

## Ensayos de Consistencia de Hormigón Fresco Convencional

Roberto J. Torrent  
Materials Advanced Services,  
Buenos Aires, Argentina y Coldrerio, Suiza  
torrent.concrete@gmail.com



### Objetivos

- Describir los métodos principales para muestrear y medir la consistencia del hormigón fresco
- Destacar sus fortalezas y limitaciones
- Demostrar visualmente cómo deben hacerse los ensayos y mostrar prácticas erróneas
- Revisar los factores principales que influyen sobre la consistencia

## Contenido

- Temas de Seguridad Industrial
- Muestreo del hormigón Fresco (IRAM 1541) – Importancia
- Ensayos de Consistencia:
  - Visual
  - Cono de Abrams (IRAM 1536)
  - VeBe (IRAM 1767) Factor de Compactación (EN 12350-4)
  - Extendido en la mesa de sacudidas (IRAM 1690)
  - „Macrorreómetros“ en el mezclador
- Efecto del contenido de agua sobre la Consistencia
- Relación Asentamiento - Resistencia
- Criterios de Aceptación y Rechazo

3

## Trabajabilidad

Es la aptitud de una mezcla de hormigón para ser mezclada, transportada, colocada y compactada en las condiciones de obra, sin esfuerzos excesivos y sin segregación, con los medios disponibles por el constructor.

No es una propiedad de la mezcla y por lo tanto no se la puede medir (a pesar de que se la asocia erróneamente con la fluidez).  
ACI 238 habla erróneamente de “Mediciones de Trabajabilidad”

Una mezcla fluida puede ser trabajable para ser colocada en encofrados profundos y con mucha armadura, pero no para estas aplicaciones:



## Atención: el cemento/hormigón fresco es cáustico

ASTM C143

**Warning**—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.

**Atención:** las mezclas cementíceas son cáusticas y producen quemaduras en la piel, luego de exposición prolongada.

La piel tiene un pH~5.5 y sufre quemaduras en contacto con el hormigón fresco a pH~13.



Es importante dotar al personal de obra y de laboratorio con los elementos de seguridad adecuados para evitar el contacto con el hormigón fresco: guantes, calzado, lentes, ropa de trabajo, (protección auditiva)

5

## Muestreo del Hormigón Fresco (IRAM 1541/1666)

Para el caso de muestreo de un camión mezclador

|                                                                                                              |                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tamaño mínimo de la muestra                                                                                  | 40% mayor que lo que se usará                                                                                                                        |
| Cuándo se toman las muestras?                                                                                | Luego de agregar toda el agua y aditivos (y mezclarlos): <b>obra o planta?</b>                                                                       |
| De dónde se toman las muestras?                                                                              | 10% < Volumen de la Carga < 90%                                                                                                                      |
| Cuántas extracciones deben hacerse?                                                                          | 2 ó más                                                                                                                                              |
| Dentro de qué intervalo?                                                                                     | 15 min                                                                                                                                               |
| Cuándo se deben comenzar los ensayos?                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigón Fresco: dentro de 5 min</li> <li>• Probetas: antes de 15 min de terminada la extracción</li> </ul> |
| Hay que hacer algo dentro de ese intervalo?                                                                  | Transportar la muestra al lugar de ensayo, remezclarla cuidadosamente con una pala y evitar evaporación o contaminación                              |
| <a href="https://www.youtube.com/watch?v=0uq5kKN0eA0">https://www.youtube.com/watch?v=0uq5kKN0eA0</a> (5:18) | Guantes?                                                                                                                                             |

6

## Muestreo del Hormigón Fresco



## Propiedades que determinan la Trabajabilidad

Consistencia = (Fluidez o Movilidad)<sup>-1</sup>

Es la resistencia que ofrece la mezcla a fluir. A mayor consistencia se requiere más energía de consolidación para el completo llenado de los moldes. Es una propiedad del hormigón fresco que se mide habitualmente (p.ej. ensayo de asentamiento del cono de Abrams).

## Evaluaciones de Consistencia más usadas

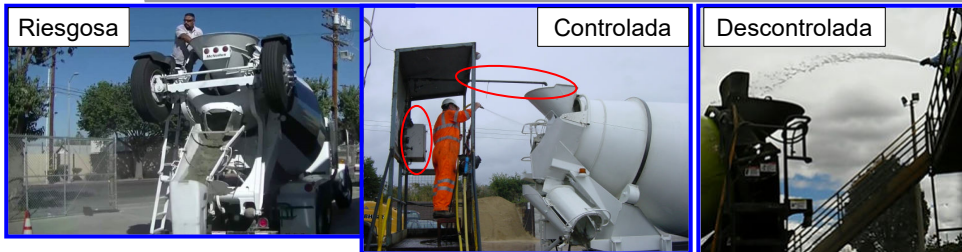
- Evaluación visual (ej. conductores de camión)
- Asentamiento/Revenimiento/Slump del Cono de Abrams: el más simple y popular de todos los ensayos:



- Medidores de potencia/torque de las mezcladoras centrales y “macrorreómetros”

9

## Evaluación Visual y Corrección de la Consistencia



Algunas mezcladoras modernas fijas llevan una videocámara que le permite al operador juzgar visualmente la “trabajabilidad” de la mezcla



10

## Ensayos de Consistencia / Reológicos

Hay numerosísimos métodos de ensayo de consistencia (de los cuales 33 citados en ACI 238). La inmensa mayoría no se usa nunca.

También hay citados 19 ensayos para medir los parámetros reológicos  $\tau_o$  y  $\mu$ . Complejos, costosos y útiles sólo para mezclas muy especiales

Table 3.2—Single-point and multi-point **workability** tests for concrete

| Single-point tests                    | Multi-point tests                                         |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1. Angles flow box test               | 1. Beretta apparatus                                      |
| 2. Compaction factor test             | 2. BML viscometer                                         |
| 3. <b>Compaction test</b>             | 3. BTRHEOM rheometer                                      |
| 4. Cone penetration test              | 4. CEMAGREF-IMG                                           |
| 5. Delivery-chute depth meter         | 5. Concrete truck mixer as rheometer                      |
| 6. <b>Delivery-chute torque meter</b> | 6. Consolis rheomixer                                     |
| 7. <b>Flow table test (DIN)</b>       | 7. CONVI viscoprobe                                       |
| 8. Flow trough test                   | 8. FHPCM                                                  |
| 9. Free orifice (Orimet) test         | 9. IBB rheometer                                          |
| 10. Fresh Concrete Tester 101         | 10. ICAR rheometer                                        |
| 11. Intensive compaction test         | 11. Modified slump test                                   |
| 12. Inverted slump cone test          | 12. Multiple single-point tests                           |
| 13. LCL flow test                     | 13. Powers and Wiler plastometer                          |
| 14. K-slump test                      | 14. Rheometer-4SCC                                        |
| 15. Kango hammer test                 | 15. SLump Rate Machine (SLRM)                             |
| 16. Kelly ball test                   | 16. System and method for controlling concrete production |
| 17. Moving sphere viscometer          | 17. Tattersall two-point device                           |
| 18. Powers remolding test             | 18. Vertical pipe apparatus                               |
| 19. Proctor test                      | 19. Vibrating slope apparatus                             |
| 20. Mixer devices                     |                                                           |
| 21. Ring penetration test             |                                                           |
| 22. <b>Settlement column</b>          |                                                           |
| 23. <b>Segregation test</b>           |                                                           |
| 24. <b>Slump test</b>                 |                                                           |
| 25. Soil direct shear test            |                                                           |
| 26. Soil triaxial test                |                                                           |
| 27. Surface settlement test           |                                                           |
| 28. Thaulow tester                    |                                                           |
| 29. Trowel test                       |                                                           |
| 30. <b>Vebe consistometer</b>         |                                                           |
| 31. Vibratory flow meter              |                                                           |
| 32. Vibropenetrator                   |                                                           |
| 33. Wigmore consistometer             |                                                           |

ACI 238.1R: „Report on Measurements of Workability and Rheology of Fresh Concrete”

## Asentamiento del Cono de Abrams

- Asentamiento/Revenimiento/Slump del Cono de Abrams: el más popular de todos los ensayos
  - Muy usado en especificaciones
  - Simple y robusto
  - Económico
  - Rápido
  - Suficientemente preciso
  - Golpeando el cono abatido con la barra da indicios de la segregabilidad
  - Tiene limitaciones: es estático y por ello menos relevante para nuevos hormigones superfluidos y nuevos aditivos

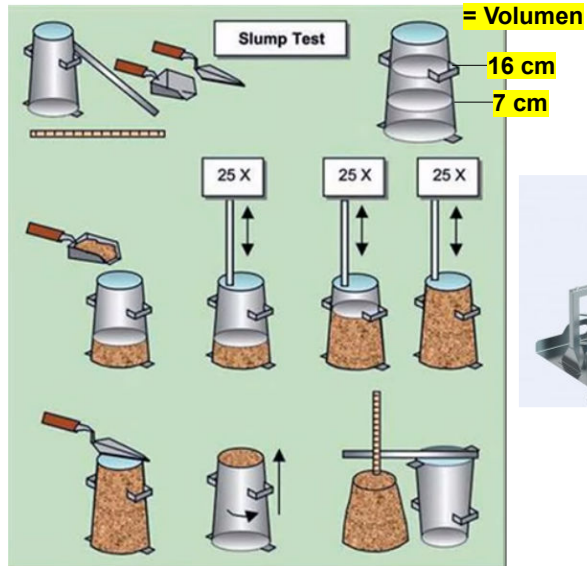


12

[Abrams, 1918]



## Asentamiento del Cono de Abrams



13

## Asentamiento del Cono de Abrams

|                                                                                                              |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <a href="https://www.youtube.com/watch?v=fFFrFdbSa-8">https://www.youtube.com/watch?v=fFFrFdbSa-8</a> (0:30) | Bien ejecutado, guantes? |
| <a href="https://www.youtube.com/watch?v=yzpWGrh0j6Y">https://www.youtube.com/watch?v=yzpWGrh0j6Y</a>        | MAL EJECUTADO!           |
| <a href="https://www.youtube.com/watch?v=EhMO4Da8j9g">https://www.youtube.com/watch?v=EhMO4Da8j9g</a>        | Guantes....              |
| <a href="https://www.youtube.com/watch?v=svCYILmkQis">https://www.youtube.com/watch?v=svCYILmkQis</a> (1:40) | Casi todo muy mal....    |

Por favor, miren los videos y los comentan en la sesión de discusión

14

## Asentamiento del Cono de Abrams



15

## Asentamiento del Cono de Abrams

| Aplicable a hormigón plástico con agregados con $D_{max} \leq$ |       | 38 mm                  |
|----------------------------------------------------------------|-------|------------------------|
| No es aplicable a hormigón no-plástico :                       | $S <$ | 15 mm                  |
| ni a hormigones no cohesivos :                                 | $S >$ | (230) 200 mm           |
| Llenar en 3 capas de igual volumen:                            |       |                        |
| • Altura de la primera:                                        |       | 70 mm                  |
| • Altura de la 1a y 2a:                                        |       | 160 mm                 |
| Cada capa se compacta con N inserciones de varilla $N=$        |       | 25                     |
| Cuánto debe penetrar la barra en la capa anterior?             |       | 25 mm                  |
| Se levanta el molde en cuánto tiempo?                          |       | $5 \pm 2$ s            |
| Dónde se coloca la regla de medición?                          |       | Centro del cono        |
| Duración máxima del ensayo desde el primer llenado             |       | $(2\frac{1}{2})$ 5 min |

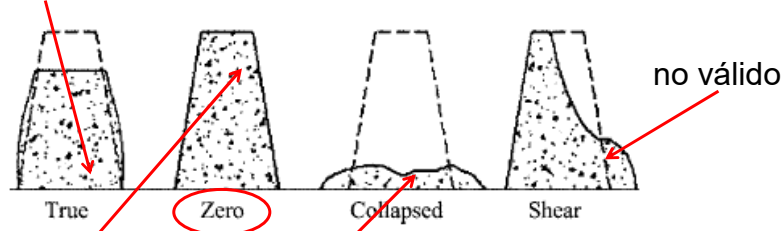
16



## Ensayo de Asentamiento del Cono

Rango de Validez (IRAM 1536): 15 a 230 mm

En mi experiencia: 50 a 180 mm, que corresponde al "verdadero asentamiento".



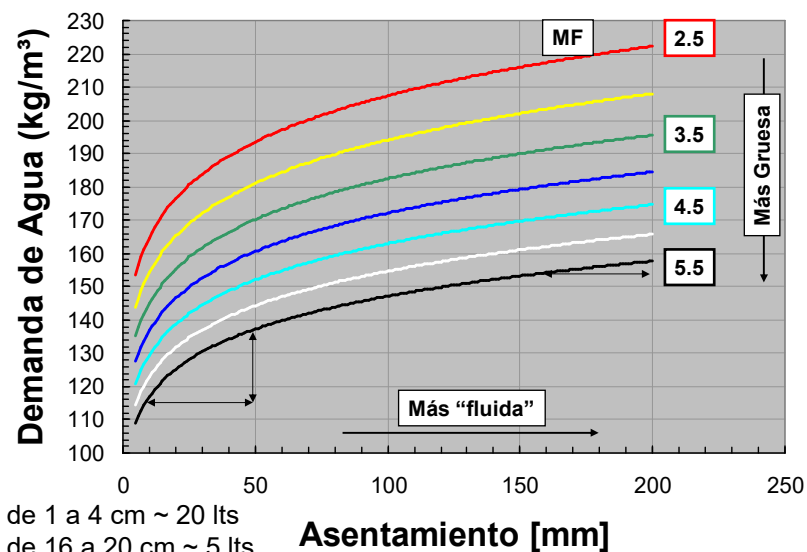
Para bajos asentamientos, un método más apto es el Ve-Be (IRAM 1767) o Grado de Compactabilidad (EN12350-4).

Para mayores asentamientos, es mejor la mesa de extendido (IRAM 1690) o el "Slump-flow" (IRAM 1890-1).

17

ACI 211.3R: „Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete“

## Demanda de Agua en función del Asentamiento y del Módulo de Finura del Agregado Total



18

## Ensayo de Consistencia como Útil de Control

Si una serie de factores se conservan constantes: origen del cemento, granulometría de los agregados, contenido de aire, temperatura del hormigón, etc., el asentamiento es función directa del contenido de agua, según la ley aproximada:

$$A = A_0 \cdot (S / S_0)^{0.1} \quad (\text{ver slide anterior})$$

Donde A es el contenido de agua para asentamiento S y  $A_0$  el contenido de agua para asentamiento  $S_0$ .

La ecuación sirve para corregir una mezcla:

Si con  $A_0 = 180 \text{ kg/m}^3$  de agua obtuve  $S_0 = 75 \text{ mm}$ , para lograr  $S = 150 \text{ mm}$  necesitaré  $A = 180 \cdot 2^{0.1} = 192 \text{ kg/m}^3$ .

Mantener el asentamiento dentro de límites estrechos ( $\sim 1 \text{ cm}$ ) ayuda a mantener una baja variabilidad de calidad.<sup>19</sup>

## El Asentamiento, controla la Resistencia?

ASTM C143

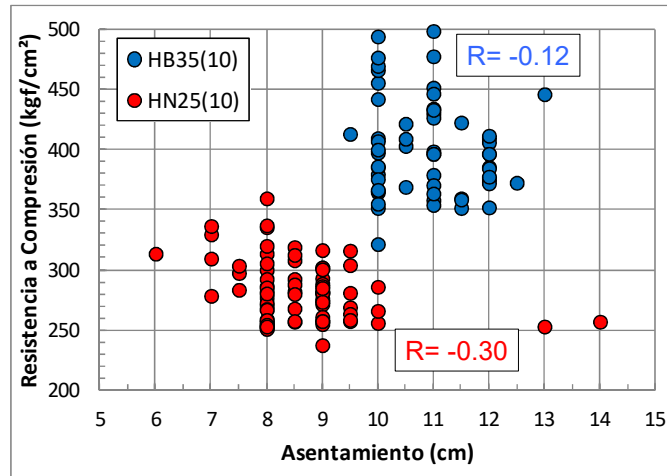
NOTE 1—This test method was originally developed to provide a technique to monitor the consistency of unhardened concrete. Under laboratory conditions, with strict control of all concrete materials, the slump is generally found to increase proportionally with the water content of a given concrete mixture, and thus to be inversely related to concrete strength. Under field conditions, however, such a strength relationship is not clearly and consistently shown. Care should therefore be taken in relating slump results obtained under field conditions to strength.

NOTA1—Este método de ensayo fue desarrollado originalmente para evaluar la consistencia del hormigón fresco. Bajo condiciones de laboratorio, con estricto control de todos los materiales (y de las condiciones ambientales), se verifica en general que el asentamiento crece ~~proporcionalmente~~ con el contenido de agua de la mezcla y, así, se relaciona inversamente con la resistencia del hormigón. Sin embargo, bajo condiciones de campo, tal relación con la resistencia no se muestra clara y consistentemente. Debe tenerse precaución, entonces, en relacionar los resultados de asentamiento, obtenido bajo condiciones de campo, con la resistencia.

20

Notas del Autor

## El Asentamiento, controla la Resistencia?



HB35(10):  $A_{cm} = 10.9$  cm;  $SD_{Ac} = 0.8$  cm;  $f'_{cm} = 411$  kgf/cm<sup>2</sup>;  $SD_{fc} = 40$  kgf/cm<sup>2</sup>; N=59  
 HN25(10):  $A_{cm} = 8.6$  cm;  $SD_{Ac} = 1.1$  cm;  $f'_{cm} = 282$  kgf/cm<sup>2</sup>;  $SD_{fc} = 25$  kgf/cm<sup>2</sup>; N=81

21

## Criterios de Conformidad del Asentamiento

La tolerancia respecto de un asentamiento especificado es de:

| Asentamiento Especificado        | Tolerancia ASTM | IRAM 1666   |
|----------------------------------|-----------------|-------------|
| $S \leq 50$ mm                   | $\pm 15$ mm     | $\pm 10$ mm |
| $100 \text{ mm} \leq S < 50$ mm  | $\pm 25$ mm     | $\pm 20$ mm |
| $150 \text{ mm} \leq S < 100$ mm | $\pm 40$ mm     | $\pm 20$ mm |
| $180 \text{ mm} \leq S < 150$ mm | $\pm 40$ mm     | $\pm 30$ mm |

Porqué la tolerancia aumenta con el asentamiento especificado?

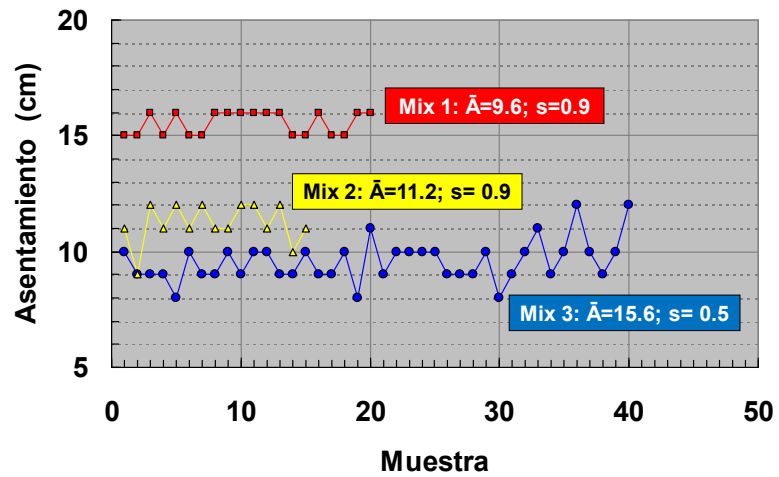
La no conformidad por exceso es muy difícil de corregir; lo mejor es tratar de redirigir el camión a otra obra que lo acepte.

Si es por defecto, lo correcto es corregirlo agregando un superplastificante (previamente dosificado en planta en bidones), porque no se altera la relación a/c  $\rightarrow$  \$\$\$.

Frecuentemente se corrige con agua.

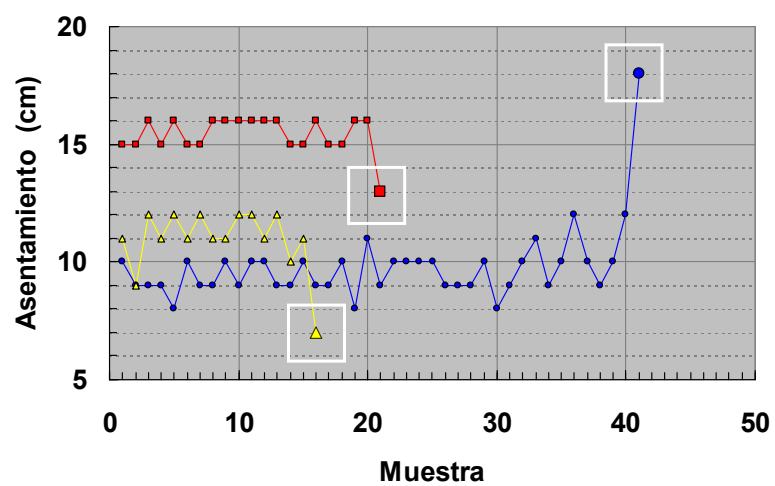
22

## Auditoría: Datos de Control del Asentamiento



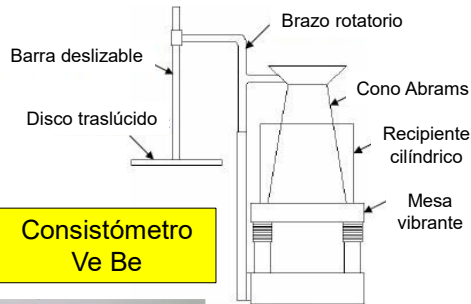
23

## Auditoría: Control puntual del Asentamiento



24

## Mezclas de bajo asentamiento → IRAM 1767



El resultado es el tiempo de vibración  $t$  (s) necesario para convertir el tronco de cono en un cilindro y cubrir completamente el disco traslúcido con pasta.

Hay una variante para mezclas de CCR en que se le agrega un peso a la barra deslizante (ASTM C 1170)

[https://www.youtube.com/watch?v=5Vo0LzF\\_ChA&list=PLBCVOTpn5QaOTjsYmkfmDtPYj4osarlzH](https://www.youtube.com/watch?v=5Vo0LzF_ChA&list=PLBCVOTpn5QaOTjsYmkfmDtPYj4osarlzH)  
(1:54 – 6:28)

Aceptablemente bien

<https://www.youtube.com/watch?v=8n2wpCwYtq4>  
(3:55-5:13)

Muy Mal!!

25

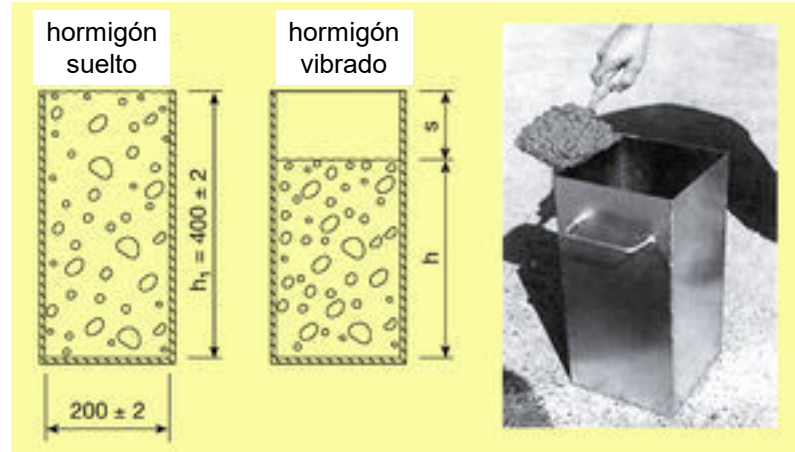
## Consistómetro Ve Be



26

## Mezclas de bajo asentamiento → EN 12350-4

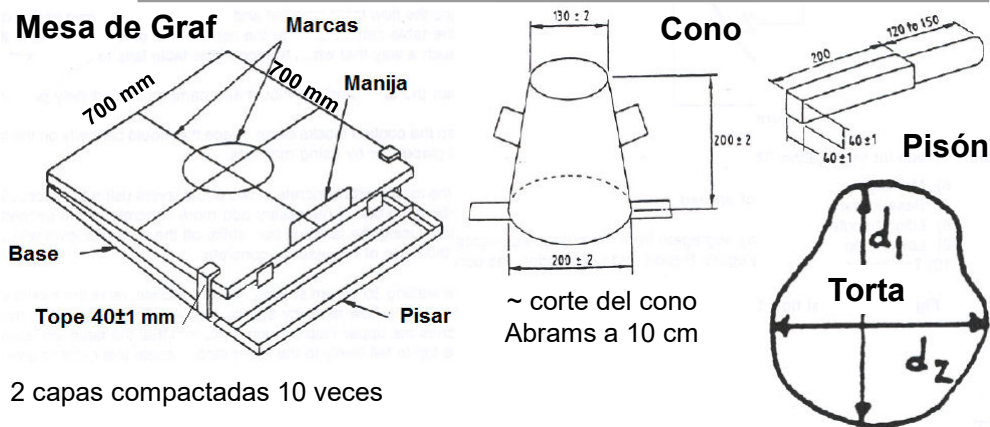
Se deja caer el hormigón secuencialmente desde los 4 bordes hasta llenarlo, sin compactar y se vibra, midiéndose 4x el asentamiento  $s$  (escala da el valor de GC)



**Grado de Compactibilidad** =  $400 / h$  ;  $\geq 1$ ; menor cuanto más fluido

27

## Mezclas de alto asentamiento: IRAM 1690



2 capas compactadas 10 veces

15 sacudidas de la mesa

**Extendido:**

**Promedio de  $d_1$  y  $d_2$**

<https://www.youtube.com/watch?v=geedAMUS86Y> (4:25)

**Bien hecho**

<https://www.youtube.com/watch?v=r4DFW55bjZg> (1:30)

Mal hecho (dimensiones cono, desmolde y sacudidas)

28



### Extendido Mesa de Sacudidas (Mesa de Graf)



29

### Auditoría: Control puntual del Extendido.....



30

## Clases de Consistencia según EN 260:2013

| Clase           | Asentamiento del Cono (mm) |
|-----------------|----------------------------|
| S1              | 10 to 40                   |
| S2              | 50 to 90                   |
| S3              | 100 to 150                 |
| S4              | 160 to 210                 |
| S5 <sup>a</sup> | ≥ 220                      |

| Clase           | Grado de Compactabilidad |
|-----------------|--------------------------|
| C0 <sup>a</sup> | ≥ 1,46                   |
| C1              | 1,45 to 1,26             |
| C2              | 1,25 to 1,11             |
| C3              | 1,10 to 1,04             |

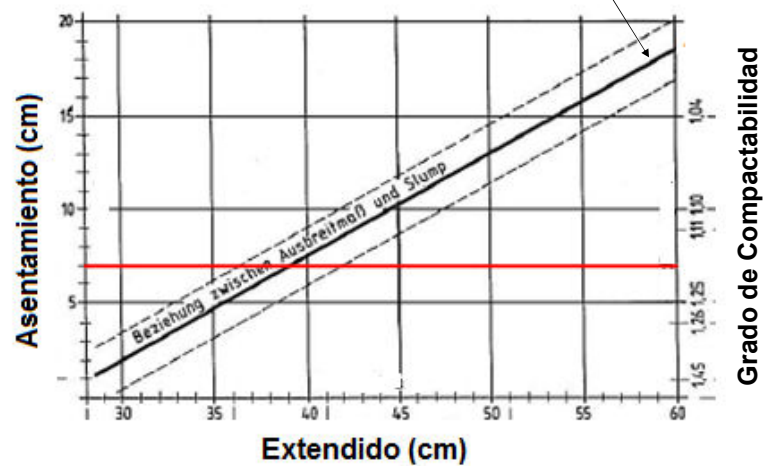
| Clase           | Extendido (mm) |
|-----------------|----------------|
| F1 <sup>a</sup> | ≤ 340          |
| F2              | 350 to 410     |
| F3              | 420 to 480     |
| F4              | 490 to 550     |
| F5              | 560 to 620     |
| F6 <sup>a</sup> | ≥ 630          |

31

## Relación (Aproximada) entre Ensayos de Consistencia

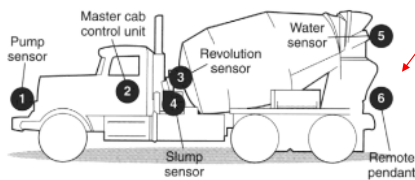
### Relación Asentamiento vs Extendido

$$\text{Asentamiento} = 0.53 * \text{Extendido} - 14$$



32

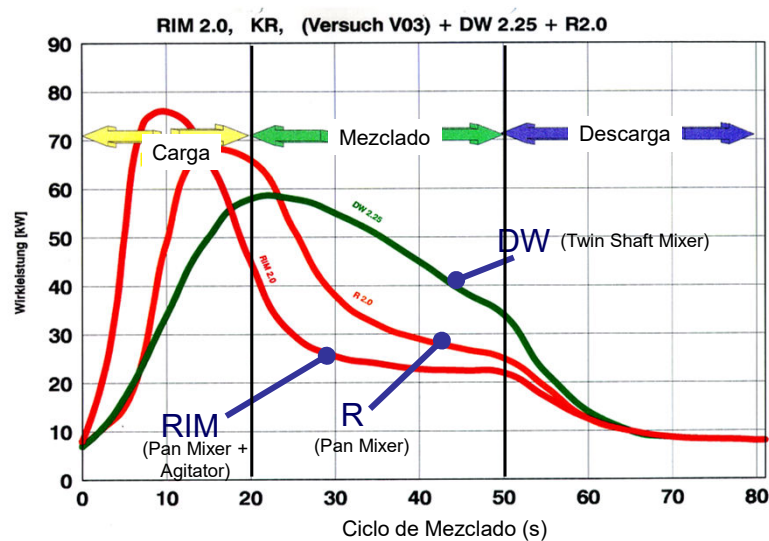
## Medidores de Potencia/Torque ; Macroreómetros



- Las mezcladoras modernas fijas tienen un dispositivo que mide la potencia entregada durante el mezclado el que, adecuadamente calibrado, puede dar una buena indicación de la consistencia de la mezcla o pueden incorporar un megareómetro (“Viscoprobe”)
- Los sistemas desarrollados para los camiones (ej. “Verify”, “Compumix”) son menos confiables y requieren calibración para cada camión y volumen transportado (\$\$\$).

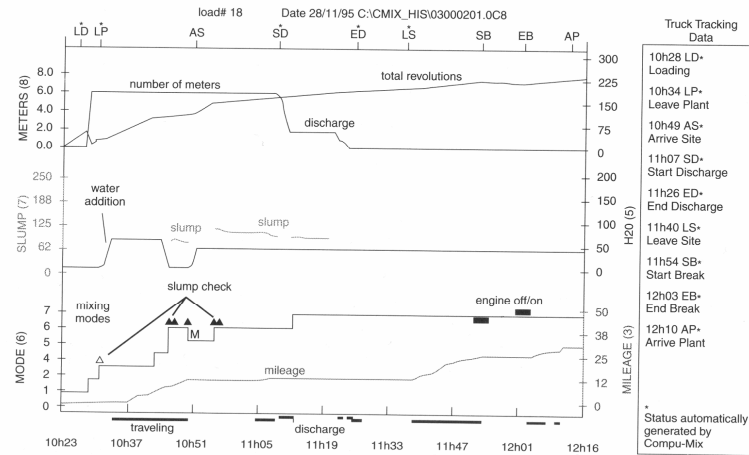
33

## Perfil de Potencia de algunas mezcladoras



34

## Sistema "Compu-Mix"



Una investigación conducida (en 1995!) por el autor identificó ventajas (no económicas) en el uso del sistema pero desaconsejó su instalación por los costos asociados y la calibración de cada camión

35

## Problemas con el Hormigón Fresco

### ■ Incumplimiento del Asentamiento

| Asentamiento Especificado [mm] | Tolerancia [mm] |
|--------------------------------|-----------------|
| 50                             | ± 15            |
| > 50 a 100                     | ± 25            |
| > 100                          | ± 40            |

- ▶ Si es por exceso es muy difícil de corregir; lo mejor es tratar de redirigir el camión a otra obra que lo acepte
  - ▶ Si es por defecto, lo correcto es corregirlo agregando un superplastificante (previamente dosificado en planta en bidones), porque no se altera la relación a/c → \$\$\$.
- Frecuentemente se corrige con agua.

36

## Problemas con el hormigón Fresco

- El problema es que clientes “astutos” piden un hormigón de asentamiento menor (cuesta menos) y al llegar el camión a obra piden aumentarlo (a veces se niegan a firmar el recibo indicando la adición de agua con posibles responsabilidades legales). Las condiciones deben estar claramente establecidas en el contrato de compra.
- Malas prácticas generalizadas (especialmente por competidores inescrupulosos) conducen a malos hábitos difíciles de combatir

37

## Problemas con el Hormigón Fresco

- El hormigón no es “trabajable” (aparte del asentamiento)
  - “Le falta arena o finos”. Especialmente para el bombeo de hormigón a grandes distancias o alturas o si la bomba es poco eficiente
  - La mezcla es “áspera” (especialmente con arenas de trituración con forma inadecuada de partículas)
  - La mezcla es “pegajosa” (mezclas ricas con SP)
- La “trabajabilidad” es la cara visible de la mezcla y ofrece la primera impresión al cliente
- Los reclamos no siempre son justificados pero, en la medida de lo posible hay que tratar de entregar una mezcla que sea satisfactoria, al menos para la gran mayoría de los clientes. Mostrar interés en resolver el problema puede ser suficiente.

38

## Problemas con el Hormigón Fresco

- El hormigón está muy caliente
  - Si no se supera la temperatura máxima especificada, se puede discutir
  - Bajar la temperatura del hormigón redunda generalmente en beneficios para el productor (menos cemento y/o aditivos), menos pérdida de asentamiento, menos fisuras
  - Entregar hormigón “frío” puede ser un elemento diferenciador de la competencia
- Hay medidas que cuestan poco dinero (ej. sombrear los agregados, regar los agregados gruesos, blanquear y/o aislar los tanques de agua)
- Mostrar interés en resolver el problema puede ser suficiente

39

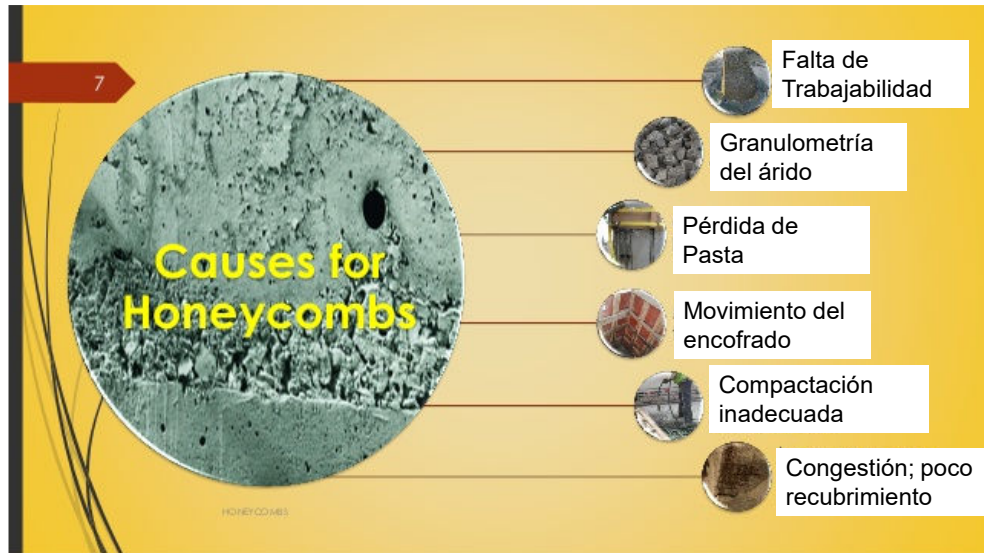
## Problemas de Consolidación



40



## Problemas de Consolidación: Causas



## Ensayos de Control de Hormigón Fresco

- Sobre todas las muestras para resistencia:
  - Temperatura (apenas se toma la muestra!!)
  - Asentamiento
  - Aire (si se usa aditivo incluso de aire)
- Frecuentemente: Peso unitario
- Ocasionalmente: Exudación
- Se verán a continuación



## Referencias

---

1. Abrams, D. A. (1918). "Design of Concrete Mixtures", Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago.
2. ACI 238.1R, "Report on Measurement of Workability and Rheology of Fresh Concrete"
3. Tattersall, G.H., "The workability of concrete", Cement and Concrete Association, Slough, 1978, 138 p.
4. Powers, T.C., "The properties of fresh concrete", John Wiley & Sons, New York, 1968, 664 p. (Chapter 10: "Rheology of freshly mixed concrete")
5. Koehler, E.P. and Fowler, D.W., "Summary of Concrete Workability Test Methods", Report No. ICAR 105-1, International Center for Aggregates Research, The University of Texas at Austin, 2003, 92 p.
6. De Larrard, François, "Why rheology matters?", ACI International, August 1999, pp. 79-81.
7. Bascoy, D. A., "Tecnología del Hormigón Fresco", Asoc. Argentina de Tecnología del Hormigón, Biblos, Buenos Aires, 1992, 344 p.