MERCOSUL
05:03-0124/2000
- Condiciones de curado
- Probetas de diámetro
15 x 30 cm
- Condiciones de ensayo



27

Módulo de elasticidad para HSC

→ *ACI 363*

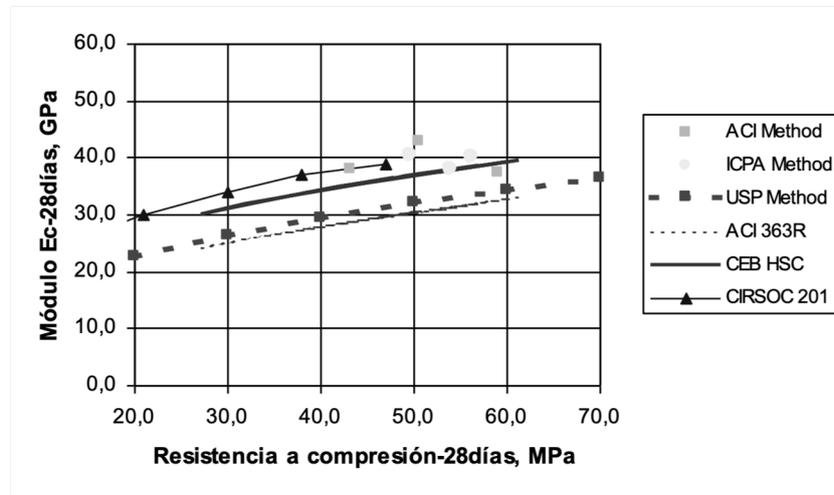
$$E_{c28} = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \text{ [MPa]} \quad (f'_c = 21 \text{ á } 83 \text{ MPa})$$

→ *fib*

$$E_{c28} = 10^4 (f'_c k + 8)^{1/3} \text{ [MPa]}$$

28

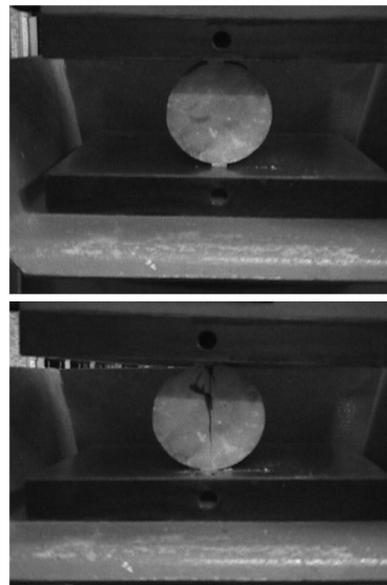
Módulo de elasticidad



29

Resistencia a tracción

- **Ensayo de tracción por compresión diametral (IRAM 1658)**
- **Condiciones del ensayo**



30

Resistencia a tracción en HSC

→ *ACI 363*

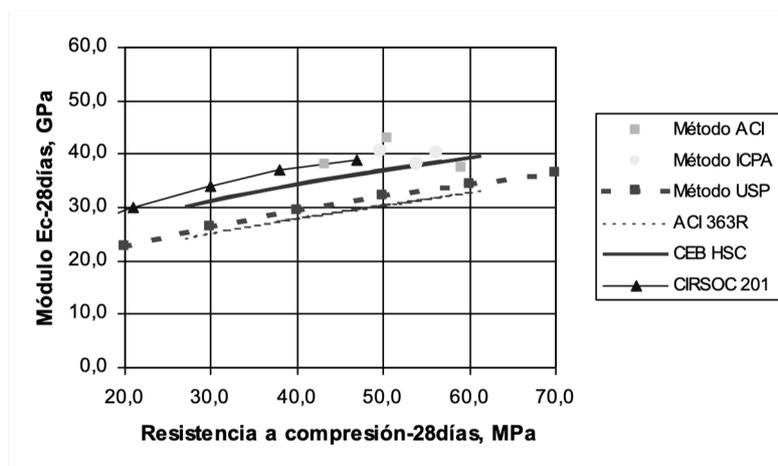
$$f_{sp} = 0.59 \sqrt{f^r c} \quad [MPa]$$

→ *fib*

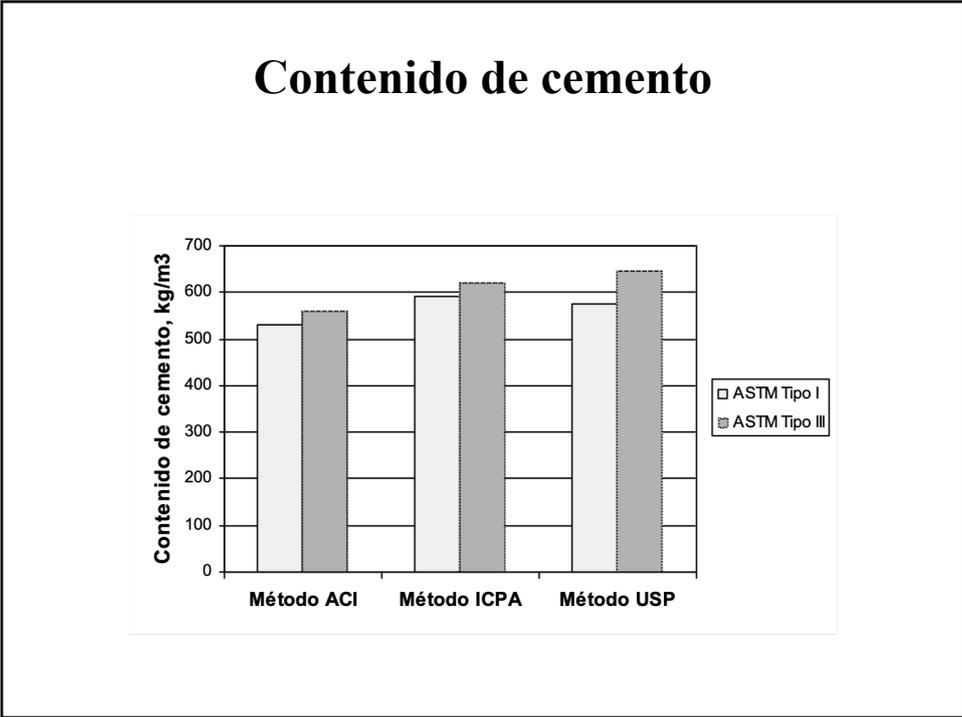
$$f_{sp} = 0.54 \sqrt{f^r c} \quad [MPa]$$

31

Resistencia a tracción



32



33

Resultados para lograr $f'c = 50$ MPa

Item	Método del ACI		Método del ICPA		Método de la USP	
	ASTM I	ASTM III	ASTM I	ASTM III	ASTM I	ASTM III
Tipo de cemento	ASTM I	ASTM III	ASTM I	ASTM III	ASTM I	ASTM III
Relación W/C	0.30	0.27	0.30	0.30	0.35	0.30
Contenido de cemento [kg/m³]	531	558	590	620	575	645
f_t [MPa]	5	4.1	5.9	4.7	4.2	4.2
E_c [GPa]	40	40	38	40	30	38
Costo [US\$/m³]	98.06	108.31	91.71	125.37	91.13	123.89
Slump [mm]	120 ± 20	120 ± 20	120 ± 20	120 ± 20	120 ± 20	120 ± 20

34

Conclusiones

- **Para el rango de resistencia de este trabajo experimental de laboratorio (alrededor de los 50 MPa), el tipo de agregado grueso (grava de río rodada o grava de río rodada partida) no fue significativo en las propiedades del hormigón endurecido.**
- **El tipo de agregado, si es de río redondeado o partido, modifica las propiedades del hormigón en estado fresco.**

35

Conclusiones

- **El tipo de cemento puede tener una importante influencia en las propiedades del hormigón endurecido y el tipo I de ASTM es que da la mayor resistencia.**
- **El módulo de elasticidad es muy sensible a las proporciones de la mezcla aún para el mismo material y método de mezclas. La fórmula basada en la raíz cuadrada de la resistencia a compresión da una tendencia general, pero en este tipo de hormigones son necesarios los ensayos preliminares.**

36

Conclusiones

- **El costo del m³ de hormigón es otra variable a tener en cuenta en relación con la resistencia debido a que cuando se optimizan los agregados, los costos son menores para todos los métodos de proporcionamiento. El costo total debe incluir los ensayos preliminares para obtener las proporciones de la mezcla.**

37

Conclusiones

- **La principal ventaja del Método de la USP es que las curvas experimentales obtenidas corresponden a la tecnología real del hormigón sin trabajos previos en teoría o en laboratorio. El método más práctico es el de la USP debido a que muestra los resultados de una familia de hormigones, donde los cambios en el campo pueden ser hechos fácilmente con seguridad.**
- **Los Métodos del ACI y del ICPA requieren extensos trabajos de laboratorio antes del proporcionamiento y siempre deben realizarse nuevas pruebas cuando se requieren cambios en la obra.**

38