

**DIRECCIÓN DE DOCENCIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA CIVIL**



**Universidad de Concepción**

**TEXTO DE APOYO A LA DOCENCIA**

# ENSEÑANZA DEL MATERIAL HORMIGÓN

ACORTANDO LA BRECHA ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA  
PARA EL DESARROLLO DEL DOMINIO COMPETENTE



**Autor:**  
Dr. Mauricio Pradena Miquel



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA CIVIL



# ENSEÑANZA DEL MATERIAL HORMIGÓN

ACORTANDO LA BRECHA ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA  
PARA EL DESARROLLO DEL DOMINIO COMPETENTE

---

**TEXTO DE APOYO A LA DOCENCIA**

---

Autor:

Dr. Mauricio Pradena Miquel

Con la colaboración de:

Mg. Ps. Jorge Maluenda

Ing. Fernanda Ramírez

---

**2021 ENSEÑANZA DEL MATERIAL HORMIGÓN: ACORTANDO LA BRECHA ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA PARA EL DESARROLLO DEL DOMINIO COMPETENTE.**

**Registro de Propiedad Intelectual N° 2021-A-4289 año 2021**

I.S.B.N. 978-956-9280-41-2

**Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra  
©UNIVERSIDAD DE CONCEPCION**

# ÍNDICE

PREFACE 1 .....	5
PREFACE 2 .....	6
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN .....	7
1.1. ANTECEDENTES .....	7
1.2. OBJETIVO DEL LIBRO.....	8
1.3. SÍNTESIS DEL LIBRO .....	8
1.4. CONCEPCIÓN ESTRATÉGICA DEL LIBRO .....	8
CAPITULO 2 ASPECTOS PEDAGÓGICOS CLAVE PARA LA REORIENTACIÓN DE LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN.....	12
CAPITULO 3 MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN: ÁRIDOS .....	17
3.1. INTRODUCCIÓN .....	17
3.2. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO .....	18
3.2.1. Experiencias detalladas .....	18
3.3.2. Experiencias de laboratorio propuestas .....	30
3.3. PREGUNTAS PROPUESTAS .....	31
3.2.2. Análisis y reflexión sobre experiencias con áridos .....	31
3.2.3. Aspectos actitudinales y éticos .....	32
CAPITULO 4 HORMIGÓN A TEMPRANA EDAD .....	34
4.1. INTRODUCCIÓN .....	34
4.2. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO .....	36
4.2.1. Experiencias detalladas .....	36
4.2.2. Experiencias de laboratorio propuestas .....	40
4.3. PREGUNTAS PROPUESTAS .....	41
4.3.1. Análisis y reflexión sobre experiencias con hormigón .....	41
4.3.2. Aspectos actitudinales y éticos .....	42
CAPITULO 5 HORMIGÓN ENDURECIDO .....	45
5.1. INTRODUCCIÓN .....	45
5.2. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO .....	46
5.2.1. Guía de Laboratorio .....	46
5.2.2. Experiencias propuestas .....	52
5.3. PREGUNTAS PROPUESTAS .....	53
5.3.1. Análisis y reflexión sobre experiencias con hormigón .....	54

5.3.2. Aspectos actitudinales y éticos .....	54
5.4. CASO DE ESTUDIO .....	55
CAPITULO 6 CONCLUSIONES.....	56
ANEXO 1 ASPECTOS DE SEGURIDAD.....	59
ANEXO 2 GUÍA UTILIZACIÓN MARTILLO SCHMIDT .....	72

## **PREFACE 1**

I have been working with Dr. Mauricio Pradena on several research and innovation in engineering education initiatives since 2017. This collaboration enabled me to visit the University of Concepcion where I presented lectures and conducted two workshops showcasing the advantages and disadvantages of the University of Twente's innovative, problem-based learning Twente Education Model. In addition, Dr. Pradena and I have worked together closely on his annual visits to the Netherlands exploring and reviewing innovations in engineering education that he developed and implemented at UdeC, Chile. Visits to the Concrete Laboratory at the UT's Civil Engineering Department and more importantly, discussions about encouraging active learning practices in the teaching of concrete material design proved to be extremely useful from teaching and learning perspectives.

This book is partly a consequence of those interesting didactical discussions and the need to improve teaching and learning in the design, construction, and maintenance of concrete materials. More importantly, it presents an opportunity to make explicit the link between the influence of material constituents, their early behaviour and the eventual hardened state of concrete, something that at first, appears abstract to students.

The result is a book with a comprehensive strategy for active learning. In addition to students conducting several selected concrete practicals themselves, the learning experience is significantly enhanced with the addition of carefully selected questions aimed at providing a more active learning experience and encouraging deeper learning. The proposed questions are designed to encourage discussions between the students' team (and lecturers) to better understand the link between theory and practice and the complex phenomenon governing concrete behaviour.

In conclusion, I believe this book will be a useful tool to better prepare future Civil Engineers, Building Engineers, Construction Technicians, and related concrete practitioners for the world of work.

Dr. Seirgei Miller  
Former Programme Director for Education  
Department of Civil Engineering  
University of Twente, The Netherlands

5 October 2020

## PREFACE 2

In 2009 I was an invited speaker for the 'XV Congreso Argentino de Vialidad y Transito' that was held in Mar del Plata, Argentina from September 14-18, 2009. The subject of my presentation was 'European practice on design and construction of concrete pavements'. The author of this book, Mauricio Pradena, attended this presentation.

In 2010 Mauricio contacted me regarding the possibility of doing a PhD research at the Delft University of Technology on the topic 'concrete pavements'. This was materialised and in September 2010 he started his research and, despite an interruption of around 1 year due to health problems, he successfully defended his PhD thesis in January 2017. His PhD thesis is entitled 'The effects of the early-age concrete behaviour on the in-service performance of jointed plain concrete pavements'.

After obtaining his Doctoral Degree he has been working with me as a guest researcher. His research topic is the aggregate interlock of joints in concrete pavements under static and dynamic loading. To this end he himself had to make his concrete specimens, using Chilean aggregates and cement still available at our University.

It is common practice at Delft University of Technology that students have to make their own concrete specimens. All Civil Engineering 2nd year undergraduate students have to make their own concrete cube and test it after 28 days for its compressive strength. Those undergraduate students that follow the minor 'Bend and Break' have to make a reinforced concrete beam, with different geometries, and test them until failure. Many students specializing in Concrete Structures make specimens within the framework of their BSc thesis or MSc thesis, or are involved in testing laboratory made specimens or (very) big specimens originating from concrete structures to be demolished. Laboratory made specimens are not only normal concrete grade specimens, but also specimens of e.g. (ultra) high strength concrete, fibre reinforced concrete, self-compacting concrete and strain hardening cementitious composites.

During his research stays at Delft University of Technology, Mauricio and I have extensively discussed possible innovations in engineering education at the Universidad de Concepción (Chile), taking into account the above-mentioned practice at Delft University of Technology. I have observed that he has made good progress towards a more active education into the material concrete at the Universidad de Concepción, keeping in mind that 'you especially learn by doing'. In that respect, the present book will give an important new impulse of those efforts.

The technical and pedagogical approach of the book, the distribution of the chapters, their contents, the detailed laboratory guidelines, but at the same time the liberty that the proposed experiences and questions give to students and lecturers, make the present book an important contribution to active learning on concrete, which is worldwide the most used civil engineering construction material.

Lambert Houben Associate Professor  
Associate Professor  
Department Engineering Structures  
Faculty Civil Engineering and Geosciences  
Delft University of Technology, The Netherlands

Delft, The Netherlands, September 2020

# CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en todo el mundo (Gagg, 2014). El mismo escenario se vive en Chile, donde sobre el 70% de las construcciones utilizan este material (Dávalos, 2013). Es por esto que todo estudiante de Ingeniería Civil, y relacionado con el área de construcción en general, debe tener una formación sólida con respecto a este material. Considerando esto, y la importancia de metodologías activas de enseñanza-aprendizaje (detalles en capítulo 2), en el Laboratorio de Hormigones de la Universidad de Concepción, se han estado desarrollando cambios metodológicos que han permitido transitar desde una metodología de enseñanza teórica-descriptiva a una activa- participativa (Pradena y Maluenda, 2018; Pradena et al; 2019). Esas innovaciones docentes han sido validadas en dos universidades de los Países Bajos, la Universidad Tecnológica de Delft, y la Universidad de Twente. En ambas, por años, se ha aplicado una metodología activa para la enseñanza del material hormigón. Es más, en particular la U. Twente es reconocida porque explícitamente basa todos sus programas de educación en “student-driven learning”, donde es justamente el estudiante quien tiene un rol activo fundamental en el proceso de aprendizaje. En su estrecha colaboración con esas universidades neerlandesas, el autor del presente libro ha también recogido lecciones de aprendizaje para ampliar el alcance de la enseñanza activa del material hormigón. De esta manera, aún más allá de las experiencias en el mismo laboratorio, el libro incluye otros aspectos que estimulan el “student-driven learning”.

Lo descrito anteriormente da cuenta de que el libro no pretende ser un compendio técnico, sino que es más bien un libro técnico-pedagógico desde su concepción (ver sección 1.4). Este carácter está presente en los distintos capítulos del libro y finalmente en las conclusiones. Adicionalmente, incluye la dimensión actitudinal-ética, la cual es fundamental cuando se trata de un material tan masivamente utilizado como el hormigón. En efecto, los futuros profesionales y técnicos deben estar conscientes de las responsabilidades y efectos en la sociedad de realizar un adecuado o inadecuado trabajo con el material hormigón.

El libro viene a dar respuesta a varios aspectos relevantes que han cambiado y que ameritan un compendio actualizado. Entre estos factores se encuentran los ya mencionados cambios en las metodologías de enseñanza (ver capítulo 2), en particular los cambios en la enseñanza del material hormigón en la Universidad de Concepción, y los cambios normativos que se han producido en Chile referentes al material hormigón. Esto es relevante pues la mayoría de la normativa referente al material hormigón ha sido actualizada luego de décadas. A lo anteriormente indicado, se suman las mayores exigencias respecto a un trabajo seguro. Particularmente estos dos últimos aspectos requieren nuevas guías de laboratorio, que de alguna manera consideren estos ámbitos.

Si bien el libro fue pensado originalmente para estudiantes de Ingeniería Civil, su flexibilidad entrega libertad para ser utilizado por profesores y estudiantes de distintas carreras del área construcción.



## **1.2. OBJETIVO DEL LIBRO**

El objetivo general del libro es facilitar la asociación de los conceptos teóricos con los prácticos para fortalecer el dominio competente del material hormigón.

Los capítulos que influyen directamente en el cumplimiento del objetivo son los de materias primas, hormigón a temprana edad y hormigón endurecido, es decir capítulos 3, 4 y 5 respectivamente.

La sección 1.3. presenta un muy breve resumen de los capítulos del libro para en la sección 1.4 describir la metodología asociada a los capítulos 3, 4 y 5.

## **1.3. SÍNTESIS DEL LIBRO**

El Capítulo 1 presenta los aspectos generales del libro, su objetivo, organización, y concepción estratégica.

El Capítulo 2 introduce los fundamentos pedagógicos que sustentan la docencia activa para el desarrollo del dominio competente.

El Capítulo 3 presenta las materias primas del hormigón con énfasis en los potenciales efectos que variaciones de estos pueden tener en el hormigón resultante.

El Capítulo 4 fundamentalmente trata sobre el hormigón a temprana edad y las influencias de su tratamiento (positivo o negativo) en los resultados en estado endurecido.

El Capítulo 5 trata sobre el producto terminado, el hormigón endurecido, evaluación de su resistencia ante distintas condiciones, y métodos de reparación en caso de no cumplirla.

Finalmente, el Capítulo 6 incluye las más importantes conclusiones, con énfasis en la contribución pedagógica del libro al dominio competente del hormigón.

Anexo1: presenta los aspectos de seguridad fundamentales para el trabajo de estudiantes en laboratorios activos-participativos.

Anexo 2: aspectos adicionales como una guía detallada para la evaluación de potenciales patologías con el equipo esclerómetro (ensayo no destructivo tradicionalmente utilizado).

## **1.4. CONCEPCIÓN ESTRATÉGICA DEL LIBRO**

Los capítulos que influyen directamente en el cumplimiento del objetivo son aquellos asociados a los laboratorios de materiales componentes, hormigón a temprana edad y hormigón endurecido, es decir capítulos 3, 4 y 5 respectivamente.

Aun si no todas las experiencias de laboratorio se puedan realizar, es importante notar que *la metodología activa que promueve el libro no sólo se refiere a las experiencias de laboratorio propiamente tal, sino que a la misma concepción estratégica del libro*. De esta manera, aun en los casos de laboratorios vía video, por ejemplo, el libro genera las condiciones para un aprendizaje activo-participativo de los estudiantes.

En efecto, particularmente la estrategia plasmada en los capítulos 3, 4 y 5 se puede resumir en lo siguiente:

- **Introducción:** se presentan conceptos teóricos introductorios claves de los aspectos relevantes del hormigón que trata el capítulo. Esta introducción es complementaria a la clase, y se concentra en los conceptos utilizados posteriormente para la asociación teórico-práctica.
- **Laboratorios:** se describen las experiencias de laboratorio relacionadas que tienen el potencial de ser realizadas por los estudiantes (laboratorios activo-participativos). Estas se dividen en detalladas y didácticas guías de laboratorio, y propuestas de experiencias adicionales. En las primeras, se describen las experiencias de laboratorio de manera de facilitar la comprensión de ellas por parte de los estudiantes. Estas descripciones, aunque están basadas en la normativa, se presenta de manera muy distinta a ella. En efecto, algunas normativas pueden ser abstractas, en cambio el libro refleja de manera aplicada y amigable las experiencias de laboratorio, incluyendo los cambios normativos que se han producido recientemente en Chile. Para ello se utilizan una serie de diagramas que las hacen mucho más cercanas a los alumnos.

En el caso de que las experiencias no puedan ser realizadas presencialmente, las detalladas descripciones de los laboratorios que el libro incluye cobran aun mayor relevancia.

Adicionalmente, las propuestas de experiencias adicionales se dejan justamente planteadas, entregando libertad a los profesores para realizarlas o no, de acuerdo con el contexto particular de cada asignatura. Sin embargo, aun cuando no fueran realizadas entregan una idea muy clara de las variables influyentes en los fenómenos estudiados, guiando la asociación de las propiedades ingenieriles claves de los materiales componentes del hormigón, pero también del comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido.

- **Preguntas:** se proponen una serie de preguntas diseñadas para fomentar *los análisis activos-participativos* que lleven a los equipos de estudiantes a asociar claramente los conceptos teóricos, y los laboratorios (con sus resultados), con situaciones prácticas posibles de encontrar en terreno al trabajar con hormigón en la industria de la construcción. Existen preguntas no sólo asociadas a la dimensión cognitiva sino también a la actitudinal.

Algunas de esas preguntas pueden ser utilizadas, por ejemplo, en análisis participativos que los equipos de estudiantes tengan que realizar como parte de informes de laboratorio. En el caso que los laboratorios no puedan realizarse presencialmente, sino que a través de videos por ejemplo, los análisis activo-participativos, fomentados por el libro, cobran aún

mayor importancia.

- **Caso de estudio:** al final del capítulo 5 (hormigón endurecido) se incluye un caso de estudio integral que permite evaluar efectos de las materias primas y el hormigón a temprana edad en el hormigón endurecido. Además de medidas de mitigación en caso de corresponder y finalmente efectos en la sociedad, medioambiente y economía.

## REFERENCIAS

- Davalos (2013) Hormigón Sustentable, Una Nueva Mirada a los Materiales de Construcción. *Beauchef Magazine*, 10-22.
- Gagg C., R. (2014). Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. *Engineering Failure Analysis* 40, 114-140.
- Pradena, M y Maluenda, J. (2018). Mejorando la docencia experimental en el Laboratorio de Hormigones del Departamento de Ingeniería Civil. *Actas Tercera Jornada de Educación en Ingeniería*, Concepción-Chile, 58-64.
- Pradena, M; Silva, J; Maluenda, J. (2019). Enseñanza experimental integral del hormigón para el fortalecimiento del dominio competente. *Actas Cuarta Jornada de Educación en Ingeniería*, Concepción, 21-28.

## CAPITULO 2 ASPECTOS PEDAGÓGICOS CLAVE PARA LA REORIENTACIÓN DE LA ENSEÑANZA DEL HORMIGÓN

Por: Jorge Maluenda, Psicólogo Educacional

El contexto actual, determinado por un dinamismo y complejidad inusitados en nuestra historia, ha provisto a nuestra sociedad de desafíos y problemas de la más alta complejidad e interconexión. Ello interpela a los ingenieros, docentes y estudiantes de ingeniería a un nuevo enfoque en el abordaje del proceso educativo que permita garantizar una mayor efectividad del mismo, pero a su vez, empujar las barreras actuales de modo que los futuros profesionales sean agentes de cambio y aprendices permanentes del mundo que les rodea.

La concepción y resolución de problemas de alta complejidad viene a ser la premisa fundamental de todo ingeniero, donde se requiere el desarrollo de habilidades no solo técnicas sino que también transversales para su abordaje (Kojmane & Aboutajeddine, 2016).

En este contexto, el enfoque de educación basado en competencias, al igual que en las demás disciplinas, ha sido una respuesta ante el actual proceso de transformación de la educación superior que pretende reconocer las características del *estudiante actual*, del *mundo del trabajo* y con ello, ajustarse a los *requerimientos y exigencias de la sociedad contemporánea*.

El concepto “competencia” ha venido a reconsiderar lo que significa “ser un profesional competente” trayendo consigo el tránsito desde una visión restringida al dominio de conocimientos y procedimientos, hacia una visión más integral (Maluenda, Freire, & Navarro, 2016).

Cada competencia comprende un amplio rango de combinaciones del saber y del hacer, compuestas por conocimientos, habilidades y actitudes que posee un individuo, y que ilustran la eficacia de la persona y su capacidad para desempeñarse en tareas profesionales (Kallioinen, 2010).

Por lo tanto, ser competente implica el desarrollo de una dimensión cognitiva, una actitudinal y una procedimental: el estudiante aprende conceptos, teorías y métodos (cognitiva), desarrolla una actitud favorable a la aplicación correcta de estos conocimientos y una orientación ética de su comportamiento profesional (actitudinal), a la vez que adquiere habilidad y destreza en su ejecución (procedimental).

El tránsito real desde un modelo tradicional a uno centrado en competencias implica el desarrollo y ejercicio de estrategias de enseñanza-aprendizaje y evaluación ajustadas, coherentes y pertinentes a esta nueva concepción del aprendizaje. Esto implica, pasar de *métodos centrados en los contenidos* y cuyo actor principal es *el docente*, hacia otros centrados en un proceso fluido de *construcción colectiva del aprendizaje*, donde *el estudiante es actor principal* y el docente es planificador, guía y mentor que orienta y estimula el aprendizaje.

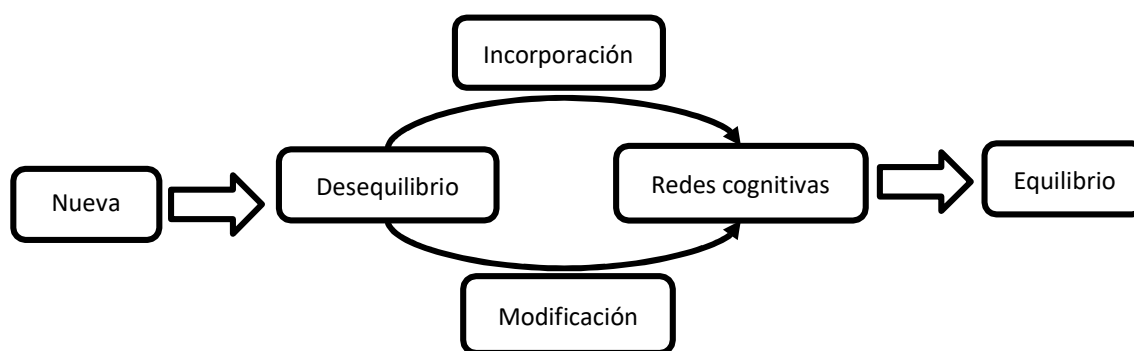
En Chile (y en Latinoamérica), sin embargo, las estrategias pedagógicas utilizadas más comúnmente para la enseñanza del trabajo con hormigón son aquellas expositivas y descriptivas. Básicamente, constan del uso de la enseñanza teórica a través de charla- demostración (expositivas) y el

complemento en laboratorios a partir de ensayos realizados por el docente o laboratorista en cuyo proceso los estudiantes deben observar y tomar notas (descriptivas). Sin embargo, el dominio competente en el manejo del hormigón requiere de estrategias pedagógicas que reconozcan la complejidad de su desarrollo.

En el caso específico de la enseñanza-aprendizaje en el trabajo con el hormigón existen experiencias puntuales de trabajo activo orientado al desarrollo de competencias en el aula. Por esta razón, este dominio de trabajo está aún en el plano de la innovación educativa donde algunos ejemplos son el uso de software de modelamiento y diseño digital para el trabajo en estructuras de hormigón (Al-Ansari & Senouci, 1999; Colombo, Assis, & Bittencourt, 2011), el uso de tecnologías de información y realidad argumentada (Behzadan, Dong, & Kamat, 2015; Behzadan & Kamat, 2013; Shirazi & Behzadan, 2015), el desarrollo de experiencias educativas basadas en el trabajo en equipos interdisciplinarios (Fruchter, 1999), asignaturas integradoras cuyo foco son problemas complejos de la ingeniería y cuyo abordaje se realiza desde la experimentación con el diseño y construcción en hormigón (Echazarreta, 2009; Jones, 2012).

**La enseñanza basada en competencias y los métodos activos para favorecer el aprendizaje se erigen desde la perspectiva Constructivista de la educación.**

En su versión más sencilla, el constructivismo propone que el aprendizaje de un individuo ocurre necesariamente desde su *participación "activa" en el proceso educativo*. Es el estudiante quien se expone a distintas experiencias educativas que le proveen nuevos conocimientos, los que son adquiridos siempre que, el mismo elabore en sus propios términos los aprendizajes y los vincule con el entramado complejo de cogniciones y emociones con las que ya cuenta (Navarro, Vaccarezza, González, & Catalán, 2015). A este proceso se le denomina comúnmente "construcción de conocimiento" y es por esta razón que se dice que, el estudiante es quien construye su proceso de aprendizaje (Ver figura 2.1).



**Figura 2.1.** Aprendizaje desde una perspectiva constructivista.  
Elaboración propia en base a propuesta de Piaget (1947).

El desequilibrio cognitivo-emocional del estudiante es un aspecto fundamental del aprendizaje debido a su estrecha vinculación con los procesos motivacionales. La falta de motivación implica, en

primera instancia déficit en la atención, y posteriormente, dificultades en la aprehensión de los aprendizajes, así como su consolidación y uso.

Uno de los modelos más importantes para explicar la motivación humana que además, permite comprender la importancia del aprendizaje activo para la motivación y el aprendizaje es la Teoría de la Autodeterminación (Deci, Olafsen, & Ryan, 2017; Deci & Ryan, 2008; Ryan & Deci, 2000). Se propone que la motivación humana está guiada por la satisfacción de tres necesidades humanas básicas: Autonomía, Competencia y Relación. En el contexto educativo, la necesidad de Autonomía se satisface cuando el estudiante siente que toma opciones y se motiva por factores intrínsecos más que externos, la Competencia se favorece cuando la estructura de la clase permite alcanzar los resultados deseados y la Relación ocurre cuando profesores y pares crean un entorno de apoyo y preocupación (Fredricks & McColskey, 2012).

Las estrategias pasivas (centradas en el contenido y con docente como actor principal) no proveen las oportunidades necesarias para la satisfacción de estos tres tipos de necesidad básica. En su contraparte, una estrategia activa (constructivista, centrada en el estudiante, con docente guía) favorece con mayor facilidad las condiciones necesarias para ello.

Dicho lo anterior, podemos resumir que las estrategias de enseñanza activas permiten, por un lado, el favorecimiento de la motivación, y a su vez, del aprendizaje de nivel más profundo.

Un componente adicional de este tipo de métodos es que también proveen oportunidades para el desarrollo de conocimientos, actitudes, habilidades y destrezas (competencias) desde un punto de vista multidimensional. Esto significa que, cuando un estudiante simula el ejercicio profesional, interactúa con otros, resuelve problemas utilizando sus conocimientos, experimenta los resultados de su trabajo tanto en lo interpersonal como en lo técnico, vivencia los logros y fracasos obtenidos, se enuncia, enfrenta conflictos, comunica, solo por mencionar algunos “input” de un sinnúmero potencial de ellos, muchos de los cuales, simplemente no son posibles en la interacción con contenidos teóricos y experiencias vicarias.

En síntesis, las estrategias de enseñanza activas permiten desarrollar competencias con mayor éxito porque permiten:

1. Un desequilibrio en el estudiante que estimule la satisfacción de sus necesidades básicas en el contexto educativo, conduciendo a mayores niveles de motivación y aprendizaje profundo.
2. Oportunidades de aprendizaje multidimensionales e integrales (holísticas).
3. La exposición a situaciones reales, abarcando la complejidad, fluidez y dinamismo que le es propio.
4. En consecuencia de lo anterior, dar espacio para el despliegue de procesos intelectuales de nivel superior tales como: decidir y argumentar; entender, reorientar y regular el propio comportamiento; planificar, organizarse y corregirse, etcétera.

## Referencias

- Al-Ansari, M. S., & Senouci, A. B. (1999). MATHCAD: Teaching and Learning Tool for Reinforced Concrete Design. *International Journal of Engineering Education*, 15(1), 64–71.
- Behzadan, A. H., Dong, S., & Kamat, V. R. (2015). Advanced Engineering Informatics Augmented reality visualization : A review of civil infrastructure system applications. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 252–267. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.03.005>
- Behzadan, A. H., & Kamat, V. R. (2013). Enabling discovery-based learning in construction using telepresent augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.003>
- Colombo, A. B., Assis, W. S., & Bittencourt, T. N. (2011). An educational tool for design and detailing of reinforced concrete columns Uma ferramenta didática para o dimensionamento e detalhamento de pilares de concreto armado. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, 4(3), 481–490.
- Deci, E. L., Olafsen, A. H., & Ryan, R. M. (2017). Self-Determination Theory in Work Organizations : The State of a Science. *The Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 4, 19–43.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). Self-Determination Theory : A Macrotheory of Human Motivation , Development , and Health. *Canadian Psychology*, 49(3), 182–185. <https://doi.org/10.1037/a0012801>
- Echazarreta, D. (2009). Resolución de Problemas Integradores en la Enseñanza de la Física para Estudiantes de Ingeniería Civil Integrating Problem Resolution in the Teaching of Physics for Civil Engineering Students. *Formación Universitaria*, 2(6), 31–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062009000600005>
- Fredricks, J., & Mccolskey, W. (2012). The Measurement of Student Engagement: A Comparative Analysis of Various Methods and Student Self-report Instruments. In C. Christenson, S, Reschly, A., Wylie (Ed.), *Handbook of Research on Student Engagement*. (pp. 763–782). New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7>
- Fruchter, R. (1999). A/E/C Teamwork: A collaborative design and learning space. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(4), 261–269.
- Jones, C. a. (2012). Concrete Training Aids in the Classroom, (May), 49–53. Retrieved from [https://www.usma.edu/cfe/literature/c\\_jones\\_12.pdf](https://www.usma.edu/cfe/literature/c_jones_12.pdf)
- Kallioinen, O. (2010). Defining and Comparing Generic, 9(1), 56–68.



- Kojmane, J., & Aboutajeddine, A. (2016). Strengthening engineering design skills of first-year university students under resources constraints. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 44(2), 148–164. <https://doi.org/10.1177/0306419016641006>
- Maluenda, J., Freire, J., & Navarro, G. (2016). Desarrollo de actitudes favorables hacia las competencias genéricas en un curso de la carrera de Kinesiología. *Revista de Estudios y Experiencias En Educación*, 15(28), 71–91. <https://doi.org/10.21703/rexe.20162871914>
- Navarro, G., Vaccarezza, G., González, M. G., & Catalán, R. (2015). *Construcción de conocimiento en educación superior. Educación de competencias genéricas en la Universidad de Concepción, Chile*. (G. Navarro, Ed.). Concepción: Universidad de Concepción.
- Ryan, R., & Deci, E. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037110003-066X.55.1.68>
- Shirazi, A., & Behzadan, A. (2015). Student Learning in a Multidisciplinary Sustainable Engineering Course. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(3), 235–243. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541)

## CAPITULO 3 MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN: ÁRIDOS

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Básicamente el hormigón es una mezcla de cemento, agua y áridos (Figura 3.1). A estos componentes básicos se puede agregar algún tipo de aditivo, generalmente de origen químico.

Por sus características de producción y envasado, las condiciones del cemento y los aditivos están estandarizadas y son bastante controladas. Algo similar ocurre en términos generales con el agua. Sin embargo, los áridos pueden ser una fuente de variabilidad que afecte la fabricación del hormigón, su comportamiento a temprana edad y su estado endurecido. Considerando que los áridos constituyen gran parte del hormigón (cerca del 60-70% del volumen total), es importante ser competente respecto de las propiedades de los áridos y su relación con las propiedades de hormigón, para determinar posibles efectos y corregirlos a tiempo.



Figura 3.1.- Árido chancado (izquierda) y árido rodado (derecha), (Uribe, 2015).

La importancia de ser competente respecto a las propiedades de los áridos y sus efectos en los hormigones también se relaciona con aspectos de sustentabilidad. En efecto, la tasa actual de uso de áridos pétreos de origen natural no es sostenible en el tiempo y por lo tanto se requiere utilizar cada vez más áridos reciclados obtenidos de la trituración de hormigones (Figura 3.2) o residuos provenientes de procesos industriales (Figura 3.3). La utilización de este tipo de áridos reciclados es un aporte a la economía circular y al cuidado del medioambiente al disminuir la extracción de áridos naturales. Sin embargo, para la evaluación de la efectividad del uso de áridos reciclados en hormigones, es fundamental comprender las propiedades ingenieriles de los áridos para hormigones.



Figura 3.2.- Áridos reciclados provenientes de la trituración de hormigones. Tamaño 6,3-9,5 mm (izquierda), 9,5-12,5 mm (centro) y 12,5-19 mm (derecha), (Letelier et al., 2014).

La Figura 3.3. muestra dos tipos de residuos utilizados en el laboratorio de hormigones UdeC como reemplazo parcial de árido fino en hormigones.



Figura 3.3.- Residuos utilizados como reemplazo parcial del árido fino de hormigones. Escoria de fundición de cobre (izquierda) y caucho granulado de neumático fuera de uso (derecha), (Archivo fotográfico Laboratorio de Hormigones UdeC, 2021).

## **3.2. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO**

### **3.2.1. Experiencias detalladas**

#### **Introducción**

Se espera que los estudiantes puedan observar y participar en la determinación de ciertos parámetros importantes de los áridos para hormigones. Junto con ello, se pretende que por medio de la sesión puedan familiarizarse muy bien con los distintos tipos de ensayos existentes, las propiedades que determinan y para qué tipo de áridos son diseñados.

#### **Procedimiento de cuarteo manual y mecánico (NCh 164:2009)**

Mediante esta operación, se realizará la reducción de una muestra representativa de áridos, de modo que se mantenga fielmente sus características. Se hará un cuarteo de árido por parte de un laboratorista y posteriormente por los estudiantes.

Para el cuarteo manual la NCh 164:2009 recomienda el uso de pala, con la cual se extiende en círculo la muestra, dándole un espesor uniforme en una superficie lisa y limpia. Posteriormente se debe dividir en cuatro partes iguales mediante dos diámetros perpendiculares entre sí. Se debe separar el árido correspondiente a dos cuartos opuestos cuidando de retirar todo el material fino, limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba. Posteriormente se debe homogeneizar los dos cuartos seleccionados para finalmente repetir el procedimiento hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

Otra forma consiste primeramente en agrupar el total del árido a cuartear. Luego, se utiliza un dispositivo en forma de regla confeccionado con metal o madera de tal manera que se pueda separar la muestra en 4 partes lo más similarmente posible. Se debe quitar dos de estas partes mientras que las otras dos se agrupan nuevamente para volver a repetir el proceso. La figura 1 muestra el

procedimiento de manera gráfica, donde las flechas hacia afuera indican los segmentos de muestras a quitar mientras que las flechas hacia adentro señalan aquellos segmentos de muestra a conservar para seguir con el procedimiento. El proceso termina cuando se tiene el peso solicitado.

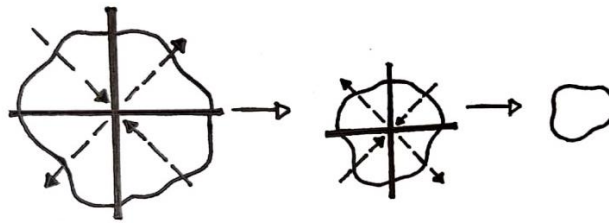


Figura 1 Cuarteo manual

Para el cuarteo también se puede utilizar un cuarteador mecánico (Figura 2). Se coloca la muestra en uno de los recipientes del cuarteador dejando que la maquina haga su trabajo. Una vez que pasa el material se debe separar dejando uno de los recipientes. Finalmente se debe repetir el procedimiento con el material del recipiente restante, hasta obtener el tamaño de muestra requerido.



Figura 2 Cuarteador mecánico

### Análisis granulométrico (NCh 165:2009)

La muestra de ensayo necesaria deberá ser obtenida por cuarteo de una muestra representativa del árido según la NCh 164:2009 (punto 1), con un peso mínimo según lo señalado en la tabla 1.

La muestra debe pasar por un secado previo a masa constante en un horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5$

Tabla 1. Peso mínimo según el tamaño máximo del árido

Tamaño máx. del árido	Peso mínimo (g)
N° 4 arena	500
1 1/2" Grava	16000

El tamizado se puede efectuar de dos maneras: Tamizado mecánico y manual.

Para el **tamizado mecánico** se debe agitar el conjunto de tamices (serie normal de tamices que corresponda) (Figura 3) por un periodo suficiente para obtener una masa menor que 1% de la masa retenida.

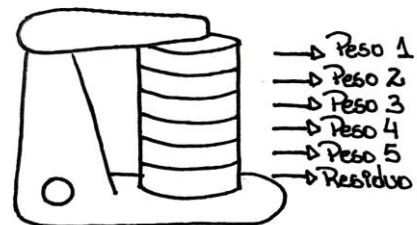


Figura 3 Tamizadora con serie de tamices escogidas

En el caso del **tamizado manual** la norma establece que el tamizado mecánico se puede usar como ayuda inicial para reducir la masa retenida en cada tamiz. Los pasos a seguir son:

- a) Retirar el tamiz de mayor abertura y colocar el depósito y tapa
- b) Sostener de un costado con una mano, manteniendo el tamiz ligeramente inclinado
- c) Golpear firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes por minuto.
- d) Girar el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta
- e) Al completar cada ciclo de 150 golpes, pesar separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito
- f) Trasladar el material que pasa en cada tamiz al tamiz siguiente
- g) Repetir el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa menor que 1% de la masa retenida, con lo cual se da por terminado el tamizado en esa fracción.
- h) Retirar el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

Realizada la operación de tamizado, se pesarán las cantidades de árido retenido en cada tamiz de la serie empleada y el material de residuo, aproximando a 0.1 gramo para el árido fino y 1 gramo para el árido grueso.

En base a estos resultados, calcular y expresar las granulometrías de cada árido según la siguiente disposición:

Tamiz	mm	Masa retenida	Masa pasa	Retenido	Ret acum	Pasa	Pasa acum
N°	n°	g	g	%	%	%	%

Se debe cerciorar que la suma de las fracciones de masas retenidas en cada uno de los tamices y en el depósito receptor no difiera de la masa inicial en más de 1% para el árido fino (arenas) y de 0,5% para el árido grueso.

### **Determinación de la densidad aparente (NCh 1116:2008)**

Según el tamaño máximo nominal del árido se debe elegir el recipiente a usar (tabla 2). La muestra a utilizar se obtiene según lo estipulado en la NCh 164:2009 (punto 1) y se debe secar a masa constante a 110°C ± 5.

Tabla 2. Dimensiones de las medidas volumétricas, según la NCh 1116:2008, modificada.

Capacidad volumétrica nominal (L)	Tamaño máximo nominal de áridos (mm)	Diámetro interior de la medida volumétrica (mm)	Altura interior de la medida volumétrica (mm)	Espesor mínimo de la base, de medida volumétrica (mm)	Espesor mínimo de la pared, de medida volumétrica (mm)
3	16	155 ± 2	160 ± 2	5	2.5
10	25	205 ± 2	305 ± 2	5	2.5
15	50	255 ± 2	295 ± 2	5	3
30	100	355 ± 2	305 ± 2	5	3

### 1.- Densidad aparente suelta ( $\rho_{as}$ ).

Con la muestra de ensayo mezclada y homogeneizada, llenar el recipiente de una vez, dejando caer y distribuyendo el material desde una altura no mayor de 5 cm por sobre el borde superior de este. Enrasar con barra pisón para luego pesar el material contenido registrando su valor en kg. En la figura 4 se puede observar de forma gráfica el procedimiento. El cálculo de la densidad aparente se presenta en el punto 3.3.

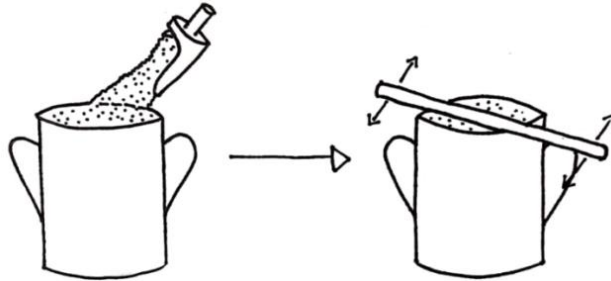


Figura 4 Pasos para determinar la densidad aparente suelta

### 2.- Densidad aparente compactada ( $\rho_{ac}$ ).

#### a) Compactación por apisonado

Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor a 50 mm.

Con la muestra de ensayo mezclada y homogeneizada, llenar el recipiente en 3 capas de igual volumen desde una altura no mayor a 50 cm, compactando cada capa mediante barra de pisón con 25 golpes distribuidos uniformemente. Se debe procurar que la última capa tenga material excedente, de tal forma que al aplicarle los golpes este no vaya a faltar. Finalmente se debe enrasar la medida con el pisón (Figura 5) para luego determinar el peso del material contenido en ellas y registrarlo en kg. El cálculo de la densidad aparente se presenta en el punto 3.3

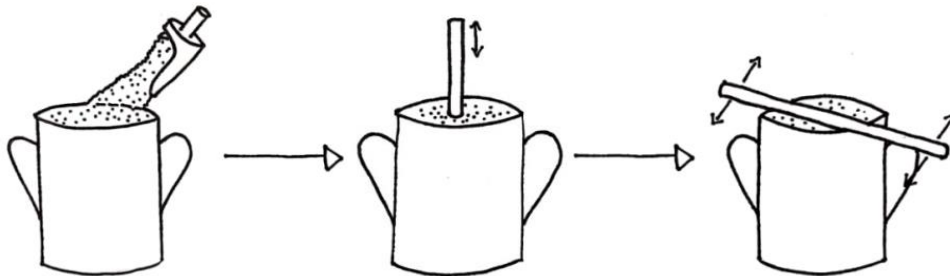


Figura 5 Pasos para determinar la densidad aparente compactada

#### b) Compactación por otros métodos

Se aplica a áridos de tamaño máximo nominal mayor o igual que 50 mm y menor o igual que 100 mm.

Otros métodos, como vibración o sacudida, se pueden usar para compactar las muestras de áridos en la medida volumétrica. El método que se aplique se debe describir en detalle en el informe.

### 3.- Cálculo de densidades

Para cada caso antes mencionado calcular la densidad según la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{v} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

$m_1$  = Masa de la medida vacía (kg)

$m_2$  = Masa de la medida llena con la muestra de árido (kg)

$v$  = Volumen de la medida ( $m^3$ )

**Nota:** Realizar los ensayos como mínimo 2 veces y aplicar criterios de aceptación compuestos por:

1. La diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, debe ser menor o igual que  $30 \text{ kg/m}^3$ .
2. Se deben ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 1.

### Determinación del desgaste de las gravas, métodos de la máquina de los ángeles (NCh 1369:2010)

La muestra se extrae según la NCh 164:2009. Se procederá entonces a elegir el grado de ensayo, determinado por la granulometría procedente del ensayo anterior, según tabla 3.

La muestra de ensayo se entregará preparada, es decir, se ha procedido a lavarla, secarla y tamizarla, entregándose el material separado en las fracciones resultantes.

Tabla 3. Tamaño de la muestra de ensayo, según grado de ensayo y tamaño límite de partículas (mm), según NCh 1369:2010, modificada.

Tamaño de partículas (mm)	Grado de ensayo						
	1	2	3	4	5	6	7
	(75 - 63)	(63 - 50)	(37,5 - 19)	(37,5 - 9,5)	(19 - 9,5)	(9,5 - 4,75)	(4,75 - 2,36)
Tamaño de las fracciones que constituyen la muestra de ensayo (g)							
75 - 63	2500 ± 50						
63 - 60	2500 ± 50						
60 - 37,5	5000 ± 50	5000 ± 50					
37,5 - 25		5000 ± 25	5000 ± 25	1250 ± 25			
25 - 19			5000 ± 25	1250 ± 25			
19 - 12,5				1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5 - 9,5				1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5 - 6,3						2500 ± 10	
6,3 - 4,75						2500 ± 10	
4,75 - 2,36							5000 ± 10
Masa muestra de ensayo (g)	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Pesar el árido de las fracciones correspondientes al grado elegido como masa inicial de la muestra (mi) y colocarlo en la máquina de Los Ángeles (Figura 6). Considerar cantidad, masa de las esferas y número de revoluciones indicadas en la tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de ensayo según grado de ensayo, según NCh 1369:2010, modificada.

	Grado de ensayo						
	1	2	3	4	5	6	7
Esferas							
Cantidad	12				11	8	6
Masa total (g)	5000 ± 90				4585 ± 85	3330 ± 65	2500 ± 55
Número de revoluciones	1000			500			

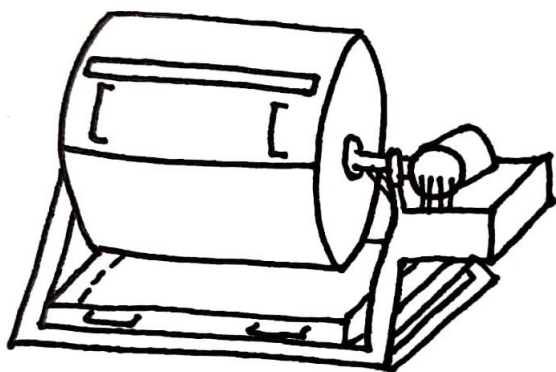


Figura 6 Máquina de desgaste de los Ángeles

Efectuar el primer tamizado, procurando separar las esferas de la muestra, en un tamiz de abertura mayor o igual que 2,36 mm (ASTM N°8) de modo de evitar dañar el tamiz de corte de 1,68 mm (ASTM N°12)

El material retenido en ambos tamices se deberá lavar y secar hasta masa constante para luego dejar enfriar.

Pesar y registrar la masa del material retenido sobre el tamiz de abertura 1,68 mm como masa final de la muestra de ensayo (mf).

Calcular la pérdida de la masa de la muestra, según la relación:

$$P = \frac{mi - mf}{mi} \cdot 100 (\%)$$

Donde:

mi= Masa inicial de la muestra de ensayo (g)

mf= Masa final de la muestra de ensayo (g)

### **Determinación de las densidades reales y netas y absorción de agua de las gravas (NCh 1117:2010).**

La masa mínima de la muestra de ensayo guarda relación con el tamaño máximo nominal del árido. En la tabla 5 se muestran estos valores.

La muestra se extrae según la NCh 164:2009.



Tabla 5. Muestra para ensayo, masa mínima según tamaño nominal del árido (NCh 1117:2010, modificada)

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Masa de la muestra para ensayo (kg)
12.5 o menor	2
20	3
25	4
40	5
50	8
63	12
80	18

La muestra de ensayo se entregará preparada, es decir, sumergida durante 24 hrs en agua (Figura 7)



Figura 7 Muestra de grava sumergida

Retirar la muestra y colocar inmediatamente en el canastillo portamuestra para luego sumergir nuevamente en algún recipiente con agua. Registrar su peso como masa A (Figura 8)



Figura 8 Muestra en canastillo portamuestra dentro de un recipiente con agua

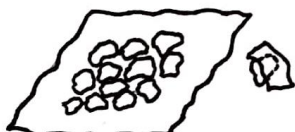


Figura 9 Muestra sobre paño absorbente

Retirar la muestra del canastillo y secar superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo y secando individualmente las partículas mayores, en el caso que fuera necesario.

Para evitar evaporación del agua de los poros cubrir con un paño húmedo hasta el momento de pesar, lo cual se hará al aire ambiente registrando así la masa B (Figura 9)

Terminada esta operación, retirar la muestra del recipiente y secar hasta masa constante por 24 hrs a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Dejar enfriar y pesar, registrando la masa C (Figura 10)

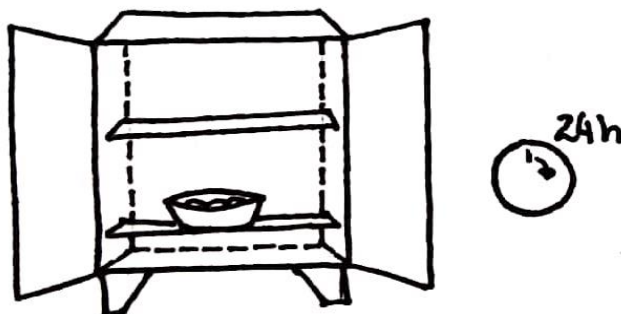


Figura 10 Muestra en horno

**Calcular:**

a) Densidad real del árido seco

$$\rho_{RS} = \frac{C}{B-A} \cdot 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

b) Densidad real del árido saturado superficialmente seco

$$\rho_{Rsss} = \frac{B}{B-A} \cdot 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

c) Densidad neta

$$\rho_N = \frac{C}{C-A} \cdot 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

d) Absorción de agua

$$\alpha = \frac{B-C}{C} \cdot 100\%$$

Donde:

A= Masa del árido saturado superficialmente seco menos la masa del agua desplazada (kg)

B= Masa del árido saturado superficialmente seco (kg)

C= Masa del árido seco (kg)

**Nota:** Realizar los ensayos como mínimo 2 veces. Los resultados se consideran aceptables cuando la diferencia entre ellos sea:

1. Menor o igual que 30 kg/m<sup>3</sup> en la determinación de las densidades reales y neta.
2. Menor o igual que 0.3% en la determinación de la absorción de agua.
3. Se deben ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 1 y 2.

**Determinación de la densidades real y neta y de la absorción de agua de las arenas (NCh 1239:2009)**

Para cada ensayo se usa una cantidad de arena mayor que 500g.

La muestra de ensayo se entregará preparada, sumergida por 24 horas en agua (Figura 11)



Figura 11 Muestra de arena sumergida

Retirar la muestra del agua, colocarla en una bandeja y secarla aplicando una corriente de aire caliente, revolviendo continuamente (Figura 12.a). Se deben hacer ensayos con el molde cónico, llenándolo con el árido y compactando con 25 golpes de pisón (Figura 12.b), hasta tener la condición de "libre fluidez" llamado condición saturada superficialmente seca (msss) (Figura 12.c).

Una vez logrado el estado esperado se debe colocar en el matraz la msss y llenar hasta casi la marca de calibración con agua a una temperatura de 20°C ± 2°C.

Agitar el matraz para eliminar las burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano o bien revolviendo el agua con una varilla de vidrio.

Dejar reposar por 1 h para después llenarlo con agua a  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  hasta la marca de calibración, agitar y dejar reposar nuevamente (Figura 12.d).

Medir y registrar la masa total del matraz más la muestra de ensayo y el agua (Mm).

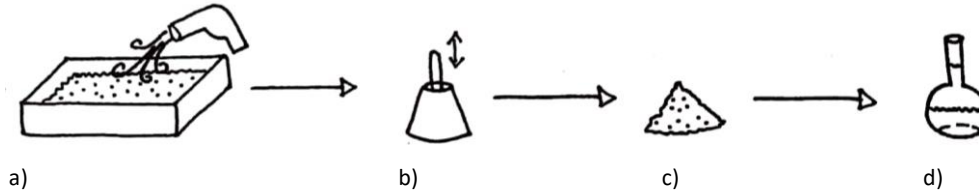


Figura 12 a) Muestra en bandeja con corriente de aire, b) Ensayo en el molde cónico, c) Muestra en condición saturada superficialmente seca, d) Muestra en matraz

Sacar la muestra del matraz, sin perder material y dejar secar a masa constante al horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  (Figura 13), dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar (ms).

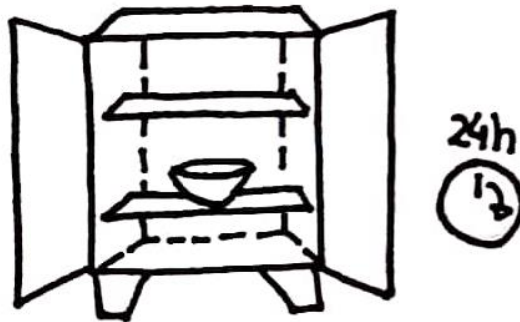


Figura 13 Muestra en el horno

Llenar el matraz solamente hasta la marca de calibración (500 ml) y pesar el matraz más agua (Ma)

**Calcular:**

a) Densidad real del árido seco

$$\rho_{Rs} = \frac{ms}{Ma + m_{sss} - Mm} \cdot 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

b) Densidad real del árido saturado superficialmente seco:

$$\rho_{R_{sss}} = \frac{m_{sss}}{Ma + m_{sss} - Mm} \cdot 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

c) Densidad neta

$$\rho_N = \frac{ms}{Ma + ms - Mm} \cdot 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

d) Absorción

$$\alpha = \frac{m_{ss} - m_s}{m_s} \cdot 100\%$$

Donde:

$m_s$  = Masa de la muestra seca (g)

$m_{ss}$  = Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

$M_a$  = masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g)

$M_m$  = Masa del matraz con la muestra y agua hasta la marca de calibración (g)

**Nota:** Realizar los ensayos como mínimo 2 veces. Los resultados se consideran aceptables cuando la diferencia entre ellos sea:

1. Menor o igual que 30 kg/m<sup>3</sup> en la determinación de las densidades.
2. Menor o igual que 0.3% en la determinación de la absorción de agua.
3. Se deben ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 1 y 2.

### **Determinación de la humedad total (NCh 1515:1979)**

Se toma una muestra de arena húmeda ( $m_h$ ) según lo señalado en la tabla 6. De inmediato proceder a secarla en una fuente de calor a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante, dejar enfriar al aire y pesar ( $m_s$ ). La figura 14 muestra gráficamente el procedimiento.



Figura 14: Determinación de la humedad

Tabla 6. Tamaño de la muestra de ensayo

Tamaño máximo de partículas (mm)	Tamaño mínimo de la muestra de ensayo (g)
50	3000
25	1000
12.5	750
5	500
2	100
0.5	10

Calcular la humedad según la relación:

$$W = \frac{m_h - m_s}{m_s} \cdot 100 (\%)$$

Donde,

mh: Masa del recipiente más la muestra húmeda (g)

ms: Masa del recipiente más la muestra seca (g)

### Determinación del esponjamiento

Se tomará una muestra de arena húmeda, aproximadamente 500 g. Colocar esta muestra en una probeta de 1000 ml, emparejar con la varilla volumétrica-graduada y registrar el volumen inicial ( $v_i$ ). Sumergir la muestra con agua para luego agitar la probeta eliminando las burbujas de aire. Se deja reposar para luego leer el nuevo volumen que ocupa la arena ( $v_f$ ), tal como se observa en la figura 15.

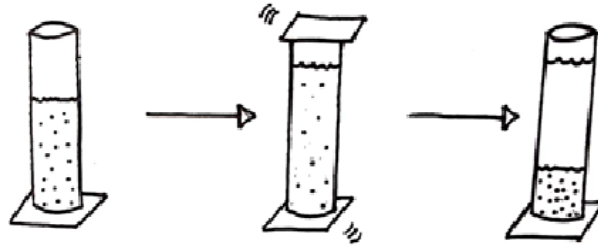


Figura 15: Determinación del esponjamiento

Calcular el esponjamiento según la expresión:

$$E = \frac{v_i - v_f}{v_f} \cdot 100 (\%)$$

Donde,

$v_i$  = Volumen inicial de la muestra (ml)

$v_f$  = Volumen final de la muestra más agua (ml)

### Determinación del material más fino que el tamiz ASTM n° 200 (0,08 mm) por lavado (NCh 1223:1977).

La muestra de ensayo se extrae y prepara de acuerdo con NCh 164:2009 y se ajustará a los valores señalados en la tabla 7.

Tabla 7. Peso mínimo según el tamaño máximo del árido

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Masa mínima de la muestra seca (g)
40 o más	5000
20	2500
10	2000
5	500
2.5	100

Secar la muestra de ensayo en estufa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante, con aproximación del peso de la muestra según tabla 9.1 y registrar masa pesada (B) (Figura 16).



Figura 16 Muestra secada a peso constante

Colocar la muestra de árido en un recipiente adecuado y cubrirla con agua. Agitar la muestra, es decir, lavarla (Figura 17.a). Para separar las partículas finas de las gruesas, vaciar el agua haciéndola pasar por el tamiz ASTM n°200 (0,08 mm) evitando la caída de las partículas más gruesas (Figura 17.b).

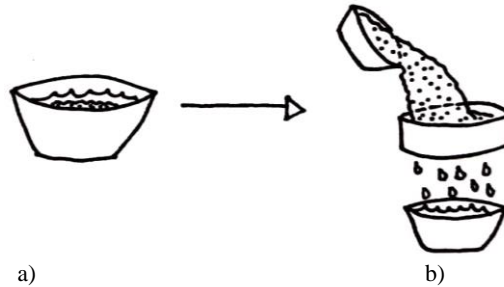


Figura 17 a) Muestra de arena cubierta con agua, b) Lavado de finos por el tamiz ASTM n°200

Esta operación se repetirá agregando más agua hasta que ésta salga clara.

Reincorporar el material retenido en el tamiz al recipiente, secar hasta masa constante en estufa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y pesar (C) con aproximación del 0,1 % del peso de la muestra.

Calcular la cantidad de material que pasa por el tamiz ASTM n° 200 por lavado, según la expresión:

$$A = \frac{B-C}{B} \cdot 100 (\%)$$

Donde,

B= Masa inicial de la muestra de ensayo seca (g)

C= Masa de la muestra de ensayo lavada y seca (g)

### **Determinación de impurezas orgánicas en las arenas (NCh 166:2009)**

Para la determinación de impurezas, las cuales solo son aplicables a áridos finos, existen dos procedimientos de ensayos. Con solución colorimétrica y con vidrios de color patrón.

Para ambos procedimientos se debe disponer en un frasco de vidrio hasta 130 ml de la muestra de arena junto la solución de NaOH al 3%, de tal forma que después de agitar la mezcla sea de 200 ml aproximadamente. Finalmente se debe tapar el frasco, agitarlo y dejarlo reposar por 24 h.

La solución de NaOH al 3 % está preparada con ácido tánico al 3%, es decir, 3 gr de hidróxido de sodio en 97 g de agua destilada.

En el caso del procedimiento con solución patrón colorimétrica, luego de las 24 h, se debe llenar un frasco de vidrio con 75 ml de solución patrón fresca. Colocar ambos frascos uno al lado del otro (patrón y con muestra) y comparar los colores emitidos a través de los líquidos. Registrar si el color es más claro, más oscuro o igual al de la solución patrón. Las arenas aptas presentan una coloración menos intensa que la de la solución patrón.

En el caso del procedimiento con vidrios de color patrón no es necesario preparar la solución de color patrón ya que el color que adquiere la mezcla de la muestra se compara con vidrios de color que están numerados del 1 al 5.

### 3.3.2. Experiencias de laboratorio propuestas

La guía de laboratorio ha sido desarrollada conforme a la normativa vigente. Ahora, se proponen experiencias de laboratorio para contribuir al dominio competente de las propiedades de áridos para hormigones. Por las razones expuestas en la introducción, asociadas al desarrollo sustentable, estas experiencias se centran en el reemplazo de áridos pétreos naturales por residuos o áridos reciclados.

Se pueden probar distintos tipos de residuos como reemplazo de áridos para hormigones. Según el tipo de residuo o áridos reciclados se puede reemplazar parte del árido grueso o del árido fino. En este último caso se podría, por ejemplo, utilizar probetas RILEM de mortero para comprobar los efectos del uso de residuos en este tipo de hormigones, al comparar con probetas de mortero patrón (sin residuo).

La Figura 18 presenta una probeta de mortero con reemplazo parcial de árido fino por caucho granulado de neumáticos fuera de uso. Otras opciones de reemplazo de árido fino por residuos, podrían ser escorias de procesos industriales o distintos tipos de plásticos, por ejemplo.



Figura 18. Probeta de mortero con reemplazo parcial de arena por caucho granulado de neumáticos fuera de uso (Entrevista TVU a Prof. M. Pradena).

Lo importante es caracterizar adecuadamente los residuos o áridos reciclados de acuerdo con las experiencias detalladas presentadas en 2.1. En efecto, entre residuos, áridos reciclados, y áridos naturales se pueden comparar propiedades como humedad, absorción y densidades, para luego comparar los efectos de la incorporación de residuos o áridos reciclados en el hormigón a temprana edad (capítulo 4) y en estado endurecido (capítulo 5).

Una primera aproximación a la determinación de la cantidad de árido a reemplazar por residuo o árido reciclado son los rangos posibles de obtener en la literatura. Estos valores presentan una base para definir los experimentos. Luego se debe determinar las propiedades de los residuos o áridos reciclados necesarias para caracterizarlos en las dosificaciones específicas, y así finalmente definir las proporciones a utilizar.

### 3.3. PREGUNTAS PROPUESTAS

Tal como se ha indicado en el segundo capítulo, el desarrollo competente basado en metodologías activo-participativas requiere no solo de la **exposición** del estudiante a situaciones desafiantes, sino que además esta experiencia debe ser acompañada de un **proceso reflexivo y analítico** que permita **vincular los saberes teóricos y técnicos con lo experiencial**.

El rol del docente será crucial tanto en el diseño de las actividades que permitan desarrollar intencionadamente estos aprendizajes como en la orientación, guía, crítica e incentivo a la reflexión de sus estudiantes.

A continuación, se sugieren preguntas que podrían ser útiles para estimular un análisis orientado a consolidar estos vínculos entre teoría y práctica, además de favorecer el uso de habilidades de pensamiento superior como son la reflexión crítica, la toma de decisiones, la capacidad para explorar, describir, explicar y predecir los fenómenos vinculados a los áridos para hormigón.

Las preguntas propuestas han sido organizadas pensando en las habilidades y destrezas que estas permiten estimular.

#### 3.2.2. Análisis y reflexión sobre experiencias con áridos.

- Considerando las propiedades obtenidas de los áridos ¿Qué comportamiento espera usted que tendría el hormigón confeccionado con estos?
- Considere 8% como un valor de humedad común de arenas almacenadas en laboratorio. Compare el valor obtenido con el de referencia y establezca que diferencias podría generar en el hormigón confeccionado.
- Con respecto al valor del desgaste obtenido ¿Qué factor o factores considera usted influyeron en ese valor? ¿Recomendaría esta grava para la construcción de pavimentos de hormigón?
- El rango típico de módulo de finura de arena Biobío es 2,5 a 3,0. ¿Qué podría comentar con respecto al valor obtenido con sus datos?
- En el caso de que al realizarse el ensayo de impurezas orgánicas el color obtenido fuese más oscuro que lo aceptable ¿Qué efectos cree que pueda ocurrir en el hormigón?. Suponga que está en terreno y tiene la posibilidad de usar un árido cercano ¿Cómo decidiría usted, *a priori*, sin realizar el ensayo de impurezas orgánicas, si este es apto para su uso?



### **3.2.3. Aspectos actitudinales y éticos.**

A continuación, se ofrecen preguntas que estimulan la reflexión de los estudiantes sobre las consecuencias e impactos del trabajo con áridos para hormigón. Se busca con estas preguntas ofrecer un espacio de análisis y argumentación que permita estimular el desarrollo de una actitud ética y rigurosa en el trabajo de paridos para la elaboración de hormigón.

- ¿Por qué razones es importante verificar las propiedades de los áridos y evitar el uso de áridos que no cumplan con las especificaciones? ¿Qué impactos podría tener en el resultado final del hormigón, los usuarios de éste y el medioambiente?
- ¿Por qué deberíamos considerar adecuadamente las características de los áridos en el desarrollo de productos finales de hormigón más amigables con el medioambiente?

## Referencias

INN (1977). NCh 1223:1977. Áridos para morteros y hormigones – Determinación del material fino menor a 0.080 mm. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (1979). NCh 1515:1979. Mecánica de suelos – Determinación de la humedad. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2008). NCh 1116:2008. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2009). NCh 164:2009. Áridos para morteros y hormigones – Extracción y preparación de muestras. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2009). NCh 165:2009. Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2009). NCh 166:2009. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de impurezas orgánicas. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2009). NCh 166:2009. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de impurezas orgánicas. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2009). NCh 1239:2009. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las arenas. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2010). NCh 1117:2010. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN (2010). NCh 1369:2010. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto – Método de la máquina de Los Ángeles. Instituto Nacional de Normalización, Chile.

Letelier, V., Osses, R., Valdés, G. y Moricomi, G. (2014). Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados. Revista Ingeniería y Ciencia, 10(19), 179-195.

Uribe, R. (2015). Agregados pétreos, Laboratorio Nacional de Vialidad. [http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Agregados%20P%C3%A9treos%202015%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Agregados%20P%C3%A9treos%202015%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)

## CAPITULO 4 HORMIGÓN A TEMPRANA EDAD

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Como el hormigón en estado fresco puede tener distintas consistencias se hace necesario un concepto que permita comprender cuan “trabajable” debe ser un hormigón respecto a su aplicación particular, y como esta propiedad se relaciona con otras, y con efectos indeseados o patologías que se deben evitar, como nidos de piedra u oquedades.

Para comenzar a comprender el concepto de trabajabilidad, es importante contar con una definición apropiada. Existen distintas definiciones de este concepto, las que en general tienen un carácter subjetivo. Sin embargo, el *Road Research Laboratory UK* (Glanville et al., 1947) definió la trabajabilidad de manera objetiva como “cantidad de trabajo interno útil que es necesario para producir una compactación completa”. La trabajabilidad a su vez se relaciona con otras propiedades del hormigón como la docilidad (consistencia) y la compactividad.

En este contexto, el presente capítulo pretende contribuir al desarrollo del “ojo clínico” en el estudiante, particularmente en lo referido al hormigón fresco. Para eso se requiere que el estudiante pueda involucrarse con el material, conocerlo, fabricarlo, curarlo, evaluarlo. Esto incluye, entre otras cosas, que los estudiantes se familiaricen con los equipos del laboratorio, mezclen los componentes y fabriquen la mezcla inspeccionando que no se produzca segregación, ensayen el hormigón fresco directamente, lo compacten en las probetas, las terminen, protejan y almacenen hasta el desmolde, para luego trasladarlas a la cámara o piscina de curado, volver a retirarlas a las edades correspondientes y las ensayen. El propósito es contribuir a que el futuro profesional pueda identificar cualidades de hormigones en obra, incluso visualmente.

Además, se espera que el estudiante pueda asociar propiedades del hormigón a temprana edad con su comportamiento en estado endurecido. De esta manera hay experiencias que se inician en el hormigón fresco pero que sus resultados (influencia) se evalúan, por supuesto, en el hormigón endurecido. Ejemplos de esto son los efectos de las consistencias del hormigón en estado fresco o la aplicación de distintos métodos de curado.

A temprana edad el hormigón sufre cambios volumétricos producidos, por ejemplo, por pérdida del agua del hormigón asociado a las condiciones medioambientales y procedimiento de curado (retracción por secado) o a la falta de agua para el adecuado desarrollo de las reacciones de hidratación del cemento (retracción autógena).

Por otra parte, la magnitud de las deformaciones térmicas depende del coeficiente de expansión térmica del hormigón (del orden de  $1 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) y la diferencia entre la temperatura en un tiempo cualquiera respecto a la temperatura de construcción. Por esto es muy importante la hora del hormigonado.

La magnitud de los cambios dependerá de la composición del hormigón, geometría de los elementos, y condiciones ambientales. A su vez el riesgo de agrietamiento depende de la magnitud de las deformaciones “impedidas”, y por lo tanto es función de las restricciones (internas o externas) a las deformaciones libres del material. También, por supuesto, dependerá del desarrollo de la resistencia del hormigón en el tiempo.

En general, se puede afirmar que elementos de hormigón con grandes superficies expuestas a la acción medioambiental son buenos candidatos a sufrir deformaciones volumétricas. El riesgo de agrietamiento se incrementa si las deformaciones están restringidas. Un ejemplo muy claro son los pavimentos, los que además de la superficie expuesta presentan restricciones internas, pero también externas como las bases. La Figura 4.1. presenta el concepto de “ventana óptima de corte” de las juntas de los pavimentos. Si el corte es demasiado temprano, el hormigón pudiera no tener la resistencia necesaria produciéndose desconche en las juntas. Sin embargo, si se espera demasiado las tensiones producidas por las deformaciones impedidas pueden superar la resistencia a tracción en desarrollo del hormigón. Cuando eso sucede se produce agrietamiento indeseado de las losas.

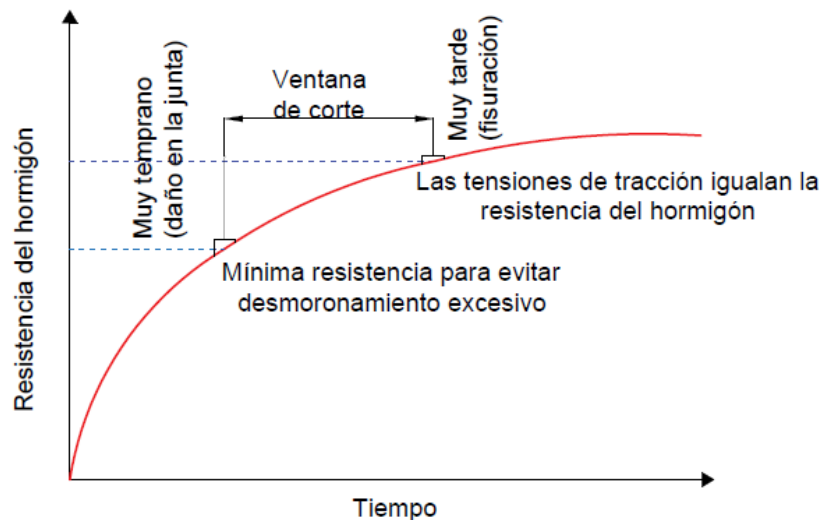


Figura 4.1.- Concepto de ventana de corte en pavimentos de hormigón (Okamoto et al, 1994)

En otras estructuras el agrietamiento producido a temprana edad permite que agentes atmosféricos penetren al interior del hormigón armado provocando corrosión de armaduras, con la consecuente disminución de la vida útil de la estructura. Un caso típico ocurre en estructuras portuarias, como muelles. Esto va en contra de los esfuerzos que se realizan en la ingeniería del hormigón en términos de asegurar una de las características originalmente distintivas del material como es su durabilidad (estructuras con hormigones romanos han perdurado hasta nuestros días). De hecho, la durabilidad que puedan proveer los hormigones hoy (y en el futuro) es extremadamente relevante, ya que durabilidad es un aporte a la sustentabilidad, porque se requiere menos cemento en un mayor ciclo de vida de las estructuras.

## 4.2. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

### 4.2.1. Experiencias detalladas

#### Introducción

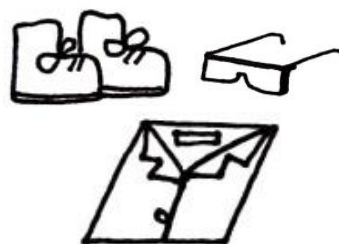
Esta experiencia se desarrollará de manera activa-participativa por los estudiantes, supervisados por el laboratorista, los ayudantes y el profesor a cargo de la asignatura.

Durante el curso de esta sesión se pretende que los estudiantes, se familiaricen de muy buena manera con los materiales, equipos, distintos moldes de probetas, terminología, procedimientos de confección del hormigón, apariencia de éste, y con la determinación de características inherentes al hormigón en estado fresco.

Finalmente, la guía cita cada una de las normativas utilizadas, las cuales pueden consultarse por los estudiantes.

#### Fase 1: Acondicionamiento de materiales

1. Para el ingreso y posterior confección de hormigón es fundamental contar con implementos de seguridad tales como zapatos de seguridad, cotona, guantes, antiparras y protector auditivo, tal como se indica en el manual de seguridad (Anexo 1)
2. Se deben pesar los materiales y agrupar en fuentes. La cantidad de agua será tal, que permita obtener el asentamiento del cono de Abrams especificado (un valor de 6 cm podría usarse como referencia).
3. Mover los materiales y los moldes desde la sala de acopio al laboratorio de hormigón utilizando un carro transportador.



(\*) Para detalles de preparación de mezclas para ensayos de laboratorio puede consultar la NCh 1018:2009.

#### Fase 2: Confección del hormigón (NCh 1017:2009 y NCh 1018:2009)



Figura 1 Mezcla de arena más cemento en betonera

1. Antes de iniciar con el mezclado se debe vaciar el árido grueso y una parte del agua en la betonera, luego iniciar el proceso mezclando entre 1 y 2 minutos. Cuidar de no dejar nada al alcance de la betonera, tal como cabello o cordones de polerones. (Figura 1)
2. Una vez iniciado el mezclado, agregar el árido fino, el cemento y el resto del agua para seguir mezclando por 3 minutos, luego dejar reposar por 3 minutos y mezclar finalmente por 2 minutos.

Nota: Se puede agregar el agua de forma gradual durante el mezclado para ajustar el asentamiento del cono.

Recomendación: Al momento del agregar el agua tener cuidado en la distribución homogénea de esta, evitando las concentraciones en una sola zona. (Figura 2)

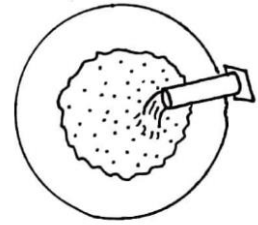


Figura 2 Vista en planta de betonera con mezcla más agua

3. Completado el tiempo de revoltura remezclar el hormigón a pala y/o espátula (según cantidad de mezcla y el mezclador utilizado) dentro del tambor, cuidando que no quede pasta adherida en el fondo ni en las paredes de esta.(Figura 3)

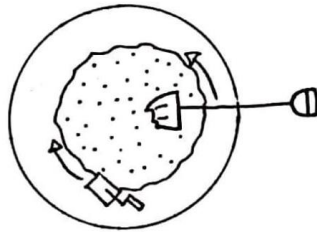


Figura 3 Vista en planta de betonera. Revoltura de mezcla con pala y espátula.

4. Realizando una inspección visual de la mezcla, decidir si es conveniente determinar inmediatamente la docilidad con el asentamiento del cono de Abrams (Figura 4), o es necesario agregar el 20 % restante de agua (o un porcentaje menor al 20% de agua).



Figura 4 Cono de Abrams

5. Para determinar el asentamiento del cono de Abrams (NCh 1019:2009), en primera instancia se debe humedecer el cono y la poruña que se utilizará para ir agregando la mezcla de hormigón. Luego se comienza a añadir la mezcla en el cono evitando golpes de poruña en él, procurando sujetar firmemente las asas inferiores con los pies. El llenado se hace en tres capas de igual volumen\*, apisonando cada capa con 25 golpes de varilla pisón uniformemente repartidos. Para la última capa procurar agregar un poco más de la mezcla (de lo que se cree necesario para completar el volumen) de tal forma que, al realizar los golpes, no falte material.

(\*) La 1° capa será de aproximadamente 7 cm de altura, y la 2° de aproximadamente 16 cm.

6. Enrasar la superficie con la varilla pisón. Sujetar por las asas superiores, retirando los pies de las pisaderas, levantando lentamente el cono en un periodo de 5 a 10 segundos. Una vez retirado, ubicar el cono metálico volteado al lado del cono formado con la mezcla. Luego posicionar la varilla pisón sobre el cono metálico invertido de tal manera que se pueda registrar la diferencia de altura con una huincha o regla, entre este nivel y la parte superior del cono formado por la mezcla, tal como como se muestra en la Figura 5. Registrar el valor obtenido. El asentamiento del cono se debe expresar en centímetros (cm), con aproximación de 0.5 cm.

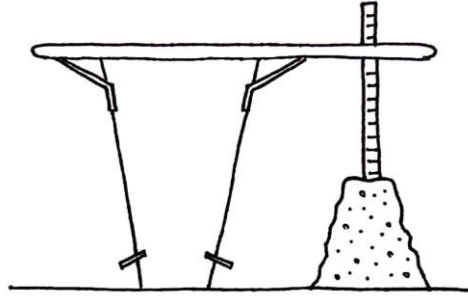


Figura 5 Medición del cono de Abrams

**Fase 3: Llenado y compactación de probetas (NCh 1017:2009)**

1. La compactación de probetas se realizará con dos métodos, vibrado por inmersión y apisonado.
  - a. Para el **vibrado por inmersión**, si fuera necesario, se remezclará el hormigón en la betonera. Posteriormente se procederá a llenar los moldes utilizando poruñas y palas según tipo de molde. El número de capas, según tipo de molde, se muestra en la Tabla 1 columna 3.
  - b. La Tabla 1 también muestra el número de inserciones del vibrador que se requiere según el tipo de probeta.

Tabla 1. Número de capas e inserciones según tipo de probeta (compactación tipo vibrado por inmersión).

Moldes	Dimensión nominal (cm)	Capas	Nº de inserciones
Cilíndricos	d= 15 H=30	2	1 por capa
Cúbicos	a=15 o a=20	1	1
Prismático	15x15x56	1	3 (2 en cada costado y 1 al centro)

- c. Una vez vaciada la mezcla en el molde introducir el vibrador rápidamente y sacar de forma lenta hasta que comience a aparecer la lechada de cemento. El vibrador no debe tocar las paredes ni el fondo de los moldes. La compactación de las probetas se puede observar de forma gráfica en la Figura 6

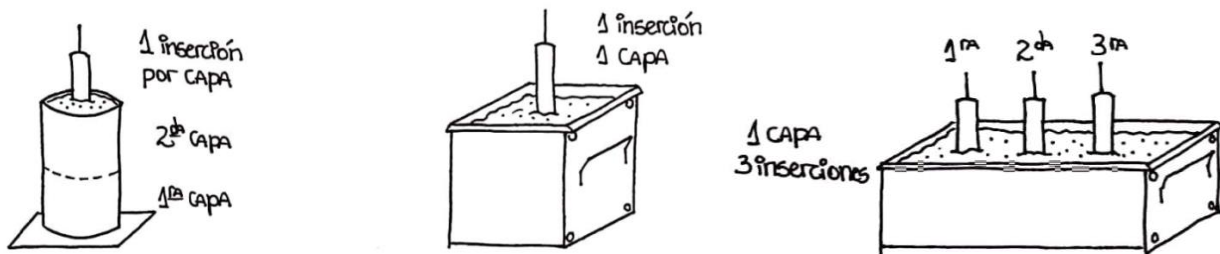


Figura 6 Método de compactación de probetas cilíndricas, cúbicas y prismáticas

- d. Para el **apisonado** también se deberá remezclar el hormigón en la betonera (si se considera necesario) para luego proceder al llenado de moldes según se indica en la tabla 2, columna 3. Para este paso utilizar poruñas y palas según tipo de molde.

Tabla 2. Número de capas según tipo de probetas (compactación con varilla pisón).

Moldes	Dimensión nominal (cm)	Capas
Cilíndricos	d= 15 H=30	3
Cúbicos	a=15 o a=20	2
Prismático	15x15x56	2

Se debe apisonar con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección del molde, a razón de ocho golpes por cada 100 cm<sup>2</sup> de superficie. Para la capa superior procurar agregar un poco más de la mezcla (de lo que se cree necesario según volumen) de tal forma que, al realizar los golpes, no falte material.

- Finalizada esta operación y con los moldes llenos, enrasar y alisar prolijamente utilizando el platocho y la llana metálica respectivamente (Figura 7). Rotular todas las probetas tal cual se señala en la figura 8.

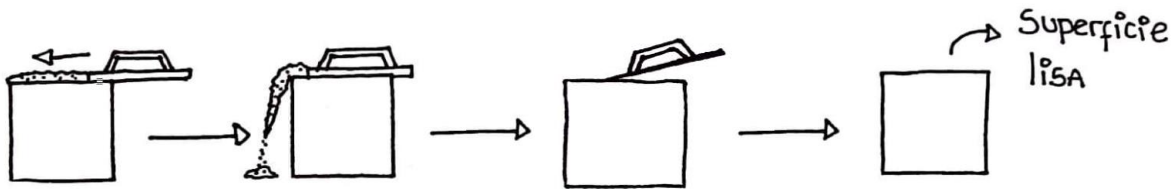


Figura 7 Enrasado y alisado de probetas

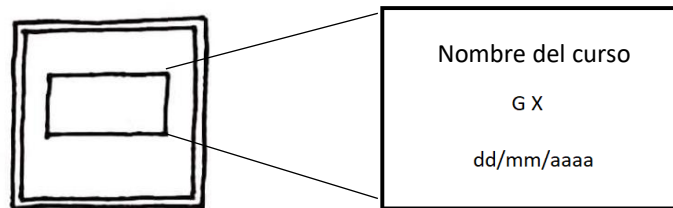


Figura 8 Vista en planta de rótulo

#### **Fase 4: Limpieza de espacios**

- Dos estudiantes de cada grupo deberán de trasladar los moldes con mezcla fresca al lugar establecido para el curado inicial. Allí deberán cubrir las probetas con una lámina de polietileno (Figura 9)

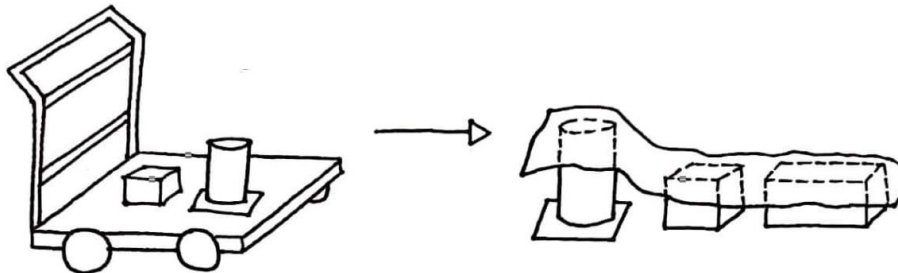


Figura 9 Transporte de moldes con mezcla fresca y cobertura con lámina de polietileno.



2. Los otros miembros del equipo de trabajo deberán, paralelamente, limpiar la betonera sacando el excedente de hormigón que pudo quedar en ella, y lavar los implementos utilizados tales como el cono de Abrams, llana, platacho, poruñas y palas (Figura 10)



Figura 10 Limpieza de implementos

#### **Fase 5: Desmolde y curado de probetas desmoldadas (NCh 1017:2009)**

Una vez que han pasado las 20 horas desde la confección de probetas cúbicas y cilíndricas y 44 horas de las probetas prismáticas, estas deben ser desmoldadas, siempre que las condiciones de endurecimiento permitan realizar el procedimiento sin dañar las probetas.

Las probetas desmoldadas deberán trasladarse a su lugar de curado final. Este puede ser una piscina de curado o una cámara húmeda con condiciones controladas de humedad relativa y temperatura (NCh 1070: 2009)

#### **4.2.2. Experiencias de laboratorio propuestas**

La guía de laboratorio ha sido desarrollada conforme a la normativa vigente. Ahora, se proponen distintas experiencias de laboratorio para contribuir al dominio competente del hormigón a temprana edad.

##### **4.2.2.1.- Métodos de compactación**

- Compacte la mezcla en un cubo de 20 cm de arista utilizando el vibrador de inmersión y siguiendo las instrucciones de la guía de laboratorio
- Compacte la mezcla en un cubo de 20 cm de arista utilizando un pisón y aplicando un número deficiente de compactaciones.

Cada equipo de trabajo comparará los efectos de ambos métodos de compactación. La comparación puede incluir el comportamiento de hormigón a temprana edad (segregación, nidos de piedra, exudación, u otro) y/o los efectos en el hormigón endurecido.

Las mezclas de los equipos de trabajo irán desde consistencias secas hasta blandas. Además, en algunos casos, se puede considerar el uso de aditivos plastificantes.

#### 4.2.2.2.- Métodos de curado

- Aplique métodos de curado alternativos a distintas probetas. Dentro de los posibles métodos se encuentran el riego discontinuo, arpillera húmeda, inmersión en agua, cobertura con polietileno y compuestos de curado. Además, al menos una de las probetas no debería curarse.

Use probetas cúbicas y/o cilíndricas para evaluar los efectos de distintos curados en la resistencia a la compresión de los hormigones.

Puede además utilizar losetas para evaluar el agrietamiento en hormigones o morteros (número, ancho de grietas, distribución) producido por retracción.

### 4.3. PREGUNTAS PROPUESTAS

Tal como se ha indicado en el segundo capítulo, el desarrollo competente basado en metodologías activo-participativas requiere no solo de la **exposición** del estudiante a situaciones desafiantes, sino que además esta experiencia debe ser acompañada de un **proceso reflexivo y analítico** que permita **vincular los saberes teóricos y técnicos con lo experiencial**. Esto permitirá desarrollar en el estudiante un “ojo clínico” frente a las situaciones que enfrenta y la capacidad discrecional suficiente para tomar decisiones precisas y pertinentes a cada caso.

El rol del docente será crucial tanto en el diseño de las actividades que permitan desarrollar intencionadamente estos aprendizajes como en la orientación, guía, crítica e incentivo a la reflexión de sus estudiantes.

A continuación, se sugieren preguntas que podrían ser útiles para estimular un análisis orientado a consolidar estos vínculos entre teoría y práctica, además de favorecer el uso de habilidades de pensamiento superior como son la reflexión crítica, la toma de decisiones, la capacidad para explorar, describir, explicar y predecir los fenómenos vinculados al hormigón.

Las preguntas propuestas han sido organizadas pensando en las habilidades y destrezas que estas permiten estimular.

**4.3.1. Análisis y reflexión sobre experiencias con hormigón.** Las siguientes preguntas ayudarán a estimular el vínculo entre los conocimientos teóricos y técnicos con la experiencia de trabajo realizada con hormigón. Además, permitirán que los estudiantes analicen, comenten, reflexionen en torno a los resultados y tomen decisiones en su elaboración.

En la preparación para el trabajo:

- ¿Qué considera necesario tener presente antes de realizar una inspección visual de la mezcla en estado fresco?
- ¿Qué aspectos teóricos-técnicos serían útiles para tener una aproximación intencionada a la realización de una adecuada mezcla?
- Basado en lo anterior, ¿Qué indicios de la mezcla observaría para decidir (preliminarmente) si ésta es o no apropiada?

Luego de vivir la experiencia en laboratorio:

- Analice las relaciones entre el concepto de trabajabilidad del hormigón con otras propiedades de éste.
- Considere las distintas experiencias que vivió en el laboratorio, e infiera como estas influirán en el hormigón endurecido. Justifique sus inferencias.
- En el caso de que haya incorporado mas agua de la indicada en el punto 2 de la fase 2, compare las inferencias sobre el hormigón endurecido que obtendría con ambos contenidos de agua.
- ¿Por qué en algunos casos experimentados en laboratorio la mezcla sufre segregación?
- Si se produjo una diferencia en la cantidad de agua finalmente utilizada en la mezcla de laboratorio respecto a la teórica proveniente del diseño de mezcla, explique: a) Los factores que pueden influir en esa diferencia, b) Sus conclusiones respecto al diseño de mezclas.
- Si utilizó árido grueso chancado en la confección de hormigones. ¿Qué diferencias cree que se hubiesen generado al utilizar árido rodado?
- Por el contrario, si utilizó árido grueso rodado. ¿Qué diferencias cree que se hubiesen generado al utilizar árido chancado?
- Respecto a las resistencias obtenidas en probetas con distintos métodos de curado (o sin curar) y/o al agrietamiento producido por las contracciones que sufre el hormigón desde temprana edad, realice un análisis de la efectividad de distintos métodos de curado. Considere en su análisis distintas aplicaciones de los hormigones en obras de ingeniería y la factibilidad práctica de utilizar los métodos en las obras.
- Considere la importancia del hormigón en las obras de Ingeniería Civil y suponga que se desempeñará en el futuro en una Oficina Técnica, o será Ingeniero Residente, Inspector de Obra, Ingeniero Estructural u otro cargo de responsabilidad profesional en que necesite comprender muy bien los procedimientos de fabricación y colocación del hormigón, las propiedades del hormigón fresco (y su relación con el desempeño de la estructura) o los posibles defectos constructivos relacionados con el hormigón a temprana edad. En ese contexto, realice un análisis comparativo entre la reciente experiencia vivida en el laboratorio y un laboratorio tradicional descriptivo (donde usted observa al laboratorista realizar todo). Para su análisis considere particularmente los siguientes aspectos explicando como la experiencia recientemente vivida en el laboratorio contribuye a cada uno de ellos:

Importancia de la Trabajabilidad  
Fabricación del Hormigón  
Inspección visual de la mezcla  
Colocación del hormigón (incluye vibrado)  
Prevención de defectos constructivos  
Otro factor de importancia para el equipo de trabajo

**4.3.2. Aspectos actitudinales y éticos.** Estas preguntas serán útiles para ayudar a que los estudiantes vinculen los conocimientos teóricos y técnicos puestos en ejecución en la experiencia con los aspectos éticos que están en juego en el ejercicio profesional.

- Considerando el comportamiento a temprana edad del hormigón, ¿Qué aspectos sería importante cuidar en el diseño de mezclas, fabricación, colocación, compactación y curado para hacer un uso orientado del material e impactar de manera positiva en la sociedad y/o el ambiente?

- ¿En qué casos (ejemplos) el proceso de diseño de mezclas, fabricación, colocación, compactación y curado podría conllevar impactos negativos para la sociedad y/o el ambiente? ¿Qué podría hacer Ud. en estas situaciones para reducir o eliminar estos efectos?
- ¿Por qué razones concretas un profesional de la ingeniería civil o construcción debe tener un dominio relevante del comportamiento del hormigón a temprana edad y poner en marcha su uso criterioso de acuerdo con las diferentes situaciones que puedan darse en terreno?. Ejemplifique.
- ¿De qué forma deberíamos resguardar nuestra propia integridad al trabajar con el hormigón a temprana edad?
- ¿Qué rol juega un profesional de la ingeniería civil o construcción en el contexto laboral en que se desempeña respecto del resguardo de la integridad de sus colegas y subordinados cuando se trabaja con hormigón a temprana edad?

## Referencias

Glanville, W., Collins, A. y Matthews, D. (1947). *The Grading of Aggregates and Workability of Concrete* (2nd edition). Pl. 23. London.

INN (2009). NCh 1017:2009. Hormigón - Confección en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y por hendimiento. Instituto Nacional de Normalización, Chile

INN (2009). NCh 1018:2009. Hormigón - Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio. Instituto Nacional de Normalización, Chile

INN (2009). NCh 1019:2009. Hormigón - Determinación de la docilidad - Método de asentamiento del cono de Abrams. Instituto Nacional de Normalización, Chile

Okamoto, P., Nussbaum, P., Smith, K., Darter, M., Wilson, T., Wu, C. y Tayabji, S. (1994). *Guidelines for Timing Contraction Joint Sawing and Earliest Loading for Concrete Pavements, Volume I* (Final Report FHWA-RD-91-079). Federal Highway Administration.

## CAPITULO 5 HORMIGÓN ENDURECIDO

### 5.1. INTRODUCCIÓN

El hormigón endurecido representa el producto terminado, asociado al propósito final del material. Para la evaluación de la calidad de este producto, generalmente lo que se evalúa es su resistencia, la mayoría de los casos, a la compresión. Este control de calidad se realiza una vez que el hormigón a alcanzado cierta edad que se considera representativa de su comportamiento en servicio. Para el caso de la resistencia a la compresión, la NCh 170:2016 establece que el control de calidad debería realizarse a los 28 días (INN, 2016). Es claro entonces que cuando se realiza el control de calidad es muy tarde para correcciones. Además, si estas son requeridas en el estado endurecido generalmente resultan costosas. De esta manera, se debe poner especial atención en el hormigón a temprana edad, ya que buenos resultados en el producto final son consecuencia de un buen proceso de fabricación, compactación y curado. Así, el presente capítulo está muy ligado al capítulo 4, y de hecho son esas experiencias de laboratorio las cuales se pretende evaluar en este capítulo, para analizar sus consecuencias.

El desarrollo de la resistencia del hormigón en el tiempo es un factor muy importante en las obras. Está asociada, por ejemplo, a decisiones sobre tiempo de desmolde o cuando continuar hormigonando plantas superiores de un edificio. A igualdad de condiciones, actualmente se considera que uno de los factores más influyentes en la mayor o menor velocidad de desarrollo de la resistencia es la temperatura del hormigón. El método no destructivo de la madurez se basa en esta relación para estimar la resistencia y tomar decisiones en terreno. Otro factor relevante es el curado de los elementos de hormigón, ya que un adecuado proceso de curado permite el desarrollo de la microestructura del material.



Figura 5.1.- Izquierda: Evaluación con esclerómetro durante los proyectos de reparación de edificios UdeC post-terremoto 27 febrero 2010 (Foto: Archivo M. Pradena) – Derecha: Reforzamiento de columna con fibra de carbono (DuBose, 2020).

Entonces, errores en la dosificación, confección, o curado pueden influir negativamente en el estado del hormigón endurecido. Si la resistencia no cumple con las especificaciones, y entendiendo que en estado endurecido esto involucrará mayores costos, existen distintas posibilidades de acción. Se pueden realizar ensayos por métodos no destructivos (como Esclerómetro o Martillo Schmidt), extraer testigos, o tomar decisiones específicas asociadas al elemento estructural y ubicación de la zona comprometida. En este último caso, la norma NCh 1998:1989 (INN, 1989), establece la responsabilidad del ingeniero estructural en la decisión final. Entre las alternativas se encuentra el rechazo, demolición y reposición del hormigón, su aceptación sujeta a penalizaciones, o su aceptación sujeta a reparación y/o refuerzo. En este último caso, una práctica solución es el reforzamiento con fibra de carbono.

## **5.2. EXPERIENCIAS DE LABORATORIO**

### **5.2.1. Guía de Laboratorio**

#### **Introducción**

La resistencia del material hormigón es típicamente evaluada por la resistencia a la compresión. Sin embargo, existen aplicaciones donde se evalúa la resistencia a la flexotracción. Para determinar estas resistencias en laboratorio, normalmente se moldean probetas con hormigón fresco (capítulo N°4) que, una vez endurecidas, se ensayan a edades establecidas por normas o especificaciones.

Durante el curso de esta sesión se pretende que los estudiantes, se familiaricen con los ensayos más comunes que se realizan para determinar las resistencias del hormigón. Para esto, en la experiencia anterior, se han confeccionado las probetas que se ensayarán en esta oportunidad.

El laboratorista será el encargado de operar la máquina de ensayo a utilizar. Los estudiantes y ayudantes colaborarán transportando las probetas y tomándoles las medidas según lo estipulado en la presente guía.

Finalmente, la guía cita cada una de las normativas utilizadas, las cuales pueden consultarse por los estudiantes.

#### **Actividades previas a los ensayos a realizar**

Al iniciarse la sesión de laboratorio, los estudiantes deberán identificar las probetas que fueron fabricadas anteriormente (capítulo N°4) para luego retirarlas del proceso de curado ubicándolas en una zona segura del laboratorio.

Antes de realizar los ensayos, se deberán pesar y medir todas las probetas, además de observar y registrar el estado en que serán ensayadas: humedad, acabado superficial, porosidad, superficie de llenado, paralelismo entre caras, planeidad y aspecto general de superficie.

En el caso de ser requerido, las probetas cilíndricas se deben refrentar o rectificar según la NCh 1172:2010 (INN, 2010). El termino refrentar se refiere a la aplicación de una capa de material

resistente sobre las superficies de carga de una probeta de hormigón, con el objeto de corregir los defectos de planeidad y perpendicularidad entre caras (para lograr una distribución de cargas uniformes). Mientras que el termino rectificar es referido al procedimiento mecánico en el cual se pulen las superficies de hormigón para corregir los defectos de planeidad y/o perpendicularidad entre caras de una probeta.

### Ensayos de resistencias

#### **a) Resistencia a compresión (NCh 1037:2009)**

Se debe iniciar midiendo las probetas a ensayar tal como se señala a continuación:

1. Para probetas cúbicas, se debe ubicar la probeta con la cara de llenado frente al operador para luego medir los anchos de las cuatro caras laterales de la probeta en el eje horizontal, tal como se muestra en la Figura 1.a. Medir las alturas de las cuatro caras laterales de la probeta en el eje vertical (Figura 1.b). Estos datos deben quedar expresados en mm. Se debe registrar también la masa de la probeta (en kg).

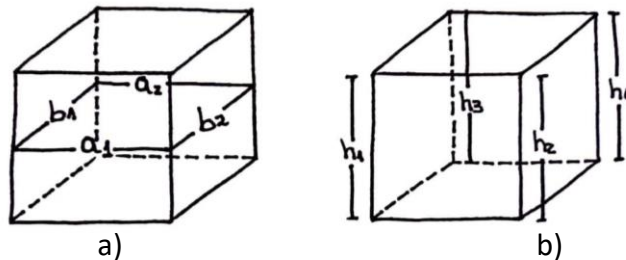


Figura 1 Probeta cúbica a) Sección ancho ( $a_1$  y  $a_2$ ) y largo ( $b_1$  y  $b_2$ ) b) Altura ( $h_1$  y  $h_2$ )

2. Para cilindros, antes de refrentar, se debe medir dos diámetros perpendiculares entre sí (Figura 2.a). Medir las alturas generatrices opuestas (Figura 2.b). Los datos de diámetro y altura deben quedar expresados en mm, mientras que el dato de masa a determinar en kg.

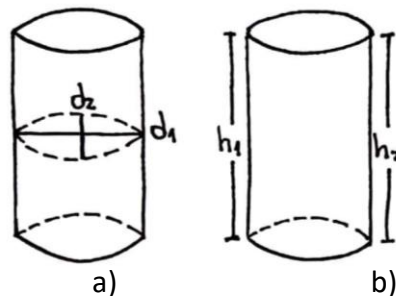


Figura 2 Probeta cilíndrica a) Diámetros perpendiculares ( $d_1$  y  $d_2$ ) b) Altura ( $h_1$  y  $h_2$ )



## Ensayo

Se debe iniciar limpiando la superficie de las placas y de las caras de ensayo de la probeta para luego colocar la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de la placa.

Para el caso de las probetas cilíndricas se debe de realizar el refrentado según lo dispuesto en la NCh 1172:2010 (INN, 2010).

Las probetas cúbicas deben ubicarse con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior a la prensa (mirando al operador) (Figura 3.a). Mientras que las probetas cilíndricas deben colocarse con una de sus caras, refrentadas o rectificadas, en contacto con la placa de carga inferior (Figura 3.b).

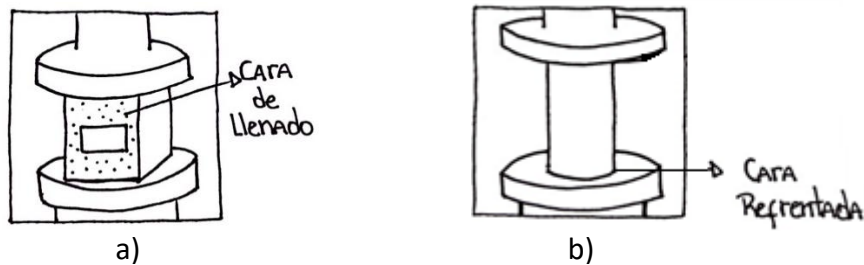


Figura 3 Ubicación en la prensa de ensayo de probeta a) Cúbica y b) Cilíndrica

Aplicar la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad de  $0.25 \text{ MPa/s} \pm 0.05 \text{ MPa/s}$  hasta alcanzar la rotura de la probeta.

La resistencia a compresión como la tensión de rotura se determina según la ecuación 1

$$R = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Donde:

R= Tensión de rotura (Mpa)

P= Carga máxima aplicada (N)

S= Sección de ensayo ( $\text{mm}^2$ )

Donde S se determina mediante las expresiones señaladas en la ecuación 2 y 3 dependiendo si se trata de probetas cúbicas o cilíndricas.

- *Sección de ensayo para probetas cúbicas:*

$$S = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \times \frac{(b_1 + b_2)}{2} \quad (2)$$

- *Sección de ensayo para probetas cilíndricas:*

$$S=0.196(d_1 + d_2)^2 \quad (3)$$

**b) Resistencia a flexotracción (NCh 1038:2009)**

Trazar rectas finas sobre las caras mayores de tal forma que se marquen las secciones de apoyo y de carga (Figura 4) cuidando de no alterar tamaño, forma o características de las probetas.

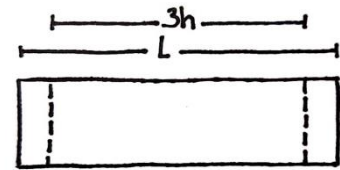


Figura 4 Rectas trazadas que marcan las secciones de apoyo y carga

Antes del ensayo se debe determinar la masa (en Kg) y el largo en el eje horizontal (en mm) de la probeta tal como se muestra en la Figura 5.



Figura 5 Largo horizontal de la probeta

Verificar luz de ensayo medida en la cara de la probeta que se encuentra en contacto con los rodillos inferiores en la posición de ensayo. Limpiar la superficie de los elementos de apoyo y carga y las zonas de contacto de la probeta.

Colocar la probeta en la prensa de ensayo dejando la cara de llenado en un plano vertical, haciendo coincidir las líneas trazadas con los elementos de apoyo y de carga según corresponda (Figura 6)

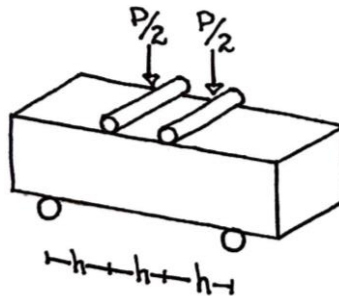


Figura 6 Posición en prensa de ensayo de la probeta prismática

Aplicar entre un 3 % y un 6 % de la carga de rotura estimada para la edad diseñada. Se debe proseguir la aplicación de la carga en forma continua a razón uniforme entre los 0.86 MPa/min y 1.21 Mpa/min.

Luego de registrar la carga máxima se debe determinar el ancho y la altura promedio de los trozos de la probeta ensayadas a flexión (en mm) tal como se muestra en la Figura 7.

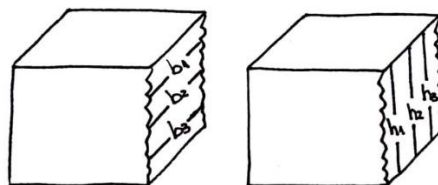


Figura 7 Ancho (b1, b2 y b3) y altura (h1, h2 y h3) de los trozos de la probeta ensayada.

### Para el ensayo con cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz de ensayo

- Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo la resistencia a la tracción por flexión se determinará según la Ecuación 4

$$R = \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (4)$$

Donde:

R= Tensión de rotura (Mpa)

P= Carga máxima aplicada (N)

L= Luz de ensayo de la probeta (mm)

b= Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (mm)

h= Altura promedio de la probeta en sección de rotura (mm)

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de la probeta, entre la línea de la aplicación de carga y una distancia 0.05 L de esa línea, calcular la resistencia a la tracción por flexión según la ecuación 5.

$$R = \frac{3 P \times a}{b \times h^2} \quad (5)$$

Donde:

a= Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie interior de la probeta (mm)

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de apoyo, y más allá de la zona indicada en el punto anterior, desechar los resultados del ensayo.

\*En el caso de realizar el ensayo con cargas P en el punto medio de la luz de ensayo revisar la norma NCh 1038:2009 ya que las fórmulas para determinar la resistencia a la tracción por flexión cambian.

### c) Resistencia tracción hendimiento (NCh 1170:2012) – Ensayo adicional

Para el ensayo se contará con una probeta cilíndrica de esbeltez entre 1,0 y 2,0, siendo preferida esta última. Se debe de trazar una línea diametral en cada extremo de la probeta usando un dispositivo capaz de asegurar que ambas líneas están en el mismo plano axial (Figura 8).

La probeta, en la línea de contacto con la placa de carga, no debe tener alturas ni depresiones mayores o iguales que 0,25 mm. Cuando la línea de contacto presenta resaltos o depresiones entre 0,25 mm y 2,5 mm se debe rectificar o refrentar de acuerdo con lo establecido en NCh 1172:2010.

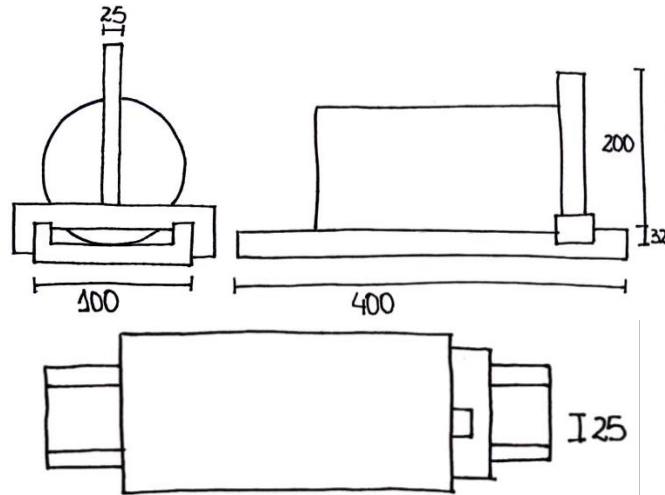


Figura 8 Dispositivo trazador

El diámetro de la probeta se debe de determinar como el promedio aritmético de tres diámetros, en el centro y cerca de los extremos de la probeta (en mm) (Figura 9.a). Para determinar la altura se debe calcular el promedio aritmético de las longitudes medias sobre las dos líneas de contacto (en mm) (Figura 9.b). Registrar la masa de la probeta en Kg.

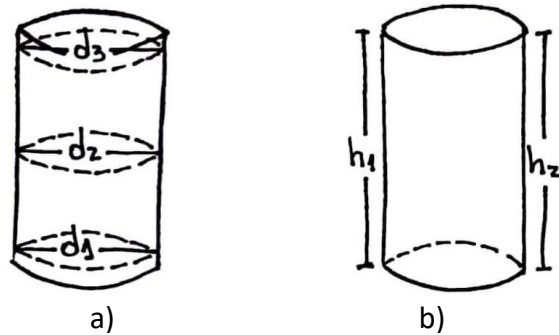


Figura 9 Probeta cilíndrica a) Diámetros ( $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$ ) b) Altura ( $h_1$  y  $h_2$ )

### Ensayo

Se puede emplear un aparato de alineación y aplicación de carga, si no se cuenta con este se debe emplear el siguiente procedimiento:

1. Limpiar las superficies de las placas y de las líneas de contacto de la probeta.
2. Colocar tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la prensa.
3. Colocar la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinear de modo que las líneas de trazado diametrales queden verticales y centradas sobre la tablilla.

4. Colocar la segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta.
5. Aplicar un 5 % de la carga de rotura estimada para la edad de ensayo y verificar que las líneas de trazado diametrales se mantienen verticales y las tablillas, piezas de apoyo y carga se mantienen centradas respecto del eje de carga.
6. Si no se cumple los requisitos mencionados en el punto 5, procedes la descarga de la probeta y reiniciar ensayo.
7. Una vez realizada la verificación seguir aplicando la carga en forma continua a una velocidad uniforme entre 0,7 Mpa/min y 1,4 MPa/min.
8. Las tablillas de apoyo se desechan luego de un uso.
9. Registrar carga máxima P.

La resistencia a la tracción por hendimiento como la tensión de rotura se calcula según la ecuación 6

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \quad (6)$$

Donde:

T= Resistencia a tracción por hendimiento (Mpa)

P= Carga máxima aplicada (N)

l= Longitud de la probeta (mm)

d= Diámetro de la probeta (mm)

### **Observaciones**

Durante los ensayos debe observarse la velocidad de aplicación de la carga, características de los elementos de aplicación de carga, luz de ensayo cuando corresponde, plano y forma de rotura, textura resultante, etc.

Los datos anteriores y las cargas de rotura de las distintas probetas deben ser registradas.

### **5.2.2. Experiencias propuestas**

La guía de laboratorio ha sido desarrollada conforme a la normativa vigente. En esta sección se proponen distintas experiencias de laboratorio para evaluar la resistencia del hormigón endurecido ante distintos casos.

#### **5.2.2.1 Curva de desarrollo de resistencia a la compresión**

- Asegúrese de fabricar suficiente hormigón para 2 probetas extras. Estas probetas pueden ser cilíndricas o cúbicas, lo importante es que el total de 3 probetas sean de un solo tipo.
- Ensaye a la compresión las 3 probetas a 7, 14 y 28 días respectivamente.

- Determine los porcentajes de resistencia a la compresión alcanzados a los 7 y 14 días, respecto a la probeta de los 28 días.

#### 5.2.2.2 Efecto del tipo de cemento en el desarrollo de la resistencia a la compresión

Realice la experiencia descrita en 2.2.1 pero utilizando otro tipo de cemento comercial accesible en el mercado local.

#### 5.2.2.3. Evaluación de resistencia a la compresión por método no destructivo

Realice un ensayo no destructivo de resistencia utilizando el Martillo Schmidt (\*) sobre las probetas que luego ensayará a la compresión en la máquina universal.

(\*) El Anexo 2 incluye una guía detallada para la utilización del esclerómetro.

#### 5.2.2.4 Refuerzo con fibra de carbono (compresión)

Cada equipo de trabajo debería fabricar al menos una probeta cilíndrica extra por colada en la cual pueda aplicar un esquema de refuerzo externo utilizando fibra de carbono.

Se espera que distintos equipos de trabajo apliquen esquemas de refuerzo diferentes.

#### 5.2.2.5.- Refuerzo con fibra de carbono (flexotracción)

Cada equipo de trabajo debería fabricar una vigueta extra por colada en la cual pueda aplicar un esquema de refuerzo externo utilizando fibra de carbono.

Se espera que distintos equipos de trabajo apliquen esquemas de refuerzo diferentes.

### 5.3. PREGUNTAS PROPUESTAS

En este capítulo, de forma similar al anterior, proponemos algunas preguntas que permitan **vincular** los aprendizajes teórico-conceptuales con las experiencias prácticas realizadas en el laboratorio de modo que, **se afiance su capacidad de analizar y actuar en las situaciones** de forma pertinente a cada caso.

Es importante recordar que el rol del docente es fundamental para que tanto la experiencia de laboratorio como las preguntas propuestas sean de provecho. El estímulo de la **comparación** entre los resultados de los estudiantes y su **contraste** con lo teórico-conceptual, la consideración de las normativas vigentes, la **reflexión** y **análisis** tanto individual como colectivo son los que hacen a una situación, pregunta o ejercicio productivo.

Al igual que en el capítulo anterior, las preguntas propuestas pueden ser utilizadas para la evaluación formativa o sumativa, el estímulo de la reflexión y el empuje de nuevos niveles de aprendizaje.

Las preguntas propuestas han sido organizadas pensando en las habilidades y destrezas que estas preguntas permiten estimular.

**5.3.1. Análisis y reflexión sobre experiencias con hormigón.** Las siguientes preguntas ayudarán a estimular el vínculo entre los conocimientos teóricos y técnicos con la experiencia de trabajo realizada con hormigón. Además, permitirán que los estudiantes analicen, comenten, reflexionen en torno a sus resultados y tomen decisiones.

- Analice el efecto del proceso de fabricación (proporciones, mezclado, trabajabilidad, docilidad, colocación, vibrado u otro) y curado sobre las resistencias mecánicas obtenidas. En su análisis incluya su propia experiencia (y resultados) y una comparación con un equipo de trabajo que obtuvo resultados distintos a los suyos. Extrapole su análisis a obras y estructuras de hormigón.
- Compare los resultados entregados por el Martillo Schmidt y la prensa de hormigones. En base a esos resultados proponga casos en los que, en terreno, el esclerómetro pudiera ser útil.
- Compare los resultados de resistencia con y sin el esquema de refuerzo con fibra de carbono. Considere además los resultados de un equipo de trabajo que haya utilizado un esquema de refuerzo distinto al suyo. Considerando todo lo anterior, ¿En qué casos reales el refuerzo con fibra de carbono podría ser útil? Fundamente su respuesta.
- Extrapole los resultados de laboratorio obtenidos con distintos cementos a estructuras de hormigón. Identifique tipos de obras y que cemento utilizaría para ellas. En su respuesta puede considerar, por ejemplo, los requerimientos de resistencia de diseño de la estructura y/o el desarrollo de la resistencia en el tiempo.
- ¿En qué situaciones de terreno el conocimiento del desarrollo de la resistencia en el tiempo le sería de utilidad\*?. Fundamente.

(\*) Sugerencia: si quiere profundizar en esta temática, puede consultar el método de la madurez.

**5.3.2. Aspectos actitudinales y éticos.** Estas preguntas serán útiles para vincular los conocimientos teóricos y técnicos puestos en ejecución en la experiencia con los aspectos éticos que están en juego en el ejercicio profesional.

- Considerando que la resistencia a la compresión es una propiedad importantísima de un hormigón de calidad. De lo observado en el laboratorio ¿Qué condiciones son importantes de cautelar/cuidar para que el desarrollo del hormigón final tenga un impacto positivo en la sociedad? Fundamente.
- ¿Qué consecuencias sociales y ambientales podría generar un hormigón de mala calidad?
- ¿Cómo cree usted que debe operar un profesional de la ingeniería civil o construcción para hacer uso racional de los refuerzos del hormigón endurecido? ¿Qué consecuencias puede tener su uso inapropiado para la sociedad?

- ¿Qué diferencia cree usted que produce un dominio sólido del conocimiento relacionado con la resistencia del hormigón endurecido en el ejercicio profesional?. Indique ejemplos concretos de cómo ser competente en esta materia podría incidir en los *stakeholders* y el ambiente.
- ¿De qué forma deberíamos resguardar nuestra propia integridad cuando se extraen testigos o se refuerza una estructura de hormigón armado?
- ¿Qué rol juega un profesional de la ingeniería civil o construcción en el contexto laboral en que se desempeña respecto del resguardo de la integridad de sus colegas y subordinados cuando se extraen testigos o se refuerza una estructura de hormigón armado?

#### 5.4. CASO DE ESTUDIO

Usted se desempeña en la construcción de un muelle portuario ubicado en Lebu (ciudad del viento). El proyecto tiene importancia estratégica para el desarrollo de la ciudad por lo que aspectos como la resistencia y durabilidad de la estructura de hormigón armado son fundamentales. Debido a su importancia estratégica ha sido una obra muy anhelada por la comunidad y su construcción fue el resultado de muchos años de gestiones ante distintos gobiernos.

La constructora en la que usted trabaja ha solicitado una mezcla de hormigón a una empresa que se encuentra a 50 km del lugar de construcción. La construcción del muelle se realiza en verano.

Debido a los resultados de las probetas se decidió realizar inspecciones visuales y evaluaciones in situ, primeramente, con el martillo Schmidt y finalmente se decidió extraer testigos. Los resultados de resistencia a la compresión de los testigos confirman que en algunos sectores no se cumple la resistencia especificada.

A partir de esta información concluya respecto de los siguientes aspectos:

1. ¿Qué factores técnicos podrían haber influido en el incumplimiento de la resistencia especificada?
2. ¿Cuáles podrían ser los efectos en la estructura en los sectores comprometidos?. ¿Se podría mitigar o incluso eliminar esos efectos?
3. La inspección visual permitió identificar además distintos sectores con microgrietas. ¿Cuáles podrían ser las causas de este fenómeno?
4. ¿Cuáles podrían ser los efectos en la estructura de los sectores descritos en 3? ¿Se podría mitigar o incluso eliminar esos efectos?
5. Considere los problemas descritos anteriormente. ¿Qué potenciales impactos de esta construcción podrían originarse para la sociedad, la economía y el ambiente?



## CAPITULO 6 CONCLUSIONES

El presente libro ha sido elaborado con la intención de abordar la formación de los ingenieros e ingenieras civiles en torno al diseño, elaboración y experimentación del material hormigón en escenarios de alcance real, similares a aquellos que enfrentarán en su desempeño profesional futuro. Si bien el libro originalmente estaba orientado a la ingeniería civil, su utilidad trasciende a otras carreras.

Ha sido desarrollado apostando por una metodología de enseñanza-aprendizaje “activa” que encuentra sus bases en la teoría del aprendizaje significativo que David Ausubel propusiera ya hace casi 60 años y el aprendizaje experiencial de David Kolb de mediados de los años 80. Ambos enfoques han mostrado no solo pertinencia en el desarrollo de aprendizajes para toda la vida, sino que, además, demuestran ser piedras angulares en la formación de profesionales que sean efectivamente competentes en su desempeño profesional.

El título del libro “acortando la brecha entre teoría y práctica” ha pretendido ser una contribución para reducir la ya clásica distancia producida por la desconexión de la enseñanza teórico-conceptual desvinculada de la práctica y de los contextos de aplicación. Esto se busca a partir de la facilitación de las asociaciones entre los conceptos teóricos, los prácticos y el contexto mediante la metodología propuesta.

A continuación, sintetizamos los aspectos pedagógicos y técnicos más relevantes del libro que permiten garantizar el logro del objetivo propuesto:

### **Diseño pedagógico “activo”, útil con y sin experiencia de laboratorio.**

- El diseño pedagógico propuesto por el libro se centra en un rol activo del estudiante durante todo el proceso de aprendizaje mediante el análisis, la exploración, búsqueda e investigación, y la predicción de potenciales resultados, la reflexión y conclusión.

La estructura, secuenciación y diseño de actividades favorecen la vinculación entre aspectos teórico-conceptuales, las normas y heurísticas y las experiencias de laboratorio propiamente tal. Las preguntas propuestas están pensadas para generar las conexiones y enlaces requeridos. Además, estimulan el ejercicio de la reflexión y el autoanálisis, herramientas que son clave para el aprendizaje permanente en este tema.

- Una de las habilidades clave que se pretende estimular mediante esta forma de trabajo es el “ojo clínico” en el trabajo con hormigón. Esta habilidad se podría describir como la destreza en predecir y estimar características, efectos y propiedades del hormigón en sus distintos estados. El ojo clínico se favorece al conectar los conocimientos teórico- conceptuales de la especialidad y ajustarlos a la experiencia vicaria o más tangible de trabajo.
- Las preguntas y actividades propuestas en el libro abren la posibilidad al estudiante de profundizar y seguir aprendiendo de los temas propuestos.

### **Desarrollo de aspectos actitudinales y éticos.**

- La formulación de una secuencia de trabajo que decanta en su extrapolación a escenarios reales permite la conexión de los aprendizajes con las consecuencias y efectos sociales, económicos y ambientales que las soluciones alcanzadas y los resultados obtenidos tengan.
- Adicionalmente, el escrutinio y examen de estas dimensiones de las experiencias realizadas en clase permiten impulsar la reflexión y análisis sobre las propias perspectivas frente a las decisiones y los resultados alcanzados, poniendo en juego motivaciones, actitudes y orientaciones éticas propias en el campo profesional.

### **Hoja de ruta para el estudiante y el docente de distintos niveles y escenarios educativos.**

- El diseño del libro permite que tanto el docente como el estudiante transiten por los distintos componentes, etapas y requisitos necesarios para el desarrollo de las actividades propuestas.
- Un docente que implementa los métodos propuestos cuenta con una guía clara de ejecución que puede ajustar según las necesidades y particularidades de su asignatura, su nivel de enseñanza y los objetivos propios de ese nivel contando con herramientas para aprovechar de la mejor forma el proceso. Las actividades y preguntas propuestas le permiten asegurar que los estudiantes realicen las “conexiones” y conclusiones esperadas.
- El estudiante por su parte puede realizar o seguir la experiencia con la certeza de contar con la información necesaria y suficiente para su ejecución. Las guías visuales, los procedimientos propuestos y los datos actualizados según la normativa vigente cobran gran valor orientativo. Las actividades y preguntas permiten el asentamiento y consolidación de los aprendizajes esperados.

### **Incorporación de la seguridad como sustento relevante de las experiencias.**

- Un componente novedoso es la guía del trabajo que incluye como componente indispensable la seguridad.
- Es fundamental que los estudiantes se formen bajo una cultura preventiva que incluya la “filosofía” de la prevención, pero también conductas concretas que se deben realizar para el trabajo seguro con el material hormigón en sus distintas etapas y estados.

Un aspecto relevante del diseño de este libro es su potencial de uso en el posible escenario de no realización de las experiencias de laboratorio por las razones que fuesen. La guía pormenorizada de actividades, basada en la normativa actual, ha sido adaptada de modo que las actividades propuestas son mejor descritas y más aplicadas superando los problemas de una normativa que poder ser bastante abstracta, facilitando el trabajo autónomo del estudiante. De este modo adquieren un valor agregado las descripciones y esquematizaciones presentes que facilitan el trabajo independiente. Estas permitirían el ejercicio real pero también supuesto, animando al estudiante a elaborar hipótesis, su testeado y evaluación.

Finalmente, un valor fundamental de esta propuesta es su base en un trabajo colaborativo e interdisciplinario real que permite garantizar una adecuada conexión entre los aspectos disciplinares, pedagógicos y psicológicos involucrados en el desarrollo de competencias en los

estudiantes.

Contar con el trabajo mancomunado entre ingenieros civiles, psicólogos educacionales y expertos internacionales es una garantía de la forma integral en que se aborda la formación de los estudiantes.

La validación nacional e internacional obtenida de esta obra por parte de profesores, ingenieros civiles y de construcción chilenos, junto con profesores de ingeniería civil de la Universidad Tecnológica de Delft y la Universidad de Twente en los Países Bajos dan fe de una contribución a la formación que se espera en estas materias.

## **ANEXO 1 ASPECTOS DE SEGURIDAD**

### **I. Comentarios Previos**

Este documento presenta recomendaciones de comportamiento generales y específicas para cada equipo existente en el laboratorio de hormigones. Esto con el fin de evitar resultados erróneos en las experiencias del laboratorio y particularmente para prevenir accidentes.

Es requisito para el ingreso al laboratorio haber leído y comprendido las directrices de seguridad incluidas en este Anexo. Al inicio de las actividades de laboratorio, y como parte de una breve inducción para el trabajo seguro, el laboratorista además entregará la oportunidad para realizar consultas.

Hay dos secciones en este documento. La primera corresponde a los equipos a utilizar en la experiencia de aprendizaje activo mientras que la segunda se enfoca en los demás equipos, de manipulación directa y exclusiva del laboratorista.

### **II. Normas Generales**

- 1) Prestar atención a instrucciones del laboratorista. Es fundamental conocer el funcionamiento de las máquinas y herramientas para un trabajo exitoso y libre de accidentes.
- 2) Zapatos de seguridad deben ser usados en todo momento dentro del laboratorio.
- 3) Guantes y antiparras deben ser usados por las personas que participen directamente en el proceso de fabricación, traslado y ensayo del hormigón.
- 4) El uso de mascarillas es necesario al manipular cemento.
- 5) Prohibido comer, beber y fumar dentro del laboratorio.
- 6) Mantener siempre ordenado el espacio de trabajo y asegurarse de dejarlo limpio una vez terminada la actividad.
- 7) Prohibido correr y desarrollar actividades de riesgo.
- 8) Respetar las áreas de seguridad demarcadas en el laboratorio.
- 9) Al necesitar mover objetos pesados (sobre 25 kg), siempre pedir ayuda a otros miembros del equipo de trabajo.
- 10) Para personas con cabello largo se recomienda tenerlo amarrado. Esto es un requisito de seguridad cuando se fabrique hormigón.
- 11) Usar las herramientas según su función específica.
- 12) No obstruir los accesos al laboratorio con material o herramientas.

- 13) Reportar cualquier tipo de problema al laboratorista o persona a cargo de la supervisión de la actividad de laboratorio.
- 14) El uso de celulares está permitido sólo para sacar fotografías y grabaciones autorizadas.

### III. Equipos a utilizar en laboratorio activo-participativo y sus aspectos de seguridad

#### 1. Betonera de eje vertical

Mezcladora de hormigón como la que se muestra en la figura 1, cuya capacidad máxima es de 90 litros. Durante su manipulación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

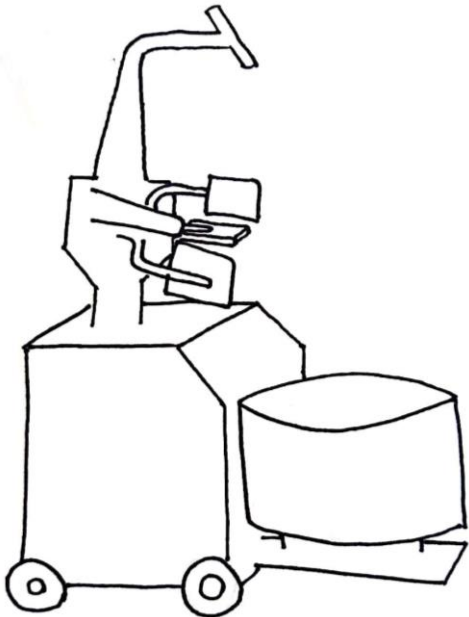


Figura 1 Betonera

- Sólo un equipo de trabajo podrá utilizarla cada vez. Los integrantes del equipo deberán limitarse a operarla dentro de la zona demarcada manteniéndola ordenada y libre de obstáculos que entorpezcan el trabajo.
- Mantener manos, cabello o cualquier otro objeto perteneciente a la vestimenta fuera del alcance de los mecanismos de la Betonera para evitar tirones o atrapamientos. Usar siempre guantes y cabello amarrado sobre la altura del hombro. Evitar prendas de ropa extremadamente holgadas o con elementos colgantes.
- Asegurar bloqueo de la posición del brazo mezclador durante el mezclado (abajo) o durante el reposo (arriba). Esto evita movimientos inesperados y bruscos del brazo.
- Al manipular agua, cuidar de no mojar el piso ni los elementos eléctricos de la Betonera.
- Siempre cortar la energía de la máquina cuando no

esté en uso.

- Luego de finalizar el trabajo, asegurarse de dejar el tambor de mezclado totalmente limpio eliminando cualquier tipo de residuo en su interior incluyendo humedad.
- No introducir dos o más palas a la vez dentro de la betonera.

#### 2. Pala

Herramienta de mano utilizada para contribuir a homogeneizar la mezcla de hormigón de ser necesario. Los aspectos de seguridad son:

- Evitar mantenerla en posición horizontal si no se está trabajando con ella. Esto previene golpear a personas u objetos cercanos.
- Al mover material, mantener siempre una postura correcta, es decir, pies separados para tener estabilidad, espalda recta y ambas manos firmes sobre la pala.



Figura 2 Pala

- No introducir dos o más palas a la vez dentro de la betonera.
- Siempre usar guantes durante su manipulación.

### 3. Balanzas

Instrumento que permite determinar la masa de diversos materiales y objetos que estén dentro del rango de capacidad de la balanza. Los aspectos de seguridad son:

- No sobrecargar las balanzas con pesos superiores a los permitidos.
- No subirse a las balanzas.
- No mojar las balanzas (digitales).

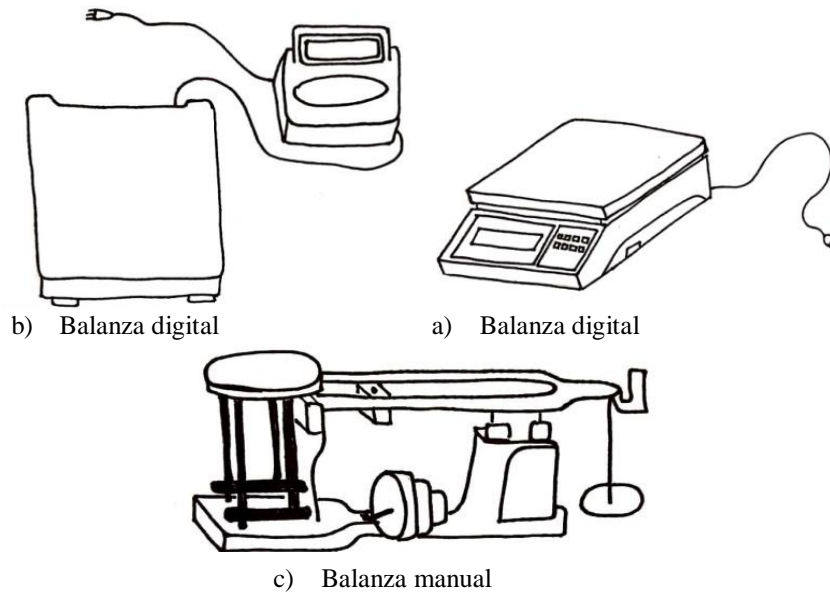
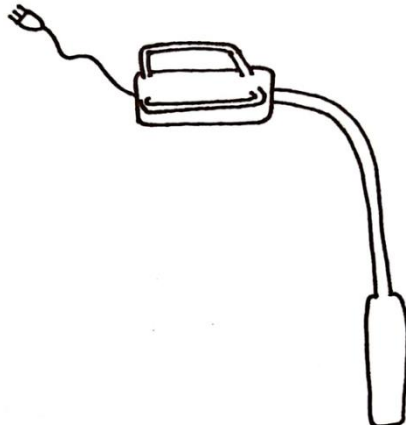


Figura 3 Balanzas

### 4. Vibrador eléctrico de inmersión

Herramienta que permite vibrar la mezcla fresca de hormigón una vez vaciada en los moldes con el fin de compactar la mezcla y eliminar las burbujas de aire internas. Genera una mezcla más densa que rellena los espacios vacíos de manera uniforme. Los aspectos de seguridad son:



- No apoyar el vibrador en el suelo mientras esté funcionando.
- Cuidar de no mojar el motor para evitar fallas eléctricas.
- Restringirse al uso de vibración de mezcla, esto es, no acercar a otros objetos mientras esté funcionando.
- Mantener el cable de conexión desenredado y fuera de las zonas de tránsito y de la betonera.
- Eliminar residuos de la mezcla de hormigón una vez terminado el proceso de vibración.
- No trabajar con el cable eléctrico tenso.

Figura 4 Vibrador eléctrico de inmersión

## 5. Vibradores de inmersión bencineros

Herramienta que permite vibrar la mezcla fresca de hormigón una vez vaciada en los moldes con el fin de compactar la mezcla y eliminar las burbujas de aire internas. Genera una mezcla más compacta que llena todos los espacios vacíos de manera uniforme. Posee mayor potencia que el vibrador eléctrico de inmersión. Los aspectos de seguridad son:

- No arrastrar el motor. Siempre levantar para su traslado. Este traslado debe realizarse por 2 personas como mínimo.
- Restringirse al uso de vibración de mezcla, esto es, no acercarse a otros objetos mientras esté funcionando.
- Al recargar combustible se debe cerciorar que el motor esté apagado. Además, tener la precaución de no derramar este fluido, utilizando un embudo de ser necesario.
- El encendido de estos equipos debe ser realizado exclusivamente por el laboratorista.

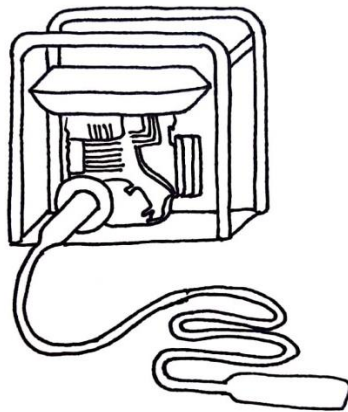


Figura 5 Vibrador de inmersión bencinero

## 6. Moldes de toma de muestras

En el laboratorio existen tres tipos de moldes con medidas estándar para la fabricación de probetas de hormigón. En la Figura 6 se aprecian a la izquierda los moldes para probetas cilíndricas de 15cm x 30 cm. En el centro están los moldes para obtener probetas cúbicas de 15 cm x 15 cm (o de 20 cm x 20 cm). Finalmente, a la derecha están los moldes para probetas prismáticas rectas de 15 cm x 15cm x 56 cm. Los aspectos de seguridad son:

- Al apilar los moldes vacíos se debe hacer en grupos que tengan una estabilidad suficiente para que estos no se derrumben. Lo recomendado es apilar en columnas de máximo 2 moldes para todos los casos.
- Cuando el molde tiene mezcla de hormigón fresca en su interior, la superficie donde permanecerá en reposo debe ser estrictamente horizontal.
- Asegurar estanqueidad. Esto es, que agua o la lechada de cemento no pueda escurrir a través de los moldes y sus uniones. Para eso el equipo de trabajo deberá chequear previamente el estado de los moldes y el afianzamiento de sus uniones.
- El equipo de trabajo deberá asegurarse que las paredes de los moldes tienen una cantidad adecuada de desmoldante. De lo contrario deberá aplicarse, siempre usando guantes para ello. Además se recomienda el uso de cotona.

- Al desmoldar, limpiar cada superficie del molde dejándolo libre de residuos de hormigón para luego de aplicar desmoldante ser almacenado donde el laboratorista indique.

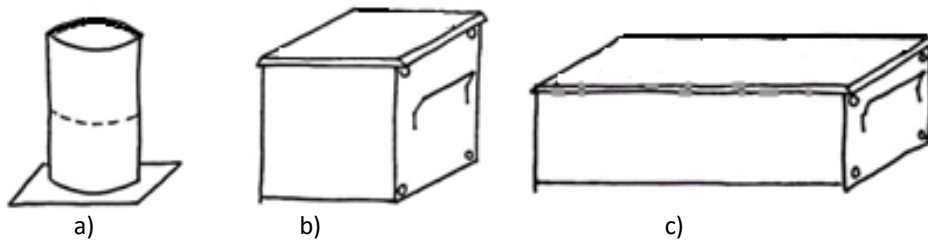


Figura 6 Moldes a) Cilíndrico, b) Cúbico y c) Prismático

## 7. Olla capping

Olla para preparación de pasta compuesta por azufre y arena fina que se usa como base en las probetas cilíndricas (refrentado de probetas) sometidas a ensayos de compresión. Funciona hasta una temperatura máxima de 130°C. Los aspectos de seguridad son:

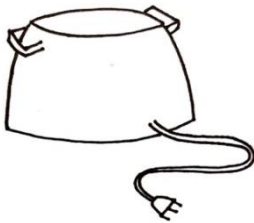


Figura 7 Olla capping

- Antes de iniciar el trabajo con la olla encender el extractor de gases.
- El cable de alimentación debe estar desconectado durante el ingreso de ingredientes.
- Tapar la olla durante el proceso de mezcla.
- Siempre prestar atención a la olla mientras funcione evitando la ebullición de la mezcla.
- Utilizar guantes para evitar quemaduras.
- Utilizar mascarilla y delantal o cotona.
- Manipular el cucharón de vaciado de tal forma de evitar derrames de mezcla.
- El cable de alimentación debe estar desconectado durante el retiro de la mezcla excedente y la limpieza de la olla.

## 8. Moldes de refrentado

Estos moldes permiten la aplicación de la mezcla de refrentado (creada en la olla capping) a las probetas cilíndricas de 15 cm y a los testigos de 10 cm. Los aspectos de seguridad son:

- Evitar posicionar el molde al borde de la mesa para evitar caídas de probetas y/o mezcla de refrentado.
- Mantener una distancia de al menos 30 cm de la campana de extracción (para evitar inhalación de gases)
- Mantener siempre limpia la superficie de refrentado para no contaminar la pasta.
- Al finalizar el trabajo, limpiar la herramienta y el sector de trabajo.



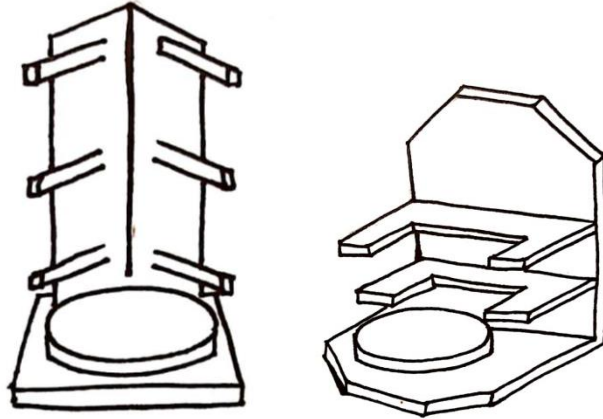


Figura 8 Molde de refrentado

### 9. Máquina de ensayo universal

Equipo compuesto por 3 secciones en donde cada una permite realizar un ensayo estructural sobre diferentes probetas normalizadas de hormigón. En la imagen 9 a la izquierda se encuentra la sección de ensayo de morteros a flexión y compresión, con una capacidad máxima de 250 Ton. En el centro está la sección que permite ensayar a compresión los testigos de hormigón, su capacidad máxima es de 300 Ton. Finalmente, a la derecha es la sección de ensayo a flexión de vigas con una capacidad máxima de 150 Ton. Las normas de seguridad asociadas son:

- Su uso está restringido al laboratorista.

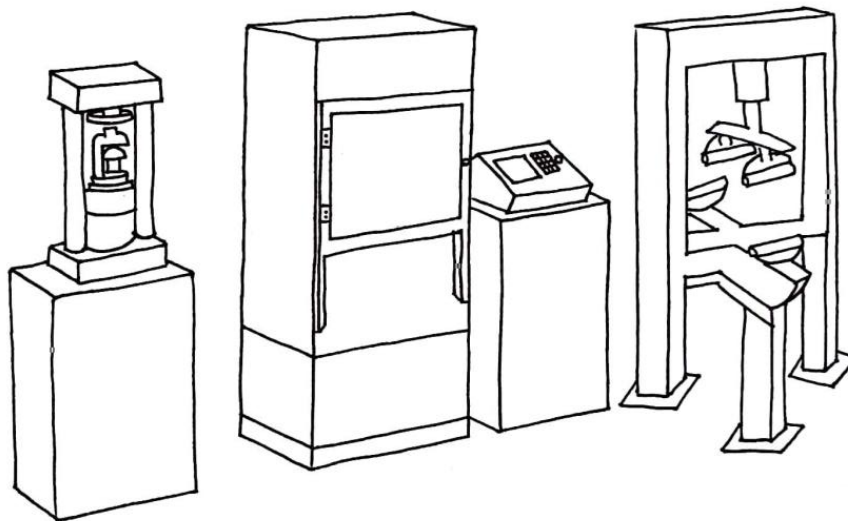


Figura 9 Máquina de ensayo universal

## 10. Prensa de ensayo universal Forney.

Equipo diseñado para realizar ensayos estructurales de compresión sobre diferentes tipos de probetas de hormigón. En el laboratorio de hormigones se ha utilizado para ensayos de probetas con distintos esquemas de refuerzo con fibra de carbono. Se utiliza esta prensa pues tiene una rejilla que cubre las probetas mientras están siendo ensayadas, lo cual es importante pues la falla de las probetas con refuerzos de fibra de carbono puede ser repentina y sus partes ser expelidas. La rejilla contiene esas partes.

Los aspectos de seguridad son:

- Tener precaución en la manipulación de las probetas de hormigón. Esto es usando guantes y por supuesto zapatos de seguridad.
- Usar antiparras y mantenerse a la distancia que indique el laboratorista cuando se ensayan probetas con refuerzo de fibra de carbono.
- Al igual que la máquina de ensayo universal, su uso es exclusivo del laboratorista.

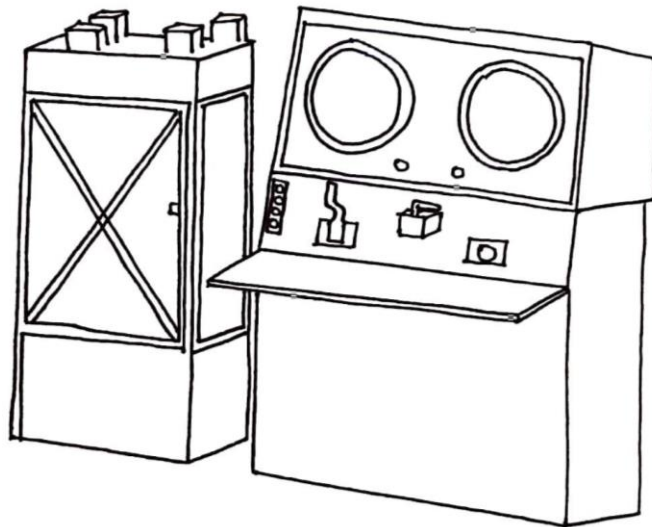


Figura 10 Prensa de ensayo universal Forney

## IV. Equipos de laboratorio y sus aspectos de seguridad

### 1. Tamizador mecánico de árido fino

Instrumento que permite determinar granulometría separando el árido fino según su tamaño a través de tamices de diferentes aberturas. Los aspectos de seguridad son:

- Usar protectores auditivos.
- Apretar correctamente el conjunto de tamices para evitar mal funcionamiento, pérdida de material o desprendimiento de tamices.
- Asegurar el correcto orden de tamices.
- No olvidar ensamblar el recipiente de residuos en la parte inferior de la agrupación de tamices.
- Finalizado el tamizado, limpiar completamente cada tamiz y el recipiente recolector de residuos.
- Evitar tocar o manipular el tamizador cuando está en funcionamiento.

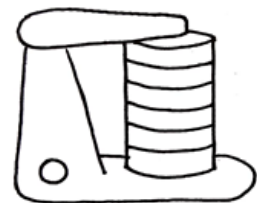


Figura 11 Tamizador de árido fino

## 2. Tamizador mecánico de árido grueso

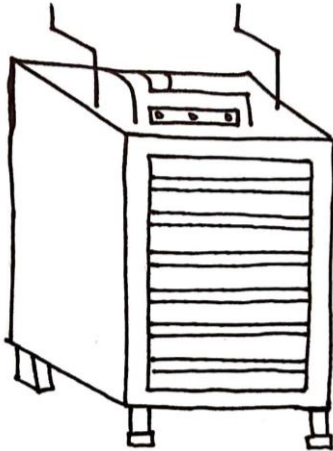


Figura 12 Tamizador de árido grueso

Instrumento que permite determinar granulometría separando el árido grueso según su tamaño a través de tamices de diferentes aberturas. Los aspectos de seguridad son:

- Usar protectores auditivos.
- Encajar correctamente las bandejas sobre sus correspondientes rieles para evitar pérdida de material y mal funcionamiento.
- Asegurar el correcto orden de tamices.
- No olvidar incluir la bandeja de residuos en la parte inferior de la agrupación de tamices.
- Esperar el tiempo adecuado (5 min) para una correcta segregación.
- Finalizando el tamizado, limpiar completamente cada tamiz y el recipiente recolector de residuos.
- Evitar tocar o manipular el tamizador cuando está en funcionamiento.

## 3. Cuarteador mecánico de árido finos

Permite reducir el tamaño de las muestras obtenidas en terreno al tamaño apropiado para efectuar diferentes tipos de ensayos de laboratorio, minimizando las posibles variaciones en las características de las medidas resultantes de tal reducción. Los aspectos de seguridad son:

- No introducir objetos ajenos a la muestra al interior de tolva para evitar una trabazón del mecanismo.
- Regirse por la Nch 164:2009 para una correcta reducción de la muestra original.
- Evitar tocar o manipular el cuarteador cuando está en funcionamiento.



Figura 13 Cuarteador de finos

#### 4. Mesa vibradora

La mesa vibratoria es utilizada para compactar y consolidar probetas con mezclas de morteros u hormigones. Los aspectos de seguridad son:

- Usar protectores auditivos.
- No apoyarse sobre la superficie de la mesa.
- No dejar objetos personales sobre la mesa como por ejemplo cuadernos, mochilas, ropa, teléfonos, etc.
- Al momento de realizar la vibración sobre una muestra o molde, proveer una sujeción adecuada para evitar caídas de elementos (sobre todo al vibrar moldes).
- Al final el trabajo de vibración, dejar la superficie limpia y despejada, junto con desconectar la máquina.

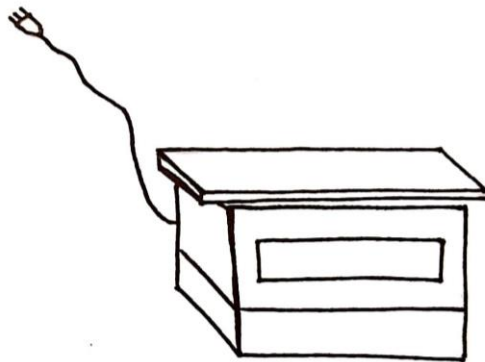


Figura 14 Mesa vibradora

#### 5. Testiguera

Equipo de perforación mecánica que permite extraer probetas cilíndricas (testigos) de bloques de hormigón. Los aspectos de seguridad son:

- Anclaje de maquinaria en hormigón endurecido.
- Verificar que la condición de apoyo del bloque sea estable.
- Humedecer constantemente la broca de perforación al momento de extracción.
- Delimitar área de trabajo.
- No apoyarse en la testiguera, podría generar volcamiento del equipo.
- Limpiar máquina y espacio de trabajo después de su uso.

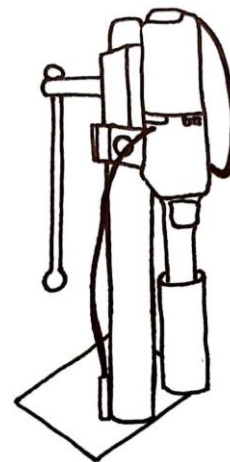


Figura 15 Testiguera

## 6. Sierra de corte circular

Disco de corte apto para trabajar sobre hormigón para rectificar cara de ensayo. Los aspectos de seguridad son:

- Su uso está restringido al laboratorista.
- Usar protectores auditivo, mascarilla y antiparras.
- Procurar que el recipiente tenga suficiente agua para evitar deterioramientos en los discos.
- Mientras este en uso evitar acercarse a la máquina.
- No mover la mesa mientras el disco siga girando.
- Al término de su uso desconectar máquina.

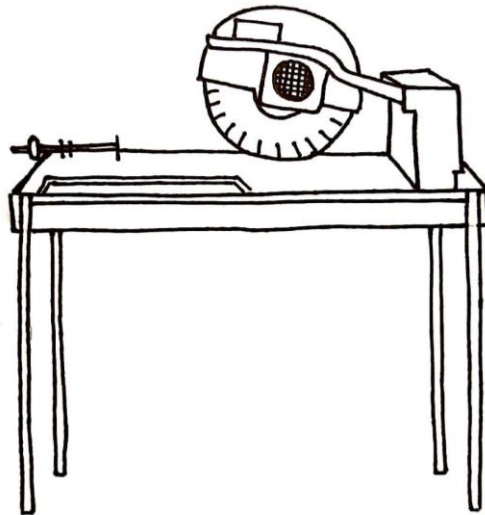


Figura 16 Sierra de corte circular

## 7. Aparato de Vebe

Equipo que permite medir la trabajabilidad de hormigones secos. Los aspectos de seguridad son:

- Su uso está restringido al laboratorista.
- Limpieza de equipo y superficie de trabajo al término de uso.

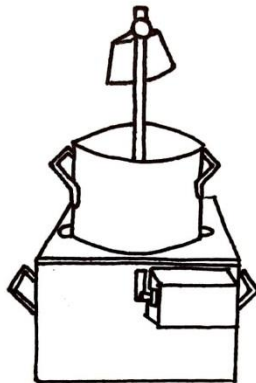


Figura 17 Aparato de Vebe

## 8. Mesa de sacudida

Equipo que permite medir la trabajabilidad de hormigones secos mediante golpes reiterados. Los aspectos de seguridad son:

- Usar protectores auditivos.
- No manipular sin el permiso del laboratorista.
- No manipular la manivela
- No obstruir el eje de ascenso y descenso de la mesa.

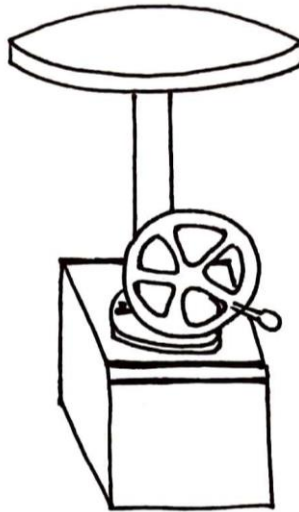
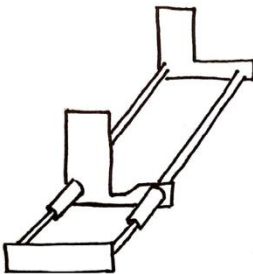


Figura 18 Mesa de sacudida

## 9. Equipo de trazado de probetas cilíndricas



Permite demarcar eje horizontal de probetas cilíndricas para ser sometidas al ensayo de tracción por hendimiento. Los aspectos de seguridad son:

- Manipular el equipo completamente apoyado sobre una superficie horizontal.
- Precaución al ajustar medida para evitar apretamiento de dedos.

Figura 19 Equipo de trazado de probetas cilíndricas

## 10. Cono de densidad real árido fino

Permite llegar al nivel de humedad óptimo (msss) en muestras de áridos finos. Los aspectos de seguridad son:

- Su uso está restringido al laboratorista.



Figura 20 Cono de densidad real árido fino

## 11. Airímetro

Permite calcular el porcentaje de aire atrapado dentro de la mezcla fresca de hormigón. Los aspectos de seguridad son:

- Su uso está restringido al laboratorista.



Figura 21 Airímetro

## 12. Máquina de desgaste de Los Ángeles

Permite medir el porcentaje de desgaste de los áridos gruesos mediante abrasión. Los aspectos de seguridad son:

- Utilizar protección auditiva, zapatos de seguridad, mascarillas y antiparras al momento de operar la máquina.
- No operar sin la supervisión del laboratorista.
- Nunca dejar de supervisar el funcionamiento del equipo.
- Mantenerse alejado del equipo mientras este está operativo.
- No ingresar objetos extraños dentro de la tómbola.
- Al momento de sacar el material encender el extractor de partículas.

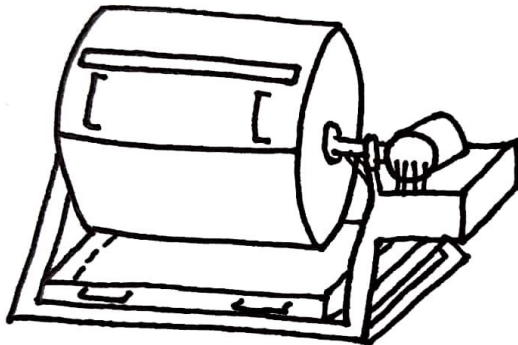


Figura 22 Máquina de desgaste de Los Ángeles

### 13. Horno de secado de muestras

El horno permite secar materiales y probetas de hormigón acelerando este proceso. La temperatura máxima a la que opera es 150°C. Los aspectos de seguridad son:

- Verificar que la temperatura sea la correcta al momento de su utilización.
- Usar guantes al momento de mover o retirar objetos calientes que se encuentren dentro del horno.
- No introducir ni tener cerca objetos inflamables, incluidos madera y trapos.
- Apagar el horno en todo momento que no sea necesario su uso.

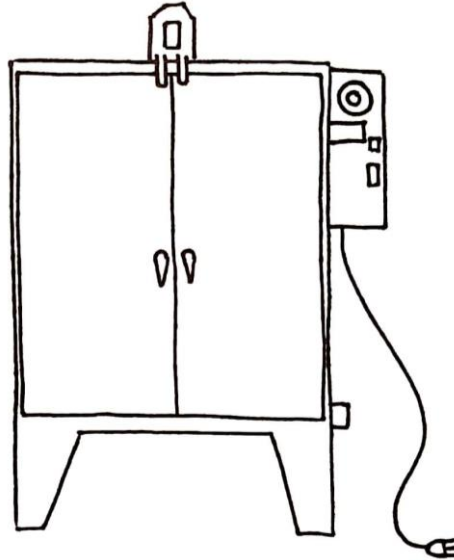


Figura 23 Horno

### 14. Matracas aforados

Herramienta que permite medir volúmenes exactos de líquidos según su capacidad de aforo. Los aspectos de seguridad son:

- No manipular bruscamente el matraz, no golpearlo evitando trizaduras.
- Almacenar en lugares seguros evitando algún daño.

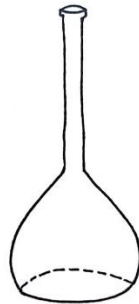


Figura 24 Matracas aforados



## ANEXO 2 GUÍA UTILIZACIÓN MARTILLO SCHMIDT

El martillo Schmidt es una herramienta de ensayo no destructivo diseñada para determinar la resistencia a la compresión simple del hormigón o la roca.

El método se suele utilizar para evaluar la uniformidad del hormigón *in situ*, delinear la zona de hormigón deteriorado o de baja calidad en una estructura y estimar el desarrollo de resistencia *in situ*.

En laboratorio los estudiantes podrán utilizar el martillo Schmidt, pudiendo determinar el valor de la resistencia a la compresión simple de una probeta de hormigón. De esta forma será capaz de entender y aprender el funcionamiento de esta herramienta, comprobando los beneficios de su uso así como la correcta interpretación de resultados, pudiendo asociar estos al desempeño del hormigón en estudio.

### Martillo Schmidt a utilizar

En la práctica común se utilizan dos tipos de martillos, el tipo L con una energía de impacto de 0.735 Nm y el tipo N con una energía de impacto de 2.207 Nm. En el caso del presente laboratorio se utilizará el modelo TC500N el cual es un martillo tipo N (Figura 1).

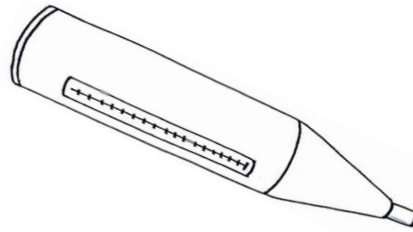


Figura 1 Martillo Schmidt tipo N

Dentro de las herramientas que se usaran en conjunto con el martillo se encuentran (Figura 2):

- Piedra de amolar o abrasiva
- Guantes

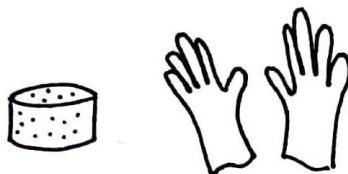


Figura 2 Piedra abrasiva, guantes.

## Ensayo de determinación del índice esclerométrico (NCh 1565:2009)

### 1- Área de ensayo

Los elementos a ensayar deben tener un espesor mayor o igual que 100 mm (tal como se muestra en la figura 3) y estar fijos. Se deben evitar las áreas que exhiben alguna patología tales como nidos de piedra, texturas ásperas o alta porosidad.

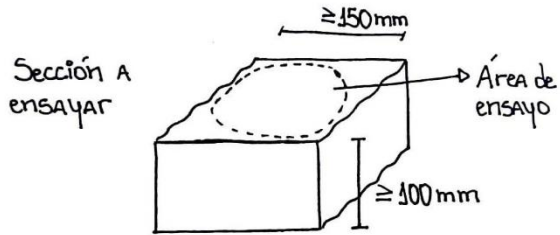


Figura 3 Sección a ensayar

El área de ensayo debe tener un diámetro mínimo de 150 mm (figura 3). Las superficies texturadas en exceso, blandas o con mortero suelto deben ser tratadas previamente con la piedra abrasiva (puliendo la superficie).

Las superficies lisas obtenidas mediante moldeo o allanado se pueden ensayar sin pulir.

Los resultados obtenidos de superficies pulidas y no pulidas nunca se deben comparar.

Si el hormigón presenta sectores congelados se debe descongelar antes del ensayo.

Para comparar lecturas, la dirección de impacto (horizontal, hacia arriba, hacia abajo o en otro ángulo) debe ser la misma, o se deben aplicar factores de corrección a las lecturas.

No se deben efectuar ensayos directamente sobre barras de refuerzo con recubrimiento menor que 20 mm.

### 2- Procedimiento

Ubicar el martillo perpendicularmente a la superficie a ensayar tal como se muestra en la figura 4a, para luego aumentar gradualmente la presión contra la superficie de ensayo hasta que el martillo dispase (Figura 4b).

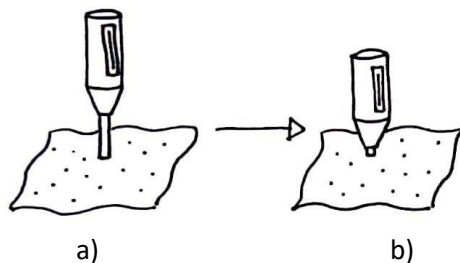


Figura 4 Toma de dato del martillo a) Paso 1 b) Paso 2

Luego de cada impacto mantener presionado el martillo y presionar el botón en el costado de éste para bloquear el embolo en su posición retractada (Figura 5).

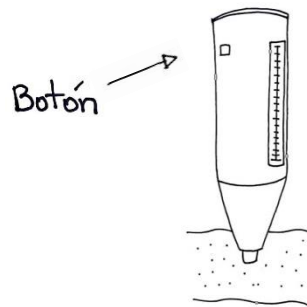


Figura 5 Botón para bloquear el embolo

Leer en la escala aproximando al entero más próximo y registrar el valor del rebote (Figura 6).

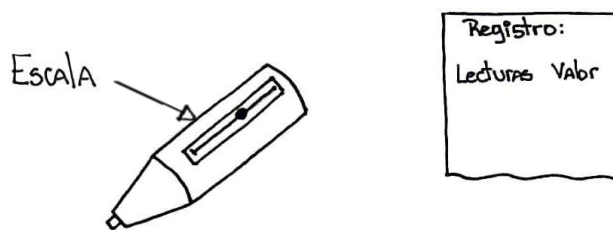


Figura 6 Registro de valores

Se debe tomar 10 lecturas uniformemente distribuidas en el área de ensayo procurando que la distancia entre dos puntos de impacto sea menor o igual que 25 mm y la distancia a un borde sea menor o igual que 50 mm (Figura 7).

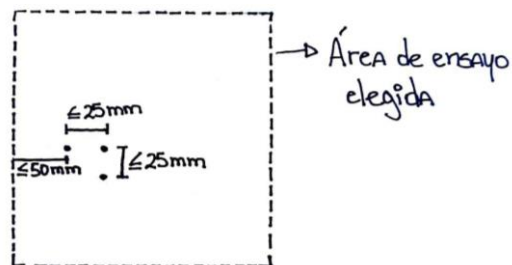


Figura 7 Distancia máxima entre lecturas

Después de cada impacto se debe examinar la superficie. En el caso que se produzca trituración superficial se debe tomar una nueva lectura no considerando la anterior.

La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a la compresión del hormigón mediante curvas de conversión (Figuras 8 y 9) que tiene en cuenta la orientación del martillo respecto al plano del hormigón ensayado.

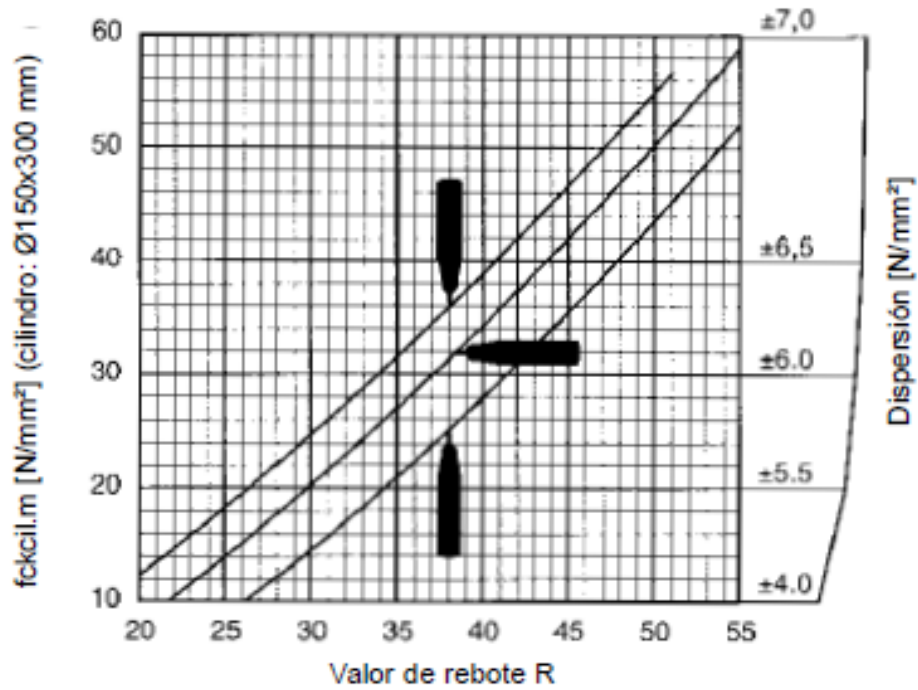


Figura 8 Curvas de conversión basadas en la resistencia a la compresión promedio de un cilindro de  $\phi 150 \times 300$  mm y el valor de rebote R (Manual de uso martillo Schmidt tipo N\*)

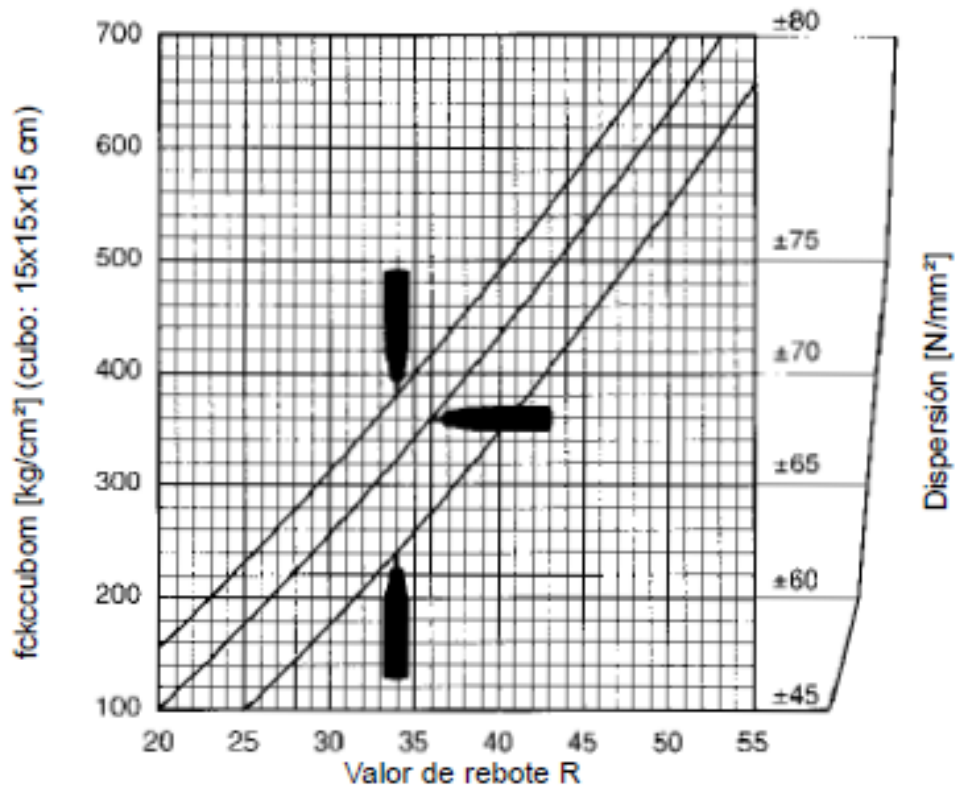


Figura 9 Curvas de conversión basadas en la resistencia a la compresión promedio de un cubo de 15x15x15cm y el valor de rebote R (Manual de uso martillo Schmidt tipo N\*)

Cabe mencionar que las curvas presentadas en las Figuras 8 y 9 son sólo válidas para martillos tipo N.

(\*) Las curvas pueden variar entre equipos, por lo que se debe consultar el manual del fabricante.

### **3- Cálculo y expresión de resultados**

Descartar las lecturas que difieran en más de 6 unidades con respecto al promedio de 10 lecturas. Promediar las restantes (que no se hayan descartado).

Si más de dos lecturas difieren del promedio en más de 6 unidades se debe descartar el set completo de lecturas y determinar el rebote en 10 nuevas ubicaciones dentro del área de ensayo.

Calcular el índice esclerométrico como el promedio de las lecturas válidas, expresado con aproximación al entero.

## **Referencias**

INN (2009). NCh 1565:2009. Determinación del índice esclerométrico. Norma Chilena, Instituto Nacional de Normalización, Chile.