

# **Diseño de Procedimientos Técnicos del Laboratorio de Ensayos en Materiales del CONAVI, según los Requisitos de la Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005**



# Abstract

This document was developed in order to design all technical procedures for eight laboratory tests involving hydraulic concrete and twelve tests related to stone aggregate, within the CONAVI Material Testing Laboratory, and following both the guidelines from the accreditation process before the Costa Rican Accreditation Entity (ECA) and the guidelines from the norm INTE-ISO/IEC 17025:2005. Also there was developed a technical instructive for laboratory equipment control. Within technical documentation for each test, there were developed tests instructive, registers and technical forms, according to INTECO and ASTM. Furthermore there were designed registers and spreadsheets in order to verify the equipment used in all related tests according to all established specifications. Besides, there were design registers to control the use of ovens, scales, testing machines and neoprene pads. Additionally, there was design a test methods for concrete (temperature, slump, unit weight and compressive strength) and stone aggregate (unit weight, weathering resistance, material finer than N°200 mesh and density, gravity and fine and coarse absorption) validation plan.

Keywords: Aggregates, concrete, testing, method validation.

# Resumen

El presente documento se desarrolló con el objetivo de diseñar los procedimientos técnicos para el Laboratorio de Ensayos en Materiales del CONAVI para ocho ensayos de laboratorio en el área de concreto hidráulico y 12 ensayos en el área de agregados pétreos como producto de la iniciativa de un proceso de acreditación ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), bajo los lineamientos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Además, se diseñó un instructivo técnico para el control de equipos de laboratorio. Como parte de la documentación técnica, para cada ensayo se elaboró su respectivo instructivo, registro y formulario técnico de acuerdo con las especificaciones definidas en las normas publicadas por INTECO y ASTM. Se elaboraron los registros y las hojas de cálculo para la verificación de equipos utilizados para ensayos en concreto hidráulico, de acuerdo con las especificaciones establecidas en la normativa vigente. Asimismo, se elaboraron registros para el control de uso de hornos, balanzas, máquina de ensayos a compresión y almohadillas de neopreno. Además, se confeccionó, para el CIVCO, el plan de validación de métodos de ensayo para el área de concreto hidráulico (temperatura, revenimiento, peso unitario y resistencia a la compresión) y de agregados pétreos (peso unitario, resistencia al desgaste, material más fino que la malla N°200 y densidad, gravedad y absorción de gruesos y finos).

Palabras clave: Agregados, concreto, ensayos, validación de métodos.

# **Diseño de Procedimientos Técnicos del Laboratorio de Ensayos en Materiales del CONAVI, según los Requisitos de la Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005**

ALEJANDRO MIRANDA MORA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio de 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco teórico .....	5
Metodología .....	16
Resultados .....	29
Análisis de los resultados.....	30
Conclusiones.....	41
Recomendaciones .....	42
Apéndices .....	43
Referencias .....	45

# Prefacio

Hoy en día, la alta competitividad ha marcado una pauta importante sobre la cual las diversas organizaciones deben comprometerse para asegurar la capacidad y confiabilidad de los procesos que ejecuta. En el caso específico de un laboratorio de ensayos, el concepto de calidad debe ser complemento de su quehacer diario.

Actualmente, el laboratorio de ensayos en materiales del Departamento de Calidad de la Gerencia de Construcción de Vías y Puentes tiene dentro de su alcance la elaboración de ensayos en materiales que son utilizados para la verificación de la calidad de los distintos proyectos de construcción que dicho Departamento tiene a su cargo. Su objetivo es brindar controles de calidad y aceptación de materiales, de acuerdo a una especificación existente.

Este Departamento de Calidad fue creado recientemente como parte de la recién aprobada restructuración del Consejo Nacional de Vialidad. Así, esta Práctica Profesional Dirigida surge ante la iniciativa del Departamento de Calidad por acreditar los ensayos de laboratorio ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), institución que nace a raíz de la promulgación de la Ley del Sistema Nacional para la Calidad (SNC) (Ley N° 8279).

Institución cuya misión es respaldar la competencia técnica y credibilidad de los entes acreditados, así como de asegurar que los servicios ofrecidos por dichos entes mantengan los mismos estándares de calidad bajo los cuales se les reconoció la competencia técnica.

Por esta razón, el objetivo principal de este Proyecto de Graduación radica en el diseño de los procedimientos técnicos del Laboratorio de Ensayos en Materiales del CONAVI en el área de agregados pétreos y concretos hidráulicos, según los requisitos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005

Primeramente quiero agradecer a Dios por iluminarme y darme la sabiduría necesaria para salir adelante durante estos cinco años de carrera universitaria. Agradezco a mi familia por darme su apoyo incondicional y ejemplo de superación. Agradecer también al profesor guía Ing. Sergio Fernández Cerdas MSc. por su supervisión en la ejecución de este proyecto, a la Ing. Sonia Vargas Calderón, al Ing. Benjamín Sandino jefe del Departamento de Calidad y en general a todo el personal técnico del laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI y del *LabCIVCO*.

# Resumen ejecutivo

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), quien ejecuta la mayor parte de las actividades en materia de conservación, construcción, mejoramiento y rehabilitación de la red vial nacional, tomó la iniciativa de llevar a cabo un proceso de acreditación ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), con el propósito de demostrar la confiabilidad y capacidad para desarrollar un Sistema de Gestión de Calidad, así como de la competencia técnica de su laboratorio para llevar a cabo ensayos en materiales.

El cumplimiento de los objetivos del presente proyecto permitió el diseño de la documentación técnica necesaria para el laboratorio del Departamento de Calidad del CONAVI. Por esta razón, cada uno de los objetivos planteados constituyó un eslabón importante para que la institución gestione y mantenga la iniciativa de llevar a cabo el proceso de acreditación.

Esta Práctica Profesional Dirigida consistió en el diseño de los procedimientos técnicos del laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI, según los requisitos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Se incluyeron dentro del alcance del presente proyecto 8 ensayos en concreto hidráulico: Muestreo de Concreto (INTE 06-01-05:2011 y ASTM C-172), Temperatura del Concreto (INTE 06-02-06:2012 y ASTM C-1064), Revenimiento del Concreto (INTE 06-02-03:2011 y ASTM C-143), Contenido de Aire del Concreto (INTE 06-02-04:2010 y ASTM C-231), Elaborar y Curar Especímenes de Concreto en Campo. (INTE 06-01-08:2011 y ASTM C-31), Elaborar y Curar Especímenes de Concreto en Laboratorio. (INTE 06-01-07:2012 y ASTM C-192), Resistencia a la Compresión (INTE 06-02-01-06 y ASTM C-39), Esfuerzo a Flexión (INTE 06-02-08-

06 y ASTM C-78) y 12 ensayos en agregados pétreos: Toma de Muestras de Agregados (INTE 06-02-32-09 y ASTM D-75), Reducción de Muestras a Tamaño de Ensayo (INTE 06-02-25:2010 y ASTM C-702), Contenido de Humedad (ASTM D-2216), Peso Unitario y Vacíos (INTE 06-02-21:08 y ASTM C-29), Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (INTE 06-02-33-09 y ASTM C-127), Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (INTE 06-02-34-09 y ASTM C-128), Granulometría de Agregados Gruesos y Finos (INTE 06-02-09-07 y ASTM C-136), Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos (INTE 06-02-27-09 y ASTM C-131), Impurezas Orgánicas en Agregados Finos (INTE 06-02-22-09 y ASTM C-40), Efecto de las Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino sobre la Resistencia del Mortero (ASTM C-87), Caras Fracturadas (ASTM D-5821), Lavado del Material más Fino que el Tamiz N°200 (ASTM C-117).

Para cada uno de los ensayos mencionados anteriormente, la documentación técnica incluyó el diseño de los instructivos técnicos, las hojas de registro para la toma de datos y las hojas de cálculo para procesar los datos tomados a través de las hojas de registro. Además, se elaboraron registros para el control de uso de equipos de laboratorio: balanzas, hornos, almohadillas de neopreno y máquina de ensayos a compresión. Se hizo necesario además realizar un conjunto de registros y hojas de cálculo para la verificación de quipos de laboratorio: moldes cilíndricos para especímenes de concreto, molde de revenimiento, equipos medidores de aire, varillas de compactación y almohadillas de neopreno. Además, se incorporó dentro del alcance de este proyecto diseñar un instructivo técnico y un registro para el control metrológico de los equipos, esto debido a que el

laboratorio no tiene definidas políticas ni procedimientos para mantener de forma activa, un programa de control metrológico.

Debido a que el Departamento de Calidad no mostró interés por implementar la documentación técnica, algunos de los objetivos propuestos inicialmente como lo son las capacitaciones del personal técnico, el proceso de etiquetado y verificación de los equipos así como la evaluación de desempeño de los técnicos por medio de pruebas de desempeño no se pudo llevar a cabo. Sumado a ello, los problemas de salud por parte de mi persona, la operación a la cual me vi sometido y al proceso de rehabilitación requerido, no se lograron completar los objetivos descritos anteriormente. Producto de ello, se incorporó un nuevo objetivo a cumplir, pero esta vez no en pro del laboratorio del CONAVI, sino en beneficio del laboratorio del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (*LabCIVCO*). Dicho objetivo consistió en el diseño de planes de validación de métodos para ensayos en concreto: temperatura, revenimiento, peso unitario y resistencia a la compresión, y para ensayos en agregados pétreos: densidad, gravedad específica y absorción de gruesos y finos, material más fino que el tamiz N°200, peso unitario de agregados gruesos y finos y resistencia a la abrasión.

La lectura y la comprensión de las normas ASTM e INTECO, la observación del procedimiento para ejecutar las pruebas por parte de los técnicos y la ejecución propia de cada uno de los métodos de ensayo, constituyeron los parámetros fundamentales de la metodología a seguir para llevar a cabo el diseño de los instructivos técnicos. El propósito de la elaboración de las hojas de cálculo para la verificación de los equipos de laboratorio radicó en que a través de la lectura de los métodos normalizados se identificaron apartados que hacen referencia a las dimensiones requeridas por los equipos para la ejecución del ensayo. Así,

con base en las especificaciones definidas en las normas se elaboraron un conjunto de hojas de cálculo que permitieran verificar el cumplimiento o no de los equipos con respecto a los requisitos establecidos.

La metodología para la elaboración de los planes de validación de los métodos de ensayo, se definió a partir de métodos normalizados, de acuerdo con las normas ASTM. Además, cada documento se diseñó a partir de los requisitos contenidos en la Guía para la Validación de Métodos (ECA-MC-PO01-G01). Los documentos elaborados, abarcaron la organización para la actividad de validación, su estructura organizativa, las instalaciones, equipos y ensayos a validar; el formato de la documentación a utilizar, la planificación y los parámetros de desempeño

La elaboración de cada uno de los documentos técnicos permitió ampliar los conocimientos personales en cuanto al procedimiento de ejecución de las pruebas y al cálculo de los resultados de ensayos. Se logró identificar la importancia de que un laboratorio se encuentre debidamente acreditado con el propósito de que la verificación de la calidad de los materiales dentro de los procesos de construcción garantice resultados precisos, válidos y técnicamente confiables.

Se logró evidenciar que las instalaciones que actualmente utiliza el CONAVI, como laboratorio para la ejecución de los ensayos a los materiales, se encuentran en mal estado y presentan un deterioro muy evidente poniendo en riesgo tanto a los operadores del laboratorio como a los equipos y a la información ahí resguardada. Debido a dicha situación, las instalaciones del laboratorio no cumplen con los requisitos mínimos ante una posible acreditación ante el ECA.

# Introducción

En la actualidad, el nivel de competitividad, en el que se encuentran inmersas las diversas empresas e instituciones, obliga a que estén comprometidas a demostrar su confiabilidad y capacidad. En el caso particular de un laboratorio de ensayos, los requerimientos de calidad deben acreditarse a través de pruebas confiables y oportunas, respaldadas por un sistema de gestión de calidad acorde con sus necesidades.

Para ello existen las normas internacionales ISO, las cuales representan el punto de partida para la implantación de un sistema de gestión de calidad, mediante el cual, las instituciones garanticen un aumento en los beneficios, mayor efectividad, mayor control de los procesos y una adecuada gestión de toda la organización. El laboratorio de ensayos en materiales del Departamento de Calidad del CONAVI tiene como objetivo brindar controles de calidad y aceptación de materiales de acuerdo con una especificación existente, mediante ensayos realizados a suelos, agregados pétreos, concretos hidráulicos, concretos asfálticos, bases estabilizadas, pinturas para la señalización de caminos, entre otros.

Esta práctica profesional dirigida tiene como fundamento el diseño de los procedimientos técnicos del laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI, en el área de agregados pétreos y concretos hidráulicos ya que dicho laboratorio ha presentado una iniciativa para la acreditación de ensayos en las áreas mencionadas anteriormente bajo la normativa INTE: ISO/IEC 17025:2005. Los procedimientos incluyen: instructivos para la implementación de ensayos, registros para la toma de datos, formularios para el cálculo de resultados, un instructivo para el control de equipos, registro para las acciones de verificación y calibración de equipos, registros y hojas de cálculo para la verificación de equipos y el plan de validación para los métodos de ensayo.

## Objetivo General

Diseñar los procedimientos técnicos del laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI en el área de agregados pétreos y concretos hidráulicos, según los requisitos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

## Objetivos Específicos

1. Elaborar la documentación técnica asociada a la ejecución del ensayo, la recolección de datos y el cálculo de resultados para cada ensayo.
2. Elaborar la documentación técnica relacionada con la verificación de equipos de laboratorio, así como del control para las acciones de verificación y calibración.
3. Diseñar el plan de validación de métodos para ensayos definidos por el CIVCO, según los lineamientos establecidos en la Guía: ECA-MC-PO01-G01.



# Marco Teórico

## **Muestreo de Concreto Recién Mezclado (INTE 06-01-05:2011 y ASTM C-172)**

Los ensayos que se realizan en obra al concreto fresco parten de la obtención de una muestra representativa de una carga de concreto en diversos tipos de equipos tales como: mezcladoras estacionarias, mezcladoras de pavimentación y camiones automezcladores.

El objetivo fundamental de esta práctica se basa en tomar muestras que verdaderamente representen la totalidad del material contenido dentro de cualquiera de los equipos citados anteriormente, de manera que los ensayos de verificación de calidad aplicados a dicha muestra reflejen las características del lote total de concreto fresco.

El proceso de muestreo se realiza haciendo pasar un recipiente a través de la corriente de descarga o desviando dicha corriente hacia un contenedor, con la precaución de tomar las muestras a la mitad de la descarga y evitar el fenómeno de segregación.

Una vez obtenida la muestra, esta debe ser remezclada con el fin de asegurar uniformidad del concreto, tomando en cuenta que debe ser protegida de factores como el sol, la lluvia, el viento y la contaminación.

En algunas ocasiones, los técnicos encargados del proceso de muestreo tienen la mala costumbre de tomar muestras de concreto tan rápido como este llega al sitio del proyecto, dando como resultado que se ejecute el muestreo de la primera porción de la descarga de la mezcla y se obtenga una muestra no representativa del concreto fresco y resultados erróneos al realizar los ensayos de control de calidad.

## **Ensayo de Temperatura en el Concreto Fresco (INTE 06-02-06:2012 y ASTM C-1064)**

El control de la temperatura del concreto que se entrega en la obra es de suma importancia, ya que este parámetro influye directamente en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto.

Este método de ensayo permite la medición de la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado utilizando un aparato medidor de temperatura, de manera tal que al menos 75mm de concreto cubran en todas direcciones el sensor de dicho equipo luego de ser inmerso.

Una vez el aparato inmerso en el concreto, la superficie alrededor del termómetro se debe presionar suavemente, con el objetivo de evitar errores en la medición debido a la influencia de la temperatura ambiental. Según los requisitos definidos en la norma, para que el resultado de temperatura sea satisfactorio, la lectura debe realizarse entre 2 y 5 minutos después de haber iniciado la prueba.

La temperatura finalmente medida, permite verificar que el concreto satisfaga requerimientos específicos, representa la temperatura en el momento de la prueba y no puede utilizarse como un indicador de la temperatura del concreto en un momento posterior.

## **Ensayo de Revenimiento en el Concreto Fresco (INTE 06-02-03:2011 y ASTM C-143)**

Una de las características del concreto fresco antes del fraguado es su trabajabilidad, es decir, la facilidad con la que este se puede colar y compactar. Así, la facilidad con la que el concreto puede ser manipulado está relacionada con la consistencia, la que a su vez varía según la cantidad de agua que contiene la mezcla. La medida de la consistencia se realiza mediante la prueba de revenimiento.

Esta prueba es una de las más comunes que se ejecutan al concreto recién mezclado y se utiliza en todos aquellos procesos relacionados con la inspección de la calidad en obras de construcción o bien para el control de calidad en planta.

La ejecución de este ensayo parte de la obtención de una muestra representativa de concreto fresco, la cual se coloca y compacta dentro de un cono truncado conocido como cono de Abrams. El concreto se coloca en tres capas de aproximadamente igual volumen y la compactación se realiza mediante 25 golpes de varilla, la cual tiene 600mm de longitud y 16 mm de diámetro.

Luego de enrasar la superficie superior, el molde de revenimiento se levanta en dirección vertical para permitir el desplome del concreto. El revenimiento consiste en la medida de la distancia vertical entre la altura del molde y la altura del concreto desplomado.

## **Ensayo de contenido de aire por el método de presión (INTE 06-02-04:2010 y ASTM C-231)**

El contenido de aire se verifica especialmente en concretos donde intencionalmente se ha introducido aire, utilizando aditivos incorporadores, para proteger al concreto contra el intemperismo, por razones de durabilidad debido a los fenómenos de congelamiento y deshielo.

Este método de ensayo se basa en la determinación del contenido de aire en el concreto fresco utilizando un equipo medidor de aire, cuyo principio de funcionamiento se basa en el cambio de volumen del concreto producto de un cambio de presión.

La ejecución de esta prueba de laboratorio parte de la obtención de una muestra representativa de concreto fresco, la cual se coloca dentro del recipiente de medida en tres capas de aproximadamente igual volumen. Cada capa de concreto se compacta utilizando 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en toda la sección en forma de espiral de afuera hacia adentro. Luego de apisonar cada capa se aplica, a los lados del molde, de 10 a 15 golpes con el mazo de hule para cerrar cualquier vacío dejado por la varilla.

Luego de compactar el concreto, se debe enrasar la superficie superior y se coloca la cubierta de ensamble sobre el recipiente de medida, asegurando un sello hermético. El aire atrapado entre la superficie superior del concreto y la cubierta de ensamble debe ser expelido mediante la inyección de agua por una de las válvulas de purga, utilizando una piceta.

Posteriormente se asegura que la válvula de alivio se encuentre cerrada y se bombea aire hasta que la manecilla del manómetro alcance la línea de presión inicial. Se cierran las válvulas de purga y se abre la válvula principal. Una vez que se estabiliza la manecilla, el porcentaje de aire del concreto fresco se lee en la carátula del manómetro.

## **Elaboración y curado de especímenes de concreto en campo (INTE 06-01-08:2011 y ASTM C-31)**

Antes de ejecutar las pruebas de resistencia a la compresión de cilindros de concreto, deben fabricarse los especímenes utilizando moldes cilíndricos de 150mmx300mm. El punto de partida inicia con la toma de una muestra de concreto en campo de acuerdo con los requisitos definidos en la norma INTE 06-01-05:2011 y ASTM C-172. El concreto obtenido mediante el muestreo se deposita dentro de los moldes en tres capas de aproximadamente igual volumen donde cada capa se compacta utilizando 25 golpes de varilla. Posterior al moldeo y 24 horas después los cilindros moldeados deben ser incorporados a la cámara húmeda o bien a una pileta de curado. El objetivo que se persigue al almacenar los especímenes en agua saturada con cal radica en

mantener húmedas, durante el periodo de curado, las superficies de los cilindros de concreto y para evitar la lixiviación del hidróxido de calcio.

## **Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio (INTE 06-01-08:2011 y ASTM C-31)**

Este ensayo parte con la elaboración de una mezcla de concreto en laboratorio utilizando una batidora mecánica. Al realizar la batida de concreto, se debe seguir un conjunto de pasos que permitan ejecutar la prueba con su debido control. Un punto importante es evitar al máximo las alteraciones entre las secuencias de mezclado, ya que la variabilidad inducida debido a dicho fenómeno puede dar como resultado mezclas de concreto con características diferentes.

Una vez obtenido el concreto producto del mezclado en batidora, se procede a la obtención de una muestra representativa que se utiliza para la confección de los especímenes cilíndricos, los cuales luego de transcurridos 24 horas se ingresan a la cámara húmeda para su respectivo curado durante un periodo determinado por la edad de falla a la cual se desea conocer la resistencia a la compresión.

La cámara húmeda debe ser capaz de mantener una temperatura de  $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa mínima de 95%, de manera tal que siempre exista agua libre sobre las superficies del espécimen sometido al proceso de curado.

## **Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (INTE 06-02-01-06 y ASTM C-39)**

Una de las pruebas más importantes que se realizan al concreto endurecido consiste en la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, donde esta propiedad se convierte en un parámetro fundamental e indispensable para el control de

calidad del concreto colocado en obra y se especifica como la resistencia obtenida en probetas de concreto ensayadas a la edad de 28 días.

Si bien existen otras edades de falla de cilindros, entre las que se pueden citar 1, 3, 7 y 14 días, la resistencia final se debe especificar a la edad de 28 días y las demás deben utilizarse como un criterio de control intermedio y no como medio de aceptación o rechazo del concreto.

Este ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión axial sobre los especímenes cilíndricos de concreto a una velocidad determinada hasta que la falla ocurre. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área transversal del espécimen, como se muestra en la ecuación 1.

$$R = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

R: resistencia a la compresión,  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

P: carga máxima aplicada, kg

A: Área de la sección transversal del espécimen,  $\text{cm}^2$ .

Los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión se utilizan para la aceptación del concreto según las especificaciones del proyecto, donde no solo la relación A/C y las características de los agregados influyen en la resistencia del concreto, sino que también la variación en el procedimiento para la toma de muestras, en el método de moldeo y acabado de los cilindros, así como de las condiciones de curado, pueden provocar alteraciones en los resultados de la prueba de compresión.

Por ello, se debe tener sumo cuidado durante los procesos de muestreo de concreto fresco y elaboración de especímenes cilíndricos, pues si se obtiene una baja resistencia sería difícil determinar si se debe a una mala calidad del concreto o a una confección defectuosa de los cilindros.

## Esfuerzo a flexión del concreto (INTE 06-02-08-06 y ASTM C-78)

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga de concreto no reforzada. Por lo general, se mide mediante la aplicación de carga en los tercios medios a vigas de 150mmx150mm de sección transversal y con una longitud de 600mm. La interpretación de los resultados de resistencia a flexión se expresan como el Módulo de Ruptura (MR) el cual ronda cerca del 10% de la resistencia a la compresión y se define como el valor aparente del esfuerzo de tracción de una viga de concreto, debido a una carga que produce la ruptura en flexión, suponiendo condiciones de elasticidad y homogeneidad del material.

El cálculo del Módulo de Ruptura depende de la posición donde ocurre el agrietamiento producto de la falla de la viga a flexión. Si la falla ocurre en el tercio medio de la viga el MR se calcula según:

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

MR= módulo de ruptura, kg/cm<sup>2</sup>.

P= carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos, kg.

L= longitud de separación de apoyos, cm.

b= ancho promedio del espécimen, en la fractura, cm.

d= espesor promedio del espécimen en la fractura, cm.

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio de la viga en no más de 5% de la longitud de separación entre apoyos, el MR se calcula según:

$$MR = \frac{3 * P * a}{b * d^2} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

a: distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de tensión de la viga.

Si la fractura no ocurre en alguna de las posiciones a lo largo de la viga mencionadas anteriormente el ensayo se descarta y se repite la prueba.

Este ensayo es de gran utilidad para la evaluación del concreto utilizado en la construcción de pavimentos, ya que permite un control del concreto colocado en obra y permite definir criterios de aceptación o rechazo. Los ensayos a flexión son muy sensibles a los procesos de preparación, manipulación y de curado por lo cual, se debe evitar una incorrecta ejecución ya que de lo contrario se podrían obtener valores no confiables y generalmente bajos.

## Toma de muestras de agregados en campo (INTE 06-02-32-09 y ASTM D-75)

El proceso de muestreo se realiza a partir de la toma de porciones de agregados en campo, las cuales son recombinadas para formar una muestra representativa de agregados gruesos o finos a partir de diferentes fuentes tales como: fuentes móviles como tolvas o descarga en bandas transportadoras, muestreo en apilamientos, muestreo en unidades de transporte o bien muestreo de bases y sub-bases.

El proceso de muestreo de agregados en campo es tan importante como los ensayos que se ejecutan, así, el técnico encargado del muestreo debe tomar todas las precauciones necesarias para que la muestra sea representativa de la fuente de abastecimiento y en cantidad suficiente para atender la cantidad mínima de material exigido por las normas.

El punto de partida para obtener resultados válidos en los ensayos que se realizan a los agregados consiste en realizar el proceso de muestreo de una forma correcta, de manera tal que la muestra refleje la naturaleza y las condiciones del material que representa.

## **Reducción de muestras de agregado a tamaño de ensayo (INTE 06-02-25:2010 y ASTM C-702)**

Este método de ensayo se utiliza para reducir muestras de agregados, tomadas en campo, a especímenes de agregado para ensayo en laboratorio utilizando los métodos de: cuarteo, separación mecánica y apilamiento miniatura. Cada una de estas técnicas tiene como objetivo minimizar las variaciones en las características medibles entre el espécimen para ensayo y la muestra de campo.

A través de estos métodos se proporciona una serie de procedimientos para reducir la muestra a un tamaño conveniente para realizar ensayos que permitan describir el material y medir su calidad, de tal manera que cada uno de los especímenes obtenidos, sean representativos de la muestra original y por ende del suministro total.

## **Análisis granulométrico de agregados (INTE 06-02-09:2007 y ASTM C-136)**

La graduación de los agregados es otro parámetro que influye en la dosificación de mezclas de concreto, a tal punto que existen especificaciones técnicas que definen la granulometría óptima que deben tener los agregados gruesos y finos.

El análisis granulométrico consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que forman el agregado. Esto se logra por medio de la acción de tamizado, donde la muestra de agregado seco, y que ha sido lavada en la malla #200, se hace pasar a través de un conjunto de tamices normalizados ordenados de mayor a menor abertura en orden descendente y determinando la cantidad de agregado que queda retenido en cada una de las mallas. La relación entre el peso retenido en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra antes de lavar permite

calcular el porcentaje de agregado retenido en ese tamiz.

Antes de realizar el proceso de tamizado, los agregados deben secarse, especialmente los agregados finos, para evitar la formación de grumos de material por efecto de la humedad y queden retenidos en tamices de mayor abertura que los que corresponden a su tamaño real.

El porcentaje retenido acumulado hace referencia a la cantidad de material que quedaría retenido en un determinado tamiz si no existieran tamices con aberturas mayores por encima de él. La diferencia entre el porcentaje retenido acumulado y el 100% permite calcular el porcentaje acumulando de material que pasa una determinada abertura, indicando la fracción del total de la muestra que pasa por él.

Los resultados obtenidos de un análisis granulométrico funcionan como un parámetro de evaluación de la calidad de los agregados, ya que estos deben cumplir con ciertos límites de graduación. Además, a partir de los resultados se pueden construir una curva granulométrica que permite identificar de manera sencilla el exceso o no de fracciones gruesas o finas o bien la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños.

## **Resistencia al desgaste de agregados (INTE 06-02-27-09 y ASTM C-131)**

La resistencia al desgaste es una propiedad que tienen los agregados gruesos y una característica muy importante para el diseño de mezclas de concreto y para la selección de material para la construcción de capas de soporte como lo son por ejemplo la base y la sub-base.

Este factor toma mucha importancia cuando las partículas están sometidas a un mecanismo de roce continuo como lo es el caso de losas, pisos o pavimentos, para lo cual, los agregados que se utilizan para estas estructuras deben cumplir con cierto criterio de dureza de manera tal que permitan mantenerse íntegros dentro de la vida útil de la estructura.

Para determinar el porcentaje de desgaste de agregados gruesos, se utiliza la Máquina de los Ángeles, en la cual se coloca una cantidad específica de agregado, lavado y seco al horno, dentro de un tambor cilíndrico de acero

que se encuentra colocado en posición horizontal. Se añade dentro del tambor una carga constituida por un conjunto de bolas de acero y se aplica un determinado número de revoluciones. La cantidad de material utilizado como muestra de ensayo y el número de esferas de carga utilizadas dependen de la granulometría del agregado grueso.

Al entrar el tambor en un movimiento rotatorio, el choque entre el agregado y las bolas de acero da como resultado el desgaste de las partículas de la muestra. El porcentaje de pérdida por abrasión se determina como la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa de material desgastado expresándolo como un porcentaje de la masa inicial.

## Contenido de humedad en agregados (ASTM D-2216)

El contenido de humedad es una de las propiedades más significativas utilizada en el establecimiento de correlaciones entre el comportamiento del suelo y las demás propiedades. Además, el contenido de agua de un material es usado para expresar las relaciones que existen entre el aire, el agua y los sólidos en un volumen de material dado.

Este ensayo parte de un espécimen de suelo o agregado húmedo, el cual se coloca en un recipiente y se determina su masa. El espécimen de ensayo es secado en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta que muestre una masa constante (de 12 a 16 horas), posteriormente se retira del horno y se determina su nueva masa. La pérdida de masa del espécimen producto del proceso de secado se considera como la masa de agua que el espécimen tenía en el momento de ser introducido en el horno. El contenido de humedad se calcula dividiendo la masa de agua entre la masa seca del espécimen y multiplicando el resultado por 100.

El contenido de humedad del espécimen de ensayo se calcula como se muestra a continuación:

$$\% w = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad \text{Ecuación 4.}$$

Dónde,

$\%w$ : contenido de humedad del espécimen expresado en porcentaje.

$W_w$ : masa de agua.

$W_s$ : masa seca del espécimen.

## Densidad, gravedad y absorción del agregado grueso (INTE 06-02-33-09 y ASTM C-127)

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos para determinar la densidad, gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso, tienen gran influencia en cuanto al proporcionamiento de mezclas de concreto hidráulico. La gravedad específica es la relación que existe entre la densidad del agregado y la densidad del agua a una temperatura dada. Dependiendo de la condición de humedad del agregado, la gravedad específica se determina en condición seca o en condición saturada con superficie seca. Ambas condiciones permiten relacionar el peso de los agregados y el volumen que ocupan dentro de la mezcla de concreto.

La capacidad de absorción del agregado es utilizada para balancear los requerimientos de agua que necesita una mezcla de concreto. Así, el porcentaje de absorción se obtiene determinando el peso de un espécimen de agregado bajo condición seca y bajo condición superficie saturada seca. El resultado consiste en la diferencia entre ambos pesos, expresada como un porcentaje del peso seco del espécimen.

Este ensayo parte con la preparación de un espécimen de agregado, el cual, es sumergido en agua por un periodo de  $24h \pm 4h$ . Una vez transcurrido dicho tiempo y que los poros se encuentren llenos de agua, el espécimen debe ser removido y se procede a eliminar el agua superficial adherida a las partículas para determinar su masa en condición saturada superficie seca. El espécimen se coloca dentro de una canasta de malla de alambre con una abertura de 3,35mm que cuelga de una balanza. Al sumergir el agregado y el recipiente donde se encuentra contenido el espécimen, la balanza indica el peso aparente del agregado sumergido. El mismo espécimen se seca al horno a una temperatura de  $110^\circ C \pm 5^\circ C$  y se determina su masa en condición seca al horno.

Las ecuaciones que relacionan los parámetros mencionados anteriormente se describen a continuación:

$$G_{bs} = \frac{W_s}{W_{sss} - W_a} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

$G_{bs}$ : gravedad específica del agregado seco.  
 $W_s$ : masa del espécimen en condición seca al horno, kg.  
 $W_{sss}$ : masa del espécimen en condición superficie saturada seca, kg.  
 $W_a$ : masa aparente del espécimen sumergido en agua, kg.

$$G_{bsss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_a} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

$G_{bsss}$ : gravedad específica en condición saturada superficie seca

$$G_{ba} = \frac{W_s}{W_s - W_a} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

$G_{ba}$ : gravedad específica aparente del agregado.

$$\% \text{ Absorción} = \left( \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 8.}$$

El cálculo de la densidad del agregado grueso se realiza multiplicando la gravedad específica del agregado y la densidad del agua a una determinada temperatura.

## Densidad, gravedad y absorción del agregado fino (INTE 06-02-34-09 y ASTM C-128)

A diferencia del procedimiento descrito en ASTM C-127 para agregados gruesos, este método de

ensayo se basa en un procedimiento gravimétrico utilizando un picnómetro. El ensayo consiste en preparar una muestra de agregado bajo la condición saturada con superficie seca, donde aproximadamente una muestra de 500g es introducida dentro de un picnómetro parcialmente lleno de agua. Luego de agitar manualmente el picnómetro, se elimina el exceso de burbujas y se procede a llenarlo con agua hasta la marca de aforo.

Luego de que el agregado fino es removido del picnómetro, se coloca dentro de un recipiente y se introduce en el horno para su secado a masa constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Las ecuaciones utilizadas en este ensayo se escriben a continuación:

$$G_{bs} = \frac{W_s}{W_{pic+agua} + W_{sss} - W_{pic+agr+agua}} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde,

$G_{bs}$ : gravedad específica del agregado seco.  
 $W_s$ : masa del espécimen en condición seca al horno, g.  
 $W_{sss}$ : masa del espécimen en condición superficie saturada seca, g.  
 $W_{pic+agua}$ : masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de aforo, g.  
 $W_{pic+agr+agua}$ : masa del picnómetro lleno con la muestra y agua hasta la marca de aforo, g.

$$G_{bsss} = \frac{W_{sss}}{W_{pic+agua} + W_{sss} - W_{pic+agr+agua}} \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde,

$G_{bsss}$ : gravedad específica en condición saturada superficie seca.

$$G_{ba} = \frac{W_s}{W_{pic+agua} + W_s - W_{pic+agr+agua}} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde;

$G_{ba}$ : gravedad específica aparente del agregado.

$$\% \text{ Absorción} = \left( \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 12.}$$

El cálculo de la densidad del agregado fino se realiza multiplicando la gravedad específica del agregado y la densidad del agua a una determinada temperatura.

## Peso unitario y vacíos en agregados (INTE 06-02-21-08 y ASTM C-29)

El peso unitario de un agregado se define como la masa requerida de material para ocupar un volumen unitario, en el cual dicho volumen incluye tanto el de las partículas individuales como el de los vacíos entre las partículas. Este ensayo permite determinar el peso volumétrico suelto o compactado (varillado) de los agregados, tanto en la condición seca como en la condición saturada con superficie seca, para la cual, se requiere conocer el porcentaje de absorción del agregado.

El volumen mínimo del recipiente a utilizar para determinar el peso unitario estará condicionado al tamaño máximo nominal del agregado, donde la cantidad necesaria de material a utilizar debe ser de un volumen entre el 125% al 200% mayor al volumen del recipiente seleccionado.

El porcentaje de vacíos del agregado se determina según el método de prueba seleccionado y se requiere conocer el valor de la gravedad específica obtenida a partir de los métodos de ensayo descritos en ASTM C-127 y ASTM C-128 para agregados gruesos y agregados finos correspondientemente.

Las ecuaciones que relacionan los parámetros mencionados anteriormente se describen a continuación:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_{rec}} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

$\gamma_s$ : peso unitario suelto o compactado del agregado en condición seca al horno,  $\text{kg/m}^3$ .

$W_s$ : masa seca de agregado contenida en el recipiente, kg.

$V_{rec}$ : volumen del recipiente de medida,  $\text{m}^3$ .

$$\gamma_{sss} = \gamma_s * \left(1 + \frac{A}{100}\right) \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

$\gamma_{sss}$ : peso unitario suelto o compactado del agregado condición superficie saturada seca,  $\text{kg/m}^3$ .

A: porcentaje de absorción del agregado, %.

$$\% \text{ vacíos} = 100 * \frac{[(G_{bs} * \rho_{agua}) - \gamma_s]}{G_{bs} * \rho_{agua}} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

%vacíos: porcentaje de vacíos en el agregado según el método de prueba seleccionado (suelto o compactado), %.

$G_{bs}$ : gravedad específica del agregado en condición seco al horno.

$\rho_{agua}$ : densidad del agua a una determinada temperatura,  $\text{kg/m}^3$ .

## Impurezas orgánicas en agregado fino (INTE 06-02-22:2009 y ASTM C-40)

El agregado fino que se utiliza en la elaboración de mezclas de concreto debe estar libre de impurezas orgánicas en cantidades que sean perjudiciales, ya que de lo contrario el proceso de hidratación del cemento se puede ver alterado, afectando, consecuentemente, el desarrollo de la resistencia del concreto. Un ensayo cualitativo que permite determinar la presencia de contenido orgánico en el agregado fino, tal como restos vegetales y tejidos animales, es la prueba colorimétrica utilizando una solución de hidróxido de sodio.

La prueba consiste en colocar en el interior de unas botellas de vidrio claro y transparente un determinado volumen de agregado fino, añadiendo seguidamente una solución de hidróxido de sodio al 3% en un volumen ligeramente mayor que el del agregado fino. Se tapa la botella y se agita vigorosamente de forma tal que la solución se mezcle completamente con todas las partículas y se deja reposar. Al cabo de 24 horas, se observa la



intensidad de coloración de la solución que está por encima de la arena y se compara a trasluz con un color patrón que puede generarse elaborando una solución de dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado en una relación de 0.250 g/100 ml de ácido y reportar si el color del líquido por encima de la muestra de arena es más claro, más oscuro o igual al color de la solución del color patrón. También, puede compararse con una placa orgánica de colores; la cual contiene 5 vidrios de colores estándar montados en un plato perforado de tonos que van de amarillo claro a café oscuro y numeradas del 1 (más claro) al 5 (más oscuro) y cuyo color patrón es el color N° 3; en este caso se reporta cuál de los cinco vidrios de color estándar es más cercano al de la muestra.

## **Efecto de las impurezas orgánicas en el agregado fino sobre la resistencia del mortero (ASTM C-87)**

A través del ensayo de colorimetría, se puede determinar, de forma cualitativa, la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino. Pero en algunos casos, las sustancias perjudiciales presentes en el agregado pueden no ser dañinas. Esto se puede corroborar ejecutando el ensayo descrito en la norma ASTM C-87.

Los agregados finos sometidos a esta prueba son aquellos que al ser ensayados bajo el procedimiento descrito en la norma ASTM C-40 presentan una coloración más oscura que el color patrón o de referencia. El ensayo parte con la obtención de una porción de agregado fino que produce un color más oscuro que el color estándar en la prueba de colorimetría y es utilizada para fabricar especímenes cúbicos de mortero. Otra porción del mismo agregado es lavada en una solución de hidróxido de sodio para eliminar las impurezas orgánicas. Una vez obtenida la porción limpia de agregado fino, esta se utiliza para fabricar otro grupo de especímenes cúbicos de mortero. Luego de curar los dos grupos de cubos de mortero, estos son sometidos a la prueba de compresión y se compara la resistencia del mortero elaborado con agregado fino limpio y con agregado fino contaminado.

Así, el agregado fino será aceptado para la elaboración de mezclas de concreto si la relación entre la resistencia de los cubos que contengan agregado sin lavar y la resistencia de los cubos que contenga arena lavada es como mínimo de un 95% según lo estipula la norma ASTM C-33 y el Decreto N° 10854-MEIC titulado Norma Oficial de Especificaciones para los Agregados Finos y Gruesos para Concreto.

## **Partículas fracturadas en el agregado grueso (ASTM D-5821)**

Algunas especificaciones contienen requisitos relativos al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Un propósito de tales requisitos es maximizar la resistencia al corte por aumento de la fricción entre las partículas dependiente o independiente de cualquier mezcla de agregado. Otro fin es proporcionar estabilidad para el tratamiento de superficies de agregados y para brindar una mayor fricción y textura de los agregados utilizados en las superficies del pavimento. Este método suministra un procedimiento para determinar la aceptabilidad del agregado grueso con respecto a tales requisitos.

Este método de ensayo se utiliza para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, ya sea por masa o por conteo de partículas, según lo indiquen las especificaciones. El ensayo parte de una muestra de agregado grueso la cual debe ser lavada con el objetivo de eliminar cualquier resto de material fino. Luego de que la muestra es tamizada sobre el tamiz de 4.75mm o menor, el material retenido es separado en porciones de agregado utilizando un separador mecánico y se obtienen las fracciones de material seco de una masa mínima de 200g. Posteriormente se procede a determinar la masa o el conteo de partículas en cada una de las porciones según el criterio de fractura definido en las especificaciones, ya sea una o más caras fracturadas o el criterio de dos o más caras fracturadas.

El porcentaje de caras fracturadas, de acuerdo con el criterio de fractura especificado, se determina de conformidad con la siguiente ecuación:

$$P = \left( \frac{F}{F + N} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F = masa o el recuento de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas, y

N = masa o el conteo de partículas en la categoría de no fracturadas y que no cumplan los criterios de partículas fracturadas.

## Determinación por lavado del material más fino que el tamiz de 75µm (ASTM C-117)

Los agregados deben cumplir una serie de requisitos para su uso, entre los cuales se debe cumplir que estos sean partículas limpias, libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento

El material más fino que el tamiz de 0,075mm (N° 200) puede ser separado de partículas mayores, de manera más eficiente, por tamizado en húmedo que por tamizado en seco. Por lo tanto, cuando se desee una determinación más exacta de la cantidad de material más fino que 0,075mm en agregados finos o gruesos, este método de ensayo debe utilizarse en la muestra antes del tamizado en seco especificado. Los resultados de este método de ensayo son incluidos en los cálculos del análisis granulométrico y la cantidad total de material más fino que 0,075mm por lavado, más el obtenido por tamizado en seco del mismo espécimen, se reporta como el resultado de la cantidad de material pasando el tamiz de 0,075mm. Usualmente, la cantidad adicional de material más fino que 0,075mm obtenido en el proceso de tamizado en seco es una cantidad pequeña. Si esta fuera grande, la eficiencia de la operación de lavado debe ser revisada. Este resultado puede

ser, también, una indicación de la degradación del agregado.

El procedimiento consiste en seleccionar una muestra de agregado, la cual es lavada utilizando agua libre de impurezas o agua que contenga un agente humectante, cuando se especifique. El agua de lavado decantada, la cual contiene material suspendido y disuelto, se pasa a través de un tamiz de 0,075mm (N° 200). La pérdida en masa que resulta del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa del espécimen original y se informa como el porcentaje de material más fino que el tamiz de 0,075mm (N° 200) por lavado.

## Incertidumbre en las Mediciones

El objetivo de una medición, consiste en determinar el valor de la magnitud específica a medir, denominada mesurando. Durante la realización de una medición intervienen una serie de factores que determinan su resultado, entre los cuales están:

- Objeto de la medición.
- Procedimiento de medición.
- Instrumentos de medición.
- Ambiente de medición.
- El observador.
- El método de cálculo.

Se define la incertidumbre como un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza el intervalo de valores que puede ser razonablemente atribuido al mesurando, donde el mesurando corresponde a la propiedad sujeta a medición. El concepto de incertidumbre, da una idea de la calidad del resultado, ya que determina un intervalo alrededor del valor estimado dentro del cual se encuentra el valor considerado como "verdadero".

En la estimación de toda la incertidumbre, puede ser necesario tomar cada fuente de incertidumbre y tratarla separadamente para obtener la contribución de cada fuente. Cada una de las contribuciones es referida como una componente de la incertidumbre, donde es posible evaluar el efecto combinado de varias

componentes para definir así la incertidumbre total.

Para el cálculo de la incertidumbre asociada a la medición, se debe considerar la división de la escala del equipo utilizada y se calcula la incertidumbre a un 68% de confiabilidad como:

$$u_{68\%} = \frac{\text{DivisiónEscala}}{2\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 17.}$$

La incertidumbre asociada al número de mediciones se calcula con base en el número de observaciones (n), en la desviación estándar ( $S_x$ ) de las observaciones y a los grados de libertad (k), calculados como:

$$k = n - 1 \quad \text{Ecuación 18.}$$

Mediante los grados de libertad, es posible obtener la  $t_{\text{student}}$ . Una vez calculado dicho parámetro, se calcula la incertidumbre asociada al número de observaciones mediante la siguiente relación:

$$u = \left( \frac{S_x}{\sqrt{n}} \right) * t_{\text{student}} \quad \text{Ecuación 19.}$$

La incertidumbre total se calcula como la combinación de la incertidumbre calculada en las ecuaciones 17 y 19.

$$u_F = \sqrt{(u_{68\%})^2 + \left( \left( \frac{S_x}{\sqrt{n}} \right) * t_{\text{student}} \right)^2} \quad \text{Ecuación 20.}$$

# Metodología

La metodología aplicada para el desarrollo de este proyecto parte de la lectura de la Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración, con el propósito de comprender los requisitos que los laboratorios de ensayo deben cumplir para evidenciar que son técnicamente competentes y capaces de desarrollar resultados técnicos válidos.

Posteriormente, se procedió a recopilar las normas INTECO y ASTM donde se describen los procedimientos para los ensayos de laboratorio seleccionados por el Departamento de Calidad, tanto para el área de concreto de cemento hidráulico como para el área de agregados pétreos

A partir de la recopilación de las normas, del estudio y de la clara comprensión de los métodos de ensayo, se inició el proceso de diseño de los instructivos técnicos con un formato similar al establecido en las normas.

Luego, se continuó con el diseño de los formularios técnicos, utilizando la herramienta Microsoft Excel, para cada uno de los métodos de ensayo, los cuales fueron diseñados de tal manera que permitan un adecuado registro de los datos obtenidos. Estos formularios, al ser diseñados en un programa computacional, fueron transformados a hojas de cálculo, mediante la programación de estos, con el objetivo de brindar una mayor facilidad en cuanto al procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio.

Se hizo necesario, además, el diseño de formularios para la verificación de algunos de los equipos de laboratorio de manera que se utilicen para identificar todo aquel equipo que se encuentre fuera de las tolerancias que exigen los diferentes métodos de ensayo, así como de constatar evidencia documental de que la institución cuenta con equipos de laboratorio de acuerdo con las exigencias de la normativa vigente.

Una vez completada la documentación técnica para los ensayos de laboratorio

seleccionados, se hizo necesaria la elaboración de un registro para evidenciar las acciones de verificación y calibración de equipos y un instructivo donde se definieron los procedimientos a seguir para el control tanto de los equipos que actualmente están en uso como de los equipos nuevos que adquiriera la institución.

Además, como punto final de esta práctica profesional dirigida, se diseñaron los diferentes planes de validación de métodos de ensayo para agregados pétreos y concreto hidráulico, los cuales están diseñados para llevar a cabo las acciones que permitan verificar requisitos particulares de ejecución de los métodos de ensayo y que permitan evaluar, de manera fiable, los límites de precisión definidos en los métodos normalizados.

## Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005

La acreditación es un proceso de atestiguamiento por parte de una tercera persona, en el cual, se demuestra formalmente la competencia de un organismo para realizar sus actividades así como la evaluación de la conformidad del cumplimiento de cada uno de los requisitos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

Esta norma, se estableció como una guía de referencia para todos aquellos laboratorios que realizan actividades de ensayo y/o calibración y que desean acreditar sus actividades. Los laboratorios que cumplen los requisitos mencionados en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005 son capaces de demostrar que el laboratorio:

1. Implementa un sistema de gestión de calidad que le permite administrar y utilizar la documentación del laboratorio, tanto de gestión como técnica.

2. Demuestra competencia técnica del personal, de las instalaciones, de las condiciones ambientales requeridas, de los métodos de ensayo y del equipo utilizado.
3. Es capaz de producir resultados de ensayo confiables mediante la implementación de programas de aseguramiento de la calidad, a fin de generar resultados técnicamente válidos.

Los diversos procesos en los que se ve involucrado un laboratorio, tales como el control, la comunicación, la seguridad, los materiales, el personal, los datos, la documentación, las muestras, las instalaciones, los métodos de ensayo y los equipos utilizados, son factores claves y esenciales en los que radica esta norma internacional y puntos primordiales bajo los cuales se basa el proceso de acreditación.

La implementación de un Sistema de Gestión de Calidad debe ser una decisión estratégica que una determinada organización incorpore y su documentación e implementación debe responder a las características, objetivos y necesidades de dicha organización. La norma INTE-ISO/IEC 17025:2005 describe los requisitos bajo los cuales se debe regir un laboratorio para establecer su propio Sistema de Gestión de Calidad.

Uno de esos requisitos responde a los Requisitos de Gestión, los cuales están relacionados con la gestión de la calidad del laboratorio mediante un enfoque de satisfacción del cliente, atendiendo sus necesidades de manera coherente y sostenida. Los requisitos a los cuales la norma antes mencionada hace referencia, se enumeran a continuación:

1. Organización.
2. Sistemas de calidad.
3. Control de documentos.
4. Revisión de los pedidos, ofertas y contratos.
5. Subcontratación de ensayos y calibraciones.
6. Compras, servicios y suministros.
7. Servicio al cliente.
8. Quejas.
9. Control de trabajos no conformes.
10. Mejora.
11. Acciones correctivas.
12. Acciones preventivas.

13. Control de registros.
14. Auditorías internas.
15. Revisiones por la dirección.

Otro de los requisitos mencionados, son los Requisitos Técnicos, los cuales están dirigidos a aquellos factores que, para el caso de un laboratorio, contribuyen a la exactitud, fiabilidad y validez de los ensayos que realiza. Dichos requisitos se enumeran a continuación:

1. Personal.
2. Instalaciones y condiciones ambientales.
3. Métodos de ensayo, calibración y validación de métodos.
4. Equipo.
5. Trazabilidad de las mediciones.
6. Muestreo.
7. Manipulación de objetos de ensayo y calibración.
8. Aseguramiento de la calidad de los resultados.
9. Informe de ensayo.

Cada uno de los requisitos, tanto de gestión como técnicos, mencionados anteriormente, deben ser claramente documentados por parte de la organización y se debe velar por su revisión continua con el objetivo de mejorar la implementación de los documentos del Sistema de Gestión de Calidad.

Asimismo, otro punto que establece la norma, consiste en la validación de métodos. Esta norma, en el inciso 5.4.5.1, define que "La validación, es la confirmación, a través del examen y el aporte de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto"

Los métodos de ensayo que ejecuta un laboratorio deben ser validados, ya sea métodos normalizados, métodos que diseñe el laboratorio o bien métodos no normalizados. El objetivo de la validación es demostrar que el laboratorio es apto y competente en la ejecución de un método de ensayo y es de suma importancia dentro de un programa para garantizar la calidad.

Debido a la gran cantidad de documentos que exige esta estructura de trabajo, la información debe ser documentada adecuadamente, de tal manera que permita demostrar eficiencia, planificación, operación, control y una mejora continua del Sistema de Gestión de Calidad. Documentos tales como:

política de calidad, manuales de calidad, procedimientos, instructivos de trabajo, formularios, especificaciones, registros, documentos externos, etc.

Producto de ello, se vuelve indispensable, como así lo dicta la norma, la elaboración de un procedimiento donde se establezcan las pautas a seguir para garantizar el adecuado control de la documentación, donde cada documento se encuentre identificado unívocamente.

Cada uno de los elementos que forman parte del Sistema de Gestión de Calidad deben ser evaluados para verificar su conformidad. Para ello, la norma hace referencia a las auditorías internas y externas. Aunque ambas tienen su atención en el control interno como punto de partida, una auditoría interna es realizada por la propia institución con el objetivo de obtener evidencias y evaluarlas de manera objetiva para determinar la conformidad o la no conformidad del cumplimiento de las pautas del Sistema de Gestión de Calidad ante una evaluación a través de una auditoría externa.

Una auditoría externa consiste en una evaluación de los procedimientos, la cual es realizada por una tercera persona, independiente de la institución. El Ente Costarricense de Acreditación (ECA) es el encargado de realizar las auditorías externas y se encarga de acreditar una vez que se haya dictado la conformidad de los procedimientos.

Se puede decir entonces que una auditoría interna es la preparación para recibir a una auditoría externa, y debe realizarse con el objetivo de verificar con anterioridad algún hallazgo que pueda dictar la no aprobación de los procedimientos por parte del ECA y así tomar las acciones correctivas que sean necesarias.

Así, el ECA se constituye como un organismo con autoridad para llevar a cabo el proceso de acreditación, cuya misión es respaldar la competencia técnica y credibilidad de los entes acreditados, garantizar la confianza en el Sistema Nacional de la Calidad y de asegurar que los entes acreditados mantengan la calidad bajo la cual fue reconocida su competencia técnica.

## Instructivos Técnicos

Uno de los objetivos de esta práctica profesional consistió en la elaboración de un conjunto de instructivos técnicos para ensayos de laboratorio tomando como referencia las normas publicadas por ASTM e INTECO.

Para el área de concreto hidráulico, se elaboraron 8 documentos los cuales se mencionan a continuación:

1. Muestreo de Concreto de Recién Mezclado (INTE 06-01-05:2011 y ASTM C-172).
2. Determinación de la Temperatura del Concreto recién Mezclado (INTE 06-02-06:2012 y ASTM C-1064).
3. Determinación del Revenimiento en el Concreto de Cemento Hidráulico (INTE 06-02-03:2011 y ASTM C-143).
4. Determinación del Contenido de Aire en el Concreto Fresco por el Método de Presión (INTE 06-02-04:2010 y ASTM C-231).
5. Hacer y Curar Especímenes de Concreto para Ensayo en Campo (INTE 06-01-08:2011 y ASTM C-31).
6. Hacer y Curar Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio (INTE 06-01-07:2012 y ASTM C-192).
7. Determinación de la Resistencia a la Compresión Uniaxial en Especímenes Cilíndricos de Concreto (INTE 06-02-01-06 y ASTM C-39).
8. Determinación del Esfuerzo a Flexión del Concreto (INTE 06-02-08-06 y ASTM C-78).

Para el área de agregados pétreos se elaboraron un total de 12 documentos, los cuales se citan a continuación:

1. Toma de Muestras de Agregados en Campo (INTE 06-02-32-09 y ASTM D-75).
2. Reducción de Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo (INTE 06-02-25:2010 y ASTM C-702).

3. Determinación del Contenido de Humedad en Suelos y Agregados (ASTM D-2216).
4. Peso Unitario y Vacíos en el Agregado (INTE 06-02-21:08 y ASTM C-29).
5. Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (INTE 06-02-33-09 y ASTM C-127).
6. Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (INTE 06-02-34-09 y ASTM C-128).
7. Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos (INTE 06-02-09-07 y ASTM C-136).
8. Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos Utilizando la Máquina de los Ángeles (INTE 06-02-27-09 y ASTM C-131).
9. Determinación de Forma Cualitativa de la Presencia de Impurezas Orgánicas en Agregados Finos (INTE 06-02-22-09 y ASTM C-40).
10. Efecto de las Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino sobre la Resistencia del Mortero (ASTM C-87).
11. Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso (ASTM D-5821).
12. Determinación, por Lavado, del Material más Fino que el Tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N°200) en Agregados Minerales (ASTM C-117).

Cada uno de los documentos elaborados describe las instrucciones y detalla los procedimientos a seguir para la realización de un ensayo de laboratorio. Las normas utilizadas como referencia para la elaboración de los instructivos técnicos fueron las normas publicadas por ASTM e INTECO, como así lo estableció el Departamento de Calidad del CONAVI.

Para la elaboración de dichos documentos, no solo bastó con tener las normas como referencia, sino que, para estructurar un documento más conciso, se llevó a cabo tres metodologías: la primera, estudiar a profundidad cada norma para comprender su objetivo, su procedimiento y los resultados esperados, la segunda, consistió en observar la ejecución del ensayo por parte de los técnicos del laboratorio del CONAVI y la tercera consistió en la realización del ensayo por cuenta propia en el Laboratorio del Centro de Investigación en

Vivienda y Construcción (LabCIVCO) ubicado en el Tecnológico de Costa Rica, bajo la supervisión de los técnicos especializados de dicho laboratorio.

Además, cabe aclarar que para diseñar el formato de los instructivos técnicos, se tomó como referencia el formato establecido en la documentación técnica utilizada por el LabCIVCO.

## Estructuración de Instructivos Técnicos

Debido a que el Departamento de Calidad del CONAVI carece, dentro de su Sistema de Gestión, de un apartado referente a los procedimientos para la ejecución de los ensayos, se procedió a estructurar los instructivos técnicos con un formato muy similar al establecido en las normas ASTM e INTECO.

Los instructivos se estructuraron de la siguiente forma:

- *Alcance*  
En este apartado se presenta el (los) objetivo(s) general(es) del ensayo.
- *Documentos de Referencia*  
Se refiere a los documentos externos e internos utilizados como referencias para la elaboración del documento.
- *Terminología*  
Consiste en la definición de términos clave utilizados dentro del documento.
- *Resumen del Método*  
Consiste en una breve descripción del procedimiento de ensayo por realizar.
- *Significado y uso*  
En este apartado, se hace referencia a la aplicación práctica que tiene el ensayo y sus resultados.
- *Seguridad*  
Hace referencia al equipo de seguridad que se debe implementar al ejecutar la prueba.
- *Responsabilidad*  
En este apartado se menciona la obligación de utilizar e implementar el documento, así como la responsabilidad de los técnicos de registrar correctamente los datos obtenidos en el ensayo.
- *Equipo*  
En esta sección, se mencionan los equipos de medición por utilizar en el ensayo y una breve descripción de estos.

- *Procedimiento*  
Se presentan en forma detallada los pasos a seguir en la realización de la prueba.
- *Cálculos*  
Se describen las ecuaciones a utilizar para la obtención de los resultados.
- *Reporte*  
Se hace referencia a la hoja de registro de toma de datos utilizada para anotar las mediciones obtenidas del laboratorio.
- *Precisión*  
En esta sección, se presentan los criterios de aceptación del ensayo.

Se debe considerar que cada uno de los rubros citados anteriormente son parámetros mínimos que debe contener cada instructivo técnico. Algunos documentos, además de los puntos citados anteriormente, incluyen el apartado de calibración del equipo que se utiliza en la prueba así como el apartado de preparación de la muestra y el espécimen para elaborar el ensayo.

## Instructivo técnico para el control de equipos

El laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI carece de políticas y procedimientos para el control metrológico (calibración, verificación y mantenimiento preventivo) de los equipos de medición. Ante esta situación, se hizo indispensable la elaboración de un instructivo adicional.

Este instructivo se diseñó con el objetivo de establecer el procedimiento técnico para el control de los equipos de medición utilizados en el laboratorio de ensayos del CONAVI.

Así, los procedimientos descritos en este instructivo, son aplicables para el control de los equipos de medición desde su compra, puesta en servicio, calibración, verificación, reparación, rechazo y hasta el fin de su vida útil.

Este instructivo se estructuró de la siguiente forma:

- *Objetivo*  
Se define cuál es el propósito del aseguramiento metrológico.

- *Alcance*  
Se define el ámbito de aplicación de los procedimientos definidos.
- *Responsabilidades*  
Hace referencia al personal encargado de verificar que los procedimientos se cumplan.
- *Terminología*  
Consiste en la definición de términos clave utilizados dentro del documento.
- *Especificaciones*
  - ✓ Adquisición de equipos nuevos.
  - ✓ Equipos en uso.
  - ✓ Equipos defectuosos.
  - ✓ Reparación de equipos defectuosos.
  - ✓ Equipos ajenos a la institución.
  - ✓ Almacenamiento y manejo de equipos.
  - ✓ Plan de aseguramiento metrológico.
  - ✓ Programa de calibración y verificación.
  - ✓ Estado de los equipos de medición.
  - ✓ Registros de calibración y verificación.
- *Diagrama de flujo*  
Este apartado muestra una descripción gráfica del proceso de control metrológico.

## Hojas de Registro de Toma de Datos

Las hojas de registro para la toma de datos son documentos que permiten anotar toda la información concerniente a la ejecución de un ensayo y de sus medidas directas.

Los registros se elaboraron bajo un formato idéntico al formato establecido para las hojas de cálculo, con el objetivo de facilitar el proceso de transferir los datos de la hoja de registro a la hoja de cálculo. Además la nomenclatura utilizada en los registros, comprende la misma nomenclatura utilizada en la elaboración de los instructivos técnicos, esto con el objetivo de que no exista una ambigüedad e incertidumbre entre los registros y los instructivos elaborados para cada ensayo.

Los instructivos técnicos hacen referencia a las hojas de registro que se deben utilizar, las cuales se encuentran debidamente codificadas. Además de las hojas de registro elaboradas para cada uno de los ensayos citados en el apartado anterior, se elaboraron las siguientes hojas de registro:



- Hoja de registro para muestreo, temperatura, revenimiento, contenido de aire y moldeo de especímenes de concreto.
- Hoja de registro para el control de especímenes de concreto dentro del laboratorio.
- Hoja de registro para el uso de almohadillas de neopreno.
- Hoja de registro para el uso de balanzas.
- Hoja de registro para el uso de hornos.
- Hoja de registro para el uso de la máquina de ensayos de resistencia a la compresión.

En cuanto a uso de los equipos, se elaboraron hojas de registro para documentar debidamente el uso de las almohadillas de neopreno, el uso de las balanzas, el uso de los hornos y el uso de la máquina de ensayo de resistencia a la compresión. Estas hojas se crearon con el propósito de llevar un control en cuanto a la cantidad de usos de los equipos de laboratorio y un registro diario de trabajos.

Además, estos registros permiten llevar un conteo de la cantidad de ensayos que se han ejecutado utilizando un determinado equipo, y así tomar dicho conteo como referencia para efectos de calibración del equipo dependiendo del número de usos en un determinado periodo de tiempo.

Además, se elaboró una hoja de registro para las acciones de verificación y calibración de los equipos de medición, con el objetivo de mantener evidencia objetiva de los procesos ejecutados y además dar un seguimiento a los equipos de medición que permita llevar un control sobre las fechas de verificación o calibración, de manera que se identifique cuál equipo está próximo a ser evaluado.

## Hojas de cálculo para ensayos de laboratorio

El laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI, ubicado en San Ramón, carece de equipo computacional, de manera tal que los datos obtenidos a partir de la ejecución de ensayos de laboratorio son entregados al personal de oficina, para que, mediante herramientas computacionales, manipulen los

datos y así se obtengan los resultados de la prueba.

Producto de ello, una deficiencia que tiene dicho laboratorio radica en que cierta parte de su personal técnico no tiene una debida capacitación en el manejo de equipo de computación. La cantidad de ensayos y pruebas que se realizan a los materiales dentro de estas instalaciones es considerable, debido a la variedad de proyectos que supervisa el CONAVI. La elaboración constante de informes y documentos obliga a crear una herramienta que permita acelerar los debidos procesos para la manipulación de datos de las pruebas de laboratorio, de manera tal, que el tiempo se aproveche al máximo y el rendimiento sea mucho mejor.

El programa Microsoft Excel ofrece una gran ayuda en la realización de cálculos, siendo relativamente fácil la comprensión de las operaciones básicas, y contando, además, con funciones estadísticas que facilitan los distintos cálculos. Dispone, además de una hoja de trabajo estándar que permite una rápida manipulación de los datos.

Las hojas de cálculo creadas utilizando dicho programa computacional fueron:

- Hoja de cálculo para el ensayo de resistencia a la compresión.
- Hoja de cálculo para el ensayo a flexión del concreto.
- Hoja de cálculo para el ensayo de humedad en suelos y agregados.
- Hoja de cálculo para el ensayo de densidad, gravedad y absorción de agregado grueso.
- Hoja de cálculo para el ensayo de densidad, gravedad y absorción de agregado fino.
- Hoja de cálculo para el ensayo de resistencia al desgaste de agregados gruesos.
- Hoja de cálculo para el ensayo de efecto de las impurezas en el agregado fino sobre la resistencia del mortero.
- Hoja de cálculo para el ensayo de pesos unitarios y vacíos de agregados.
- Hoja de cálculo para el ensayo de caras fracturadas.
- Hoja de cálculo para el ensayo de granulometría de agregados.

- Verificación de moldes cilíndricos.
- Verificación de varillas de compactación.
- Verificación del cono de revenimiento.
- Verificación del equipo medidor de aire.
- Verificación de almohadillas de neopreno.

La estructuración de las hojas de cálculo se basó en los siguientes parámetros:

- Identificación del documento: norma utilizada, número de consecutivo, versión de documento, fecha de emisión, última revisión, código de identificación del documento, etc.
- Información general del proyecto: nombre del proyecto, nombre del laboratorio, encargado del muestreo, código de proyecto, tipo de estructura, estación, procedencia del material, identificación de la muestra, etc.
- Descripción y características del material ensayado.
- Datos iniciales, los cuales fueron documentados en las hojas de registro.
- Cálculo automático de diferentes parámetros a través de fórmulas debidamente programadas.
- Resultado final del ensayo y su cumplimiento de acuerdo con criterios de aceptación en caso que aplique.
- Cálculo del coeficiente de variación e incertidumbre, siempre y cuando aplique.
- Observaciones.
- Autorización de informe de ensayo: encargado de su elaboración y del ingeniero responsable.
- Sello del departamento.

Cabe destacar que cada una de las hojas de cálculo elaboradas para los distintos ensayos de laboratorio, no solo están estructuradas de manera tal que permitan obtener el resultado de la prueba, sino que, el formato que se estableció a dicho documento permite obtener una información completa del ensayo, desde el muestreo del material hasta la obtención del resultado final, incluyendo toda la información de forma muy detallada, por lo que dicho documento se utilizará además como un informe de ensayo, puesto que el Departamento de Calidad del CONAVI debe enviar constantemente informes de cada proyecto que supervisa.

Además, las hojas de cálculo se diseñaron de manera tal que se distinga entre los datos de entrada y los datos de salida. Definiendo datos de entrada como los datos de las mediciones directas de los ensayos y como datos de salida a las mediciones indirectas que provienen de un cálculo. Las celdas que hacen referencia a los datos de entrada se identifican por medio de color celeste y las celdas que hacen referencia a datos de salida son celdas programadas que se identifican por medio de color blanco. Esta metodología se aplicó para evitar confusiones en el momento de transferir los datos de la hoja de registro a la hoja de cálculo. Además, como forma de seguridad, se decidió bloquear las celdas programadas, con el propósito que las hojas de cálculo no sufran modificaciones producto de errores cuando se da su manipulación.

## Verificación de equipos

Se elaboraron un conjunto de hojas de cálculo que permitieran verificar que los equipos utilizados para ensayos en concreto hidráulico cumplieran con las dimensiones y tolerancias mínimas establecidas en las normas ASTM e INTECO. Las hojas de cálculo se elaboraron para llevar a cabo pruebas de verificación sobre las dimensiones de los equipos, de manera tal que permitan la aportación de pruebas objetivas de que se cumple con los requisitos establecidos por la normativa vigente. Además, cada hoja de cálculo contiene un apartado que permite el cálculo de la incertidumbre de los instrumentos utilizados para las mediciones. Las hojas de cálculo para la verificación de equipos se elaboraron principalmente para:

- Verificación de moldes cilíndricos: se verifica que el diámetro superior, el diámetro inferior, la altura y la perpendicularidad del plano respecto al eje cumple con las tolerancias indicadas en la norma.
- Verificación de varillas de compactación: se verifica el diámetro y la longitud de la varilla.

- Verificación del molde de revenimiento: se verifica el diámetro superior, el diámetro inferior, la altura y el espesor.
- Verificación del equipo medidor de aire: se verifica el volumen del recipiente, las graduaciones del manómetro y la marca de presión inicial.
- Verificación de almohadillas de neopreno: se verifica el espesor y la presencia de fisuras.
- Incertidumbre en las mediciones: cálculo de incertidumbre en la medición, específicamente para vernier y balanzas digitales.

## Hoja de cálculo para la verificación de moldes cilíndricos

El diseño de la hoja de cálculo para la verificación de los moldes cilíndricos se basó en la revisión de las dimensiones de los moldes. Se planteó la verificación de los diámetros superior e inferior promedio, la altura promedio y la perpendicularidad del plano del molde respecto a su eje. El diámetro superior e inferior se calcula como el promedio de dos mediciones, una en dirección perpendicular a la otra. La altura se determina como el promedio de dos mediciones en lados opuestos del molde. Dichas mediciones se realizan mediante un pie de rey o vernier digital con una incertidumbre definida mediante las ecuaciones mencionadas en el marco teórico, específicamente en el apartado *Incertidumbre en Mediciones*. La perpendicularidad del molde respecto al plano se calcula utilizando el equipo citado anteriormente. Una vez que se obtienen dichos parámetros, se verifica que los diámetros superior e inferior se encuentren dentro de una tolerancia de  $150 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , la altura dentro de una tolerancia de  $300 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$  y la perpendicularidad del molde dentro de una tolerancia de 3 mm.

## Hoja de cálculo para la verificación de varillas de compactación

La hoja de cálculo para la verificación de las varillas de compactación, utilizadas para el

moldeo de cilindros y para la prueba de revenimiento, se elaboró con base en la revisión del diámetro y de la longitud. Tanto el diámetro como la longitud de la varilla se calculan como el promedio de cuatro mediciones individuales. Una vez que se obtienen dichos parámetros, se verifica que el diámetro se encuentre en una tolerancia de  $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  y que la longitud de la varilla sea de 400 mm a 600 mm. Dichas mediciones se realizan mediante un pie de rey o vernier digital y una cinta métrica. Igualmente se determina la incertidumbre en las mediciones.

## Hoja de cálculo para la verificación del cono de Abrams

La hoja de cálculo para la verificación del cono de Abrams, se diseñó con base en la revisión de los diámetros superior e inferior, del espesor y de la altura. Cada uno de estos parámetros es calculado como el promedio de cuatro mediciones individuales y se verifica que los diámetros superior, inferior y la altura se encuentren dentro de una tolerancia de  $100 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ ,  $200 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ ,  $300 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  respectivamente y que el espesor del molde sea mayor a 1,5 mm. Dichas mediciones se realizan mediante un pie de rey o vernier digital. De igual manera se determina la incertidumbre en las mediciones.

## Hoja de cálculo para la verificación del medidor de aire.

Para la elaboración de esta hoja de cálculo, se consideró la medida del diámetro y de la altura del molde como el promedio de cuatro mediciones individuales. Se verifica que el diámetro del molde cumpla con el diámetro mínimo que establece la norma y que debe ser como mínimo de 0,75 veces la altura del molde. Para la verificación de la capacidad del molde, se procede a llenarlo con agua, se determina el peso del agua contenido en el molde y se calcula el volumen del molde como:

$$V_{\text{molde}} = \frac{W_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}(23^{\circ}\text{C})}} \quad \text{Ecuación 21.}$$

Donde,

$V_{\text{molde}}$ : volumen del recipiente ( $\text{m}^3$ )  
 $W_{\text{agua}}$ : peso del agua que contiene el recipiente (g)  
 $P_{\text{agua}}$ : densidad del agua a  $23^\circ\text{C}$ . ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

El volumen calculado se compara el volumen mínimo establecido por la norma que debe ser de al menos  $0,006 \text{ m}^3$ . Para verificar la calibración de las graduaciones de contenido de aire en el manómetro, se realiza el ensayo de contenido de aire pero con el recipiente lleno de agua. Utilizando el vaso de calibración, se extrae una cantidad de agua a través de una de las llaves de purga y se determina el peso del agua en el vaso de calibración. La cantidad de agua que se extrae será el reflejo del porcentaje real de aire que contiene el recipiente. Deberá ser calculado como:

$$\% \text{ Aire} = \frac{w}{W} * 100 \quad \text{Ecuación 22.}$$

Donde,

%Aire: porcentaje real de aire contenido en el recipiente.

w: peso del agua contenido en el vaso de calibración (g).

W: peso del agua necesario para llenar el recipiente de medida (g)

Una vez que el contenido real de aire es calculado, se ejecuta nuevamente el ensayo de contenido de aire, pero ahora el recipiente contiene una cantidad de agua menor, ya que cierto volumen fue retirado utilizando el vaso de calibración. La determinación del contenido de aire en el manómetro no debe variar por más de un 0,1% con respecto al porcentaje de aire real determinado utilizando la ecuación 22.

Para verificar la marca de presión inicial, el recipiente se llena completamente de agua y se extrae todo el aire contenido dentro este. Al ejecutar el ensayo, el resultado de contenido de aire debe ser de un 0%, con un máximo permitido de hasta un 0,1%.

## Hoja de cálculo para la verificación almohadillas de neopreno.

Esta hoja de cálculo se utiliza para verificar el espesor de las almohadillas de neopreno. Se consideró la medida del espesor como el promedio de cuatro mediciones individuales. El resultado debe estar dentro de la especificación de  $13 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . Además, deberá registrarse la presencia o no de fisuras. Dichas mediciones se realizan mediante un pie de rey o vernier digital. De igual manera, se determina la incertidumbre en las mediciones.

## Plan de validación

Como complemento a la documentación técnica elaborada, se desarrolló un conjunto de documentos adicionales que describen los planes de validación para métodos de ensayo en el área de concreto hidráulico y de agregados pétreos para el Laboratorio del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (*LabCIVCO*) del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta documentación es de suma importancia, ya que la validación de un método de ensayo se considera un requisito primordial cuando se desea obtener resultados técnicamente válidos, exactos y confiables.

La validación de un método es necesaria, ya que permite conocer los parámetros de desempeño de un método determinado y proporciona un alto grado de confianza y seguridad en el método y en los resultados que se obtienen al aplicarlo.

Un proceso de acreditación ante el ECA, de acuerdo con los lineamientos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, no únicamente supone verificar el cumplimiento de la norma en cuanto a sus aspectos de gestión, sino que además, se vuelve necesario confirmar la capacidad del laboratorio para emitir resultados confiables y precisos.

La calificación de que un método de ensayo sea adecuado para su uso, es una garantía de que la influencia de cada uno de los métodos, definidos en los instructivos técnicos, sobre el resultado de la medición, se encuentra bajo control y que el laboratorio es lo suficientemente competente para emitir resultados técnicamente válidos.

La validación de un método de ensayo se puede interpretar como el proceso de definir un requisito y confirmar que el método de ensayo bajo consideración tiene capacidades de desempeño consistentes con respecto a lo que el

procedimiento requiere. Además, cuando se habla de validación de un método es necesario llevar a cabo pruebas de desempeño utilizando equipos que se encuentren trabajando correctamente dentro de su especificación y que se encuentren adecuadamente calibrados. Igualmente, el experimentador que lleva a cabo los ensayos debe ser una persona competente para dicho fin y tener conocimiento suficiente sobre los procedimientos relativos a la ejecución de los ensayos.

Según la publicación del ECA “Guía para la validación de métodos ECA-MC-PO01-G01” establece que la validación de un procedimiento se basa en:

- Determinar los parámetros de desempeño.
- Establecer los criterios de aceptación para evaluar los parámetros de desempeño.
- Evaluación de los resultados de la validación por comparación de los parámetros de desempeño obtenidos con los criterios establecidos previamente ya sea por comparación directa o por la aplicación de métodos estadísticos.
- Declaración de la conformidad del método.

Además, dicho documento resalta que para definir el alcance de una validación se pueden presentar tres situaciones:

- Situación 1: Cuando se trata de un método normalizado.
- Situación 2: Cuando se trata de una modificación a un método normalizado.
- Situación 3: Cuando se trata de un método no normalizado desarrollado en el laboratorio.

Para el caso específico de los planes de validación desarrollados para esta práctica profesional, el alcance se definió tomando como base métodos normalizados (situación 1) de acuerdo a las normas publicadas por ASTM e INTECO. El alcance de la validación para los métodos de ensayo desarrollados en el presente documento está orientado a:

- Verificación de algunos parámetros de desempeño, como mínimo: precisión

(repetibilidad y reproducibilidad) y veracidad (sesgo).

- Verificación de la estimación de incertidumbre (se determina con el equipo más crítico) y ámbito de trabajo (que es de 0-100%).
- Posibilidad para evaluar veracidad en la participación en ensayos de aptitud o rondas de comparación.

## Estructuración de los planes de validación

Los planes de validación elaborados para los ensayos en concreto hidráulico y agregados pétreos se definieron bajo un formato establecido de acuerdo al sistema de gestión de calidad establecido por el CIVCO.

Los planes de validación se estructuraron de la siguiente forma:

- *Alcance de la validación*  
Este apartado hace referencia al método de ensayo y a los parámetros de desempeño que se evaluarán.
- *Objetivos*  
Se define cual es el propósito de la validación.
- *Participantes*  
Personas que participaron en la validación del método.
- *Parámetros de desempeño*  
Este apartado hace referencia a los criterios de aceptación de acuerdo a las normas ASTM e INTECO.
- *Plan experimental*
  - ✓ Planificación de la forma en la que los técnicos ejecutarán los ensayos.
  - ✓ Cantidad de ensayos por técnico.
  - ✓ Características de los materiales a utilizar.
  - ✓ Características de los equipos para ejecutar los ensayos.
  - ✓ Metodología de comparación de los parámetros de desempeño con respecto a los resultados de la validación.
- *Informe de la validación*
  - ✓ Etapa de planificación.
  - ✓ Resultados de la validación.
  - ✓ Conclusiones.

Los planes de validación elaborados para la presente práctica profesional dirigida están orientados a métodos de ensayos normalizados para las áreas de concreto hidráulico y de agregados pétreos. Los documentos elaborados se describen a continuación:

- Plan de validación para la determinación de la temperatura, revenimiento, peso unitario y resistencia a la compresión del concreto, según los métodos normalizados ASTM C-1064 (INTE 06-02-06:2012), ASTM C-143 (INTE 06-02-03:2011), ASTM C-138 y ASTM C-39 (INTE 06-02-01-06).
- Plan de validación para la determinación de la densidad bruta (peso unitario) de agregados, según el método normalizado ASTM C-29 (INTE 06-02-21:08)
- Plan de validación para la determinación de la densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino, según el método normalizado ASTM C-128 (INTE 06-02-34:09).
- Plan de validación para la determinación de la densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso, según el método normalizado ASTM C-127 (INTE 06-02-33:09).
- Plan de validación para la determinación, por lavado, del material más fino que el tamiz de  $75\mu\text{m}$  (N° 200) en agregados minerales, según el método normalizado ASTM C-117.
- Plan de validación para la determinación de la resistencia a la abrasión de agregados gruesos utilizando la máquina de los Ángeles, según el método normalizado ASTM C-128 (INTE 06-02-27-09).

## Instalaciones del laboratorio

Las instalaciones de un laboratorio de ensayos, deben permitir que sus actividades se desarrollen de modo eficaz y seguro. La norma INTE-ISO/IEC 17025:2005, define un conjunto de requisitos que deben satisfacer tanto las

instalaciones como las condiciones ambientales de un laboratorio.

La subdivisión, la distribución y la demarcación de las áreas de trabajo, el control de los accesos, el buen estado de las instalaciones, el orden y la limpieza del laboratorio, el control adecuado de la temperatura, la humedad, el polvo, el ruido y las vibraciones es importante para el bienestar del personal, la calidad de los resultados de ensayo, el funcionamiento de los instrumentos y la seguridad en el trabajo.

El laboratorio de ensayos en materiales del CONAVI se encuentra ubicado en San Ramón, dentro del plantel MOPT. Durante las visitas realizadas a dichas instalaciones, se logró documentar evidencia del estado actual en el que se encuentra dicho laboratorio.

El estado físico de la puerta principal (figura 1 y 2) y de la puerta posterior (figuras 3 y 4) se encuentra en mal estado. Lo mismo cabe destacar de las ventanas (figuras 5 y 6) y del techo (figura 7), estructuras que se encuentran deterioradas.



Figura 1. Puerta principal, vista exterior.



**Figura 2.** Puerta principal, vista interior.



**Figura 5.** Ventana



**Figura 3.** Puerta posterior, vista exterior.



**Figura 6.** Ventana



**Figura 4.** Puerta posterior, vista interior.



**Figura 7.** Techo



**Figura 8.** Instalaciones eléctricas



**Figura 9.** Instalaciones eléctricas.

Por otra parte, las instalaciones eléctricas (figuras 8 y 9) se encuentran expuestas. Claramente se observa como el cableado eléctrico supone un riesgo para el personal del laboratorio.

Cabe destacar que, en general, el estado del laboratorio es deficiente y su mayor parte se encuentra en deterioro, además de presentar instalaciones muy descuidadas que representan un peligro inminente tanto para los técnicos como para los equipos que ahí operan.



# Resultados

## Instructivos técnicos

Los instructivos técnicos para los ensayos en el área de concreto, referentes a Muestreo, Temperatura, Revenimiento, Contenido de Aire, Elaborar y Curar Especímenes en Campo, Elaborar y Curar Especímenes en Laboratorio, Resistencia a la Compresión y Esfuerzo a Flexión se muestran en los apéndices 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 respectivamente. Los instructivos técnicos para los ensayos en el área de agregados, referentes a Toma de Muestras, Reducción de Muestras, Contenido de Humedad, Peso Unitario y Vacíos, Densidad, Gravedad y Absorción de Gruesos, Densidad, Gravedad y Absorción de Finos, Granulometría, Resistencia al Desgaste, Presencia de Impurezas Orgánicas, Efecto de Impurezas Orgánicas Sobre la Resistencia del Mortero, Caras Fracturadas y Material más Fino que el Tamiz N°200 se muestran en los apéndices 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 respectivamente. El instructivo técnico para el Control de Equipos de Laboratorio se muestra en el apéndice 21.

## Planes de validación

Los planes de validación elaborados: Determinación de la Temperatura, Revenimiento, Peso Unitario y Resistencia a la Compresión del Concreto, Resistencia a la Abrasión, Material más Fino que la malla N°200, Densidad, Gravedad y Absorción de Gruesos, Densidad, Gravedad y Absorción de Finos y Peso Unitario de Agregados se muestran en los apéndices 22, 23, 24, 25, 26, y 27 respectivamente.

## Registros de toma de datos

Los registros técnicos para el área de concreto que incluyen Muestreo, Revenimiento, Temperatura, Contenido de Aire y Moldeo, Control de Especímenes de Concreto, Resistencia a la Compresión y Esfuerzo a Flexión se encuentran en el apéndice 28.

Las hojas de registro para el área de agregados referentes Contenido de Humedad, Densidad, Gravedad y Absorción de Finos, Densidad, Gravedad y Absorción de Gruesos, Peso Unitario y Vacíos, Resistencia al Desgaste, Granulometría, Caras Fracturadas e Impurezas Orgánicas en el Agregado se muestran en el apéndice 29.

Los registros para uso de equipos: Balanzas, Hornos, Almohadillas de Neopreno y Máquina de Ensayos se adjuntan en el apéndice 30. Para la verificación de equipos: Cilindros, Equipo Medidor de Aire, Varillas de Compactación, Molde de Revenimiento y Almohadillas de Neopreno, los registros elaborados se muestran en el apéndice 31. El registro para las Acciones de Verificación y Calibración de Equipos se añade en el apéndice 32.

## Hojas de cálculo

Las hojas electrónicas diseñadas para el cálculo de resultados para los ensayos en el área de concreto, citados anteriormente, se encuentran en el apéndice 33. Asimismo, para los ensayos en el área de agregados pétreos las hojas de cálculo elaboradas se adjuntan en el apéndice 34. Para la verificación de los equipos de laboratorio antes citados, las hojas de cálculo se añaden en el apéndice 35.

# Análisis de los resultados

## Instructivos técnicos

Debido a que el CONAVI carecía de un formato, dentro de su Sistema de Gestión, para la elaboración de la documentación técnica, se tomó como punto partida definir dicho formato en función de los requisitos establecidos en la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Así, se definieron un conjunto de aspectos que los instructivos técnicos deberían contener para garantizar las exigencias definidas en la normativa vigente. El primer aspecto que se tomó en cuenta fue la codificación del documento, ya que cada instructivo debía estar unívocamente identificado, de manera tal, que cada documento se distinguiera de otro por medio de su código. Además, dentro del formato establecido, se consideró que a cada página se le debería asignar su propia numeración y su encabezado debería contener el nombre del instructivo técnico así como la designación del método normalizado al cual hace referencia. Otro punto que se consideró fue añadir un espacio para confirmar la versión en la cual se encuentra el documento. Asimismo, se agregó un apartado para establecer la fecha en la cual el documento se emitió y otro apartado para definir la fecha en la cual el documento fue revisado por última vez.

Además, en cada instructivo se diseñó un cuadro donde se indica quién fue la persona responsable de elaborar, revisar o aprobar el debido documento, con el objetivo de definir responsabilidades. Se estableció un apartado para registrar los cambios, ya que los instructivos técnicos deberán ser revisados periódicamente con el propósito de actualizar o modificar su contenido. Además, se establecieron aspectos tales como: nombre del laboratorio, nombre del departamento y el logotipo de la institución.

Como referencia para la elaboración de los instructivos técnicos para ensayos de laboratorio se utilizaron las normas publicadas

por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) las cuales son una traducción del idioma inglés al idioma español de las normas publicadas por American Standard Testing of Materials (ASTM). Pero además, para algunos casos solo fue posible la utilización de las normas ASTM, puesto que eran las únicas con las cuales se contaba.

Como complemento a la documentación se definió que cada uno de los registros elaborados debía estar contenido dentro de los instructivos, de manera tal que al momento de redactar el documento se hiciera referencia al registro respectivo que debía utilizarse según fuera el caso. Esto implicó que a cada registro, además de su nombre, se le definiera un código con el propósito de identificarlo adecuadamente dentro del documento.

Una de las grandes limitaciones presentadas en el momento de la elaboración de los instructivos, fue el desconocimiento de la ejecución de la prueba. Debido a ello, definir paso a paso el procedimiento para la ejecución del ensayo se tornó bastante complicado. No solo bastó con tener al alcance los métodos normalizados sino que se hizo necesaria la ejecución propia de los ensayos, ya que las normas dejaban muchas ambigüedades las cuales lograron subsanarse mediante el aprendizaje práctico de los ensayos en laboratorio, de manera tal que fue mucho más fácil comprender la norma y redactar el procedimiento respectivo para cada uno de los instructivos técnicos.

En varias ocasiones se acompañó a los técnicos del laboratorio del CONAVI a la ejecución de ensayos, de manera que mediante observación se fue adquiriendo un mayor conocimiento en la ejecución de las pruebas. No obstante, no bastó únicamente con observar el procedimiento sino que se hizo necesario ponerlo en práctica bajo la supervisión de una persona competente. Así, la elaboración propia de los

ensayos se ejecutó en el Laboratorio del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (LabCIVCO) bajo la custodia de los técnicos encargados de operar en dicho laboratorio. Así, se obtuvo un conocimiento más claro de los procedimientos, lo cual facilitó el desarrollo de los instructivos.

Cada uno de los instructivos técnicos realizados, fue debidamente revisado por el encargado del Departamento de Calidad del CONAVI, el cual dio el visto bueno a la documentación, más no ha sido incorporada dentro del Sistema de Gestión de Calidad, debido a la falta de interés y de iniciativa por parte de la institución de darle seguimiento al debido proceso. Ante ello, los documentos quedaron archivados de manera digital, a la espera de que los encargados del departamento consideren la incorporación de estos al Sistema de Gestión y a su puesta en marcha para que sean utilizados por el laboratorio.

La incorporación de esta documentación al ámbito de trabajo se hace indispensable. Una de las principales razones es la variabilidad con la que los técnicos ejecutan los ensayos. Ante las observaciones realizadas en el momento de la ejecución de las pruebas por parte de los técnicos, se presentaban amplias diferencias en la forma de ejecutar los ensayos. Así, la implementación de los instructivos técnicos es un proceso que debe ponerse en marcha lo más rápido posible con el propósito que los técnicos tengan a su alcance la documentación y para que trabajen y ejecuten las pruebas bajo un mismo procedimiento y no exista variabilidad y diferencias entre los distintos técnicos al momento de ejecutar un mismo ensayo.

A pesar de la falta de interés por implementar dicha documentación, se cumplió efectivamente con el objetivo de diseñar los instructivos técnicos para los ensayos en el área de concreto hidráulico y de agregados pétreos.

## **Instructivo técnico para el control de equipos**

Ante la ausencia de políticas y procedimientos para asegurar un programa de control metrológico de equipos, se realizó un documento donde se describe el procedimiento para asegurar el control metrológico de equipos. Como

punto de partida, se procedió a definir el manejo de equipos nuevos que adquiera la institución. Se tomó en cuenta que cada vez que se adquiera un equipo, este debe darse de alta en el inventario y como parte del sistema de control dicho equipo deberá incluirse dentro de un plan de calibración, verificación y mantenimiento.

Claramente, se propuso como indispensable elaborar una hoja de vida para cada uno de los equipos, donde se identifique claramente el equipo en cuestión, se incluyan las características metrológicas de este y además se identifiquen claramente sus periodos de calibración, verificación y mantenimiento. Sumado a ello, se deberá archivar toda la documentación técnica relacionada con el equipo, incluyendo manuales de operación, certificados de calibración y resultados de revisiones o verificaciones.

Antes de la puesta en servicio de cualquier equipo que adquiera la institución, este deberá ser debidamente identificado mediante un código. Asimismo, se estableció que cada equipo debería contar con una etiqueta donde se identifique la conformidad o la no conformidad del equipo para entrar en funcionamiento. Para que un equipo califique como conforme se estableció un conjunto de requisitos: que el equipo sea el especificado, que no posea daños aparentes, que el equipo funcione correctamente en sus escalas y campos, que cuente con la documentación técnica necesaria y que las características del equipo sean adecuadas para su uso previsto.

Posteriormente, se procedió respecto a los equipos en uso dentro del laboratorio. Se tomó en consideración que todos los equipos deben contar con sus respectivos registros de uso, deben estar debidamente identificados, deben contar con sus hojas de vida y sus periodos de calibración, verificación y mantenimiento bien definidos. Esto debido a que durante las visitas realizadas al laboratorio del CONAVI se evidenció claramente la no existencia de un sistema para el control de los equipos instalados dentro del recinto.

Otro punto que se analizó fue las acciones a tomar ante equipos defectuosos. Ante la evidencia que un equipo se encuentre en mal estado, tanto visualmente como a nivel operativo, debe ser comunicado de forma inmediata con el propósito de ser separado para su correspondiente reparación. Además se concluyó que todo equipo defectuoso o fuera del periodo

de calibración que permanezca dentro del laboratorio debe diferenciarse por medio de una etiqueta que indique que el equipo no es apropiado para su uso en el laboratorio.

Debido a que se evidenció que el laboratorio del CONAVI muchas veces trabaja con equipos ajenos a la institución, dentro de este instructivo se definió un apartado que establece que el personal técnico de laboratorio debe asegurarse, antes de ejecutar los trabajos, que el equipo reúna las condiciones necesarias para su uso óptimo. El técnico debe verificar que el equipo no se encuentra visualmente deteriorado, que el equipo está calibrado, que el equipo está dentro del periodo de validez de la calibración y que el equipo tiene características adecuadas para las mediciones a realizar.

Otro apartado que se definió fue en cuanto al adecuado almacenamiento de los equipos para evitar alteraciones en las características de operatividad y de exactitud. De acuerdo con la inspección visual de las instalaciones del laboratorio, no se observó algún procedimiento que este aplique para registrar las condiciones de humedad relativa y de temperatura ambiente. Tampoco se observó que se mantuviera un control de la iluminación, de las vibraciones y del polvo.

Ante las acciones de calibración o verificación de los equipos de medición del laboratorio se establecieron dos parámetros. Si el proceso de calibración o verificación resulta satisfactorio, se añadirá al equipo una etiqueta que indique que este es conforme. Dicha etiqueta debe indicar como mínimo: identificación del equipo, fecha de calibración, fecha de próxima calibración y especialista responsable. En caso contrario, si el equipo está fuera del periodo de validez de la calibración, este no podrá utilizarse y será identificado como no conforme.

Con el objetivo de registrar estas acciones, se elaboró el registro para el control de la calibración o verificación de equipos de laboratorio (CONAVI-DC-RT22-00), de manera que se dé un control y un seguimiento a los equipos de laboratorio.

La incorporación de este instructivo dentro del desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad en el CONAVI permitirá establecer los procedimientos a seguir para garantizar un adecuado manejo y control metrológico de los equipos.

## Registro de toma de datos

Las hojas de registro elaboradas tanto para los ensayos en concreto como para los ensayos en agregados se diseñaron bajo un formato similar a los parámetros utilizados en la elaboración de los instructivos técnicos. Cada uno de los registros elaborados fue debidamente codificado. Dicha codificación fue utilizada como referencia dentro del contenido de los instructivos técnicos para hacer mención al registro respectivo. Se hizo necesario agregar un espacio para incluir la versión del documento, la fecha de emisión y la fecha de la última revisión, parámetros requeridos para mantener un control adecuado de los documentos. Además, cada registro lleva plasmado el nombre del ensayo y la designación del método normalizado al cual corresponde, el nombre y el logo de la institución como elementos identificativos.

Dichos documentos se elaboraron de manera tal que la nomenclatura utilizada fuera lo más explícita posible e idéntica a la utilizada dentro de los instructivos técnicos. Así, de esta manera, cuando los técnicos estudien los instructivos para los métodos de ensayo, asociarán de manera directa, la simbología utilizada en los instructivos con la simbología definida para las hojas de registro, de manera tal, que no existiera ninguna diferencia que pudiera implicar ambigüedad entre los documentos e inconvenientes en el momento de registrar los datos obtenidos.

Se confeccionaron hojas de registro adicionales para la verificación de algunos equipos de laboratorio. Los registros para la verificación de moldes cilíndricos, moldes de revenimiento, equipos medidores de aire, varillas de compactación y almohadillas de neopreno se elaboraron bajo el mismo formato y se diseñaron para anotar las mediciones tomadas de acuerdo a los parámetros de evaluación que exigen las normas. Cada uno de estos registros se estructuró de manera tal que permitan tomar varias medidas de este mesurando y así obtener datos más representativos. El diseño de estos registros no supuso mayor problema, ya que en cada uno de los métodos normalizados se definían claramente los parámetros que se

debían verificar para cada uno de los equipos en cuestión.

Los hornos, las balanzas, la máquina de ensayos a compresión y las almohadillas de neopreno son los equipos más usados diariamente por el laboratorio del CONAVI. Para cada uno de estos equipos se elaboró un registro de uso diario, donde cada técnico anote la cantidad de usos del equipo cada vez que necesite de ellos. Asimismo, este registro es de suma importancia, ya que permite identificar a la persona responsable que utilizó el equipo en dado momento. Además, la cantidad de usos que se anotan en el registro constituye un factor muy importante, que a la postre, permitirá fungir como una referencia para definir periodos de verificación o calibración de los equipos. Así, si un equipo exige mucha demanda, existirá una mayor probabilidad que requiera periodos de calibración o de verificación más cortos en comparación con un equipo que tenga una frecuencia de uso mucho menor.

Finalmente se elaboraron dos hojas de registro más. Una de ellas se elaboró con el objetivo de mantener un control de los especímenes de concreto que ingresan al laboratorio. Este documento se diseñó para registrar, de manera completa, toda la información referente a los especímenes. Esta información incluye: Nombre del Proyecto, Estructura, Identificación del Especímen, Código del Molde, Estación, Fecha de Moldeo, Edad de Falla, Fecha de Falla, Encargado del Muestreo y Encargado de la Falla. Los parámetros incluidos en este documento permiten suministrar información muy detallada que será de gran ayuda para evitar confusiones y alteraciones en el manejo y ensayo de especímenes dentro del laboratorio.

La otra hoja de registro se elaboró con el objetivo de documentar las acciones de verificación o calibración de equipos de laboratorio. La información que se incluye en este documento hace referencia a: Nombre del Equipo, Identificación del Equipo, Actividad (Calibración o Verificación), Periodicidad de la Actividad, Fecha Actual y Fecha Próxima de la Calibración o Verificación, Conformidad o No Conformidad de la Actividad, Referencia de Certificado y Comentarios. Este registro se utiliza para llevar un control del estado de la calibración o de la verificación de los equipos de manera que permita informar al personal si un equipo se

encuentra dentro o fuera de su periodo de calibración o verificación y si es conforme o no para su uso previsto en el laboratorio.

Cada una de las hojas de registro se diseñó de forma exitosa y bajo un formato previamente definido. Al igual que los instructivos técnicos, estos documentos no fueron implementados producto de la poca iniciativa mostrada por el departamento.

## Hojas de cálculo

El laboratorio del CONAVI tiene bajo su responsabilidad la verificación de la calidad de los materiales en los distintos proyectos que supervisa. Así, el volumen de trabajo en cuanto a la ejecución de ensayos de laboratorio es muy alto. El procedimiento de trabajo se basa en que los técnicos de laboratorio registran los datos obtenidos en la ejecución de los ensayos y estos son enviados al personal de oficina, quienes se encargan de la obtención del resultado de la prueba por medio de herramientas computacionales.

El diseño de las hojas de cálculo supone grandes ventajas en cuanto al ahorro de tiempo y obtención de informes de forma más eficiente. Debido a que el CONAVI frecuentemente necesita elaborar informes de resultados de los ensayos realizados a los materiales de los distintos proyectos, las hojas de cálculo vienen a facilitar este proceso ya que la obtención de los resultados se realizaría con mayor efectividad.

Pero una de las grandes limitaciones que se evidenció dentro del laboratorio, es la ausencia de equipo de cómputo. El objetivo de acelerar los procesos de elaboración de informes, radica en que el laboratorio posea las herramientas necesarias dentro de sus instalaciones para generar rendimientos grandes. De esta forma, la elaboración de las hojas de cálculo constituyó una de esas herramientas, pero ante la carencia de equipo computacional en las instalaciones del laboratorio, el procedimiento de trabajo se mantuvo, de forma que los técnicos registran los datos y el personal de oficina se encarga de ingresar estos datos a las hojas de cálculo.

Cabe destacar, que este procedimiento de trabajo no se realiza de forma diaria, debido a que el laboratorio del CONAVI se ubica en San Ramón y las oficinas se ubican en San José.

Producto de ello, el personal técnico del laboratorio acumula datos de ensayos durante aproximadamente una semana y posterior a ello, el conjunto de registros son entregados al personal de oficina para que ingrese los datos dentro de las hojas de cálculo, lo cual atrasa en gran magnitud el accionar diario del Departamento de Calidad. Por ello, se vuelve indispensable la incorporación de equipo de cómputo al laboratorio lo cual repercutiría de forma positiva en la puesta en práctica de las hojas de cálculo diseñadas y en la elaboración de informes de ensayo.

Las hojas de cálculo se diseñaron de manera idéntica, manteniendo el mismo formato, a las hojas de registro de datos. El propósito de este accionar, se basó en que no existiera confusión ni ambigüedad en cuanto a la nomenclatura de ambos documentos ni que se cometieran errores al momento de introducir en la hoja de cálculo los datos anotados en los registros.

Además, para evitar errores de introducción de datos, las celdas que hacen referencia a datos de entrada (datos obtenidos en los registros) se resaltaron con un color específico, en este caso, de color celeste. De esta forma se realizó una diferenciación entre las celdas programadas y las celdas no programadas.

Las hojas de cálculo se encuentran debidamente programadas, ante lo cual, solo basta con ingresar los datos tomados en los registros y el cálculo del resultado se realiza mecánicamente sin la necesidad de utilizar métodos manuales. Se procedió a bloquear las celdas programadas, con el propósito de evitar alteraciones de la hoja de cálculo producto de la manipulación por parte del personal.

Se realizaron además, las hojas de cálculo para la verificación de equipos. Estas se elaboraron siguiendo la misma metodología de diseño que se siguió para la elaboración de las hojas de cálculo para ensayos de laboratorio. Estas hojas de cálculo se basan en la verificación del cumplimiento de las dimensiones de los equipos de acuerdo a los requisitos exigidos por la normas. Al ser documentos idénticos a los registros, se facilita el ingreso de los datos a las hojas de cálculo, de manera que no se cometan errores. Asimismo, se introduce dentro de los documentos un aparatado que involucre el

cálculo de la incertidumbre de los instrumentos con los cuales se realizan las mediciones.

La documentación técnica elaborada constituye una herramienta fundamental para el accionar de un laboratorio, pero ante la falta de iniciativa por mejorar los procesos, esta documentación solo constituye uno de los primeros eslabones que se deben escalar para su adecuado uso e implementación dentro de un Sistema de Gestión de Calidad.

## Planes de validación

En un principio, los objetivos planteados involucraban la capacitación de los técnicos de laboratorio así como una evaluación de los mismos mediante ensayos de aptitud con el propósito de evaluar repetibilidad y reproducibilidad.

Ante la falta de interés por parte del Departamento de Calidad por hacer cumplir dichos objetivos, el proceso de implementación y evaluación de los procedimientos técnicos no se pudo llevar a cabo. La situación se expuso debidamente a la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica y se incorporó, como nuevo objetivo dentro de esta Práctica Profesional Dirigida, la elaboración de nueve planes de validación para métodos de ensayo, cuatro para el área de concreto hidráulico y cinco para el área de agregados pétreos. La documentación elaborada se diseñó para el Laboratorio del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (LabCIVCO), laboratorio que actualmente se encuentra bajo una fuerte iniciativa para su acreditación bajo los lineamientos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.

Si bien esta documentación fue elaborada para uso específico del LabCIVCO, cabe destacar que los procedimientos descritos para la validación de métodos de ensayo son aplicables al laboratorio del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), como requisito para afrontar un futuro proceso de acreditación de sus métodos de ensayo.

Cada uno de estos documentos se elaboró bajo un formato definido por el Sistema de Gestión de Calidad del CIVCO y respetando la estructuración de los mismos. Debido a que se desconoce la codificación de los instructivos técnicos utilizados por el CIVCO, no se pudo

hacer una referencia precisa de dichos documentos dentro de los planes de validación.

Los procedimientos aplicables a los métodos de ensayo sujetos a validación se basan en métodos normalizados publicados por la American Society Testing of Materials (ASTM). Producto de ello, el alcance de la validación para cada método de ensayo se limita según la guía de validación de métodos de ensayo (ECA-MC-PO01-G01) a la Situación 1: Método normalizado aplicado tal y como se describe en la norma.

El alcance de la validación incluyó la verificación de parámetros de desempeño: precisión (repetibilidad y reproducibilidad) y veracidad (sesgo). Como parámetros de desempeño para evaluar precisión se utilizaron los criterios definidos en los apartados de precisión de los métodos normalizados, los cuales hacen referencia a la desviación estándar (1s) o al coeficiente de variación (1s%) permitido por repetibilidad y reproducibilidad. En cuanto a la veracidad, estos métodos normalizados no establecen criterios de sesgo, debido a la ausencia de un valor de referencia para el método y por lo tanto no fue tomado en cuenta dentro de la validación.

Los criterios definidos en los métodos normalizados hacen referencia a los límites de precisión para evaluar a un solo experimentador (repetibilidad) y para evaluar a varios experimentadores (reproducibilidad). En el momento de realizar la lectura de las normas se encontró que la precisión se evalúa en función de dos resultados, es decir, la norma establece que la diferencia entre dos resultados de un mismo ensayo no debe diferir por más de cierto valor límite. A este límite de precisión se le conoce como  $d2s$  en caso de hacer referencia a la desviación estándar y  $d2\%$  en caso de hacer referencia al coeficiente de variación.

Puesto que para algunos ensayos se tomó la decisión de realizar más de dos repeticiones por técnico, se tuvo que hacer uso de la norma ASTM C-670 "Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials" con el objetivo de obtener los límites de precisión según el número de repeticiones que se ejecuten por técnico. Dentro de este documento se incluyen factores multiplicadores de la desviación estándar o del coeficiente de variación dependiendo de la cantidad de pruebas por técnico, para así obtener los límites de precisión para más de dos pruebas.

En general cada uno de los planes de validación se diseñó de manera exitosa, ya que abarcan de manera precisa cada uno de los detalles definidos en los métodos normalizados, en cuanto a procedimiento, materiales, equipos y límites de precisión para llevar a cabo de forma concisa el desarrollo experimental explicado a continuación.

## **Plan de validación ensayos al concreto hidráulico**

Este documento se elaboró con el propósito de validar los ensayos de temperatura, revenimiento, peso unitario y resistencia a la compresión del concreto. Inicialmente, para la realización de las pruebas de desempeño, se consideró elaborar las mezclas de concreto utilizando una batidora a partir de un diseño de mezcla previamente definido. Se analizaron varios factores que pudieran influir al realizar el procedimiento de esta manera y se consideró un factor muy importante como lo es la variabilidad que pudieran presentar las diferentes mezclas de concreto debido al proceso de mezclado, lo cual podía influir directamente en los resultados de los ensayos, sumado a ello que, el concreto, por sí mismo, es un material muy variable. Además, como segundo punto se consideró el factor tiempo, debido a que el realizar varias mezclas de concreto provocaría que el proceso de evaluación se volviera muy extenso interfiriendo en las labores diarias del laboratorio.

Producto de la situación mencionada anteriormente, se definió realizar las pruebas de evaluación utilizando concreto premezclado, de manera que se redujera de forma considerable el factor tiempo y que las muestras tomadas para ejecutar los ensayos fuesen más representativas del lote total de concreto y la influencia de la variabilidad fuese mucho menor con el propósito de obtener datos más consistentes y fiables.

Se procedió a determinar las características del concreto premezclado, según los requisitos que los métodos normalizados exigían. En concordancia con la revisión de las normas ASTM C-1064, ASTM C-143, ASTM C-138 y ASTM C-39 se definió que el concreto premezclado debía contar con las siguientes características:

- Peso unitario: entre 1842 kg/m<sup>3</sup> y 2843 kg/m<sup>3</sup>.
- Revenimiento: aproximadamente 85 mm.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso: 19 mm.
- Resistencia a la compresión a 28 días: 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Estos parámetros se tomaron de acuerdo a las características del concreto ensayado para obtener los resultados de precisión definidos en las normas ASTM para cada uno de los ensayos. La idea consistió en reunir las características que permitieran que la evaluación de todos los ensayos pudiera realizarse utilizando únicamente un tipo de concreto premezclado, de manera tal, que se evitara que para cada ensayo se utilizara un tipo de concreto con diferentes características. Las características del concreto premezclado deberán ser certificadas por parte de la empresa contratada, con el propósito de contar con un respaldo válido de que el concreto adquirido cumple con las características solicitadas.

Así, establecer los parámetros de precisión, definir el desarrollo del plan experimental y establecer del número de réplicas por ensayo y por técnico se convirtieron en los puntos más influyentes en la elaboración del documento.

Se definió que la cantidad de técnicos que participarán dentro de la validación serán tres. Cada técnico tomará una muestra de concreto premezclado y realizará tres ensayos de temperatura, dos ensayos de revenimiento, dos ensayos de peso unitario y moldeará tres especímenes cilíndricos de concreto. De acuerdo a la cantidad de ensayos por técnico los parámetros de precisión se definieron de la siguiente forma:

- Ensayo de temperatura: para evaluar repetibilidad (un solo operador) se considera el límite d3s (tres ensayos por técnico) y para reproducibilidad (entre los tres operadores) el límite d9s (nueve ensayos en total).
- Ensayo de revenimiento: para evaluar repetibilidad (un solo operador) se considera el límite d2s (dos ensayos por técnico) y para reproducibilidad (entre los tres operadores) el límite d6s (seis ensayos en total).

- Ensayo de peso unitario: para evaluar repetibilidad (un solo operador) se considera el límite d2s (dos ensayos por técnico) y para reproducibilidad (entre los tres operadores) el límite d6s (seis ensayos en total).
- Ensayo de resistencia a la compresión: para evaluar repetibilidad (un solo operador) se considera el límite d3s% (tres ensayos por técnico) y para reproducibilidad (entre los tres operadores) el límite d3s% (en total, tres resultados de ensayo).

Para el ensayo de resistencia a la compresión se consideró utilizar moldes de 150 mm x 150 mm ya que son los únicos con los que trabaja el Laboratorio del CIVCO. Además, para evaluar reproducibilidad se utilizaría el promedio de los 3 cilindros individuales por técnico. Así, por cada técnico se obtendría un resultado de ensayo de resistencia a la compresión.

Para el cálculo de los límites de precisión d3s y d9s se multiplica la desviación estándar (1s) establecida en la norma ASTM C-1064 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para tres y para nueve resultados respectivamente. Asimismo, para el cálculo de los límites de precisión d2s y d6s se multiplica la desviación estándar (1s) establecida en la norma ASTM C-143 y ASTM C-138 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para dos y para seis resultados respectivamente. Finalmente, para el cálculo de los límites de precisión d3s% se multiplica el coeficiente de variación (1s%) establecido en la norma ASTM C-39 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para tres resultados.

## **Plan de validación ensayos en agregados**

### **Plan de validación peso unitario de agregados**

Este documento se diseñó con el propósito de validar el ensayo para la determinación de la densidad bruta (peso unitario) del agregado grueso y del agregado fino según el método normalizado ASTM C-29.



En primera instancia se estableció que tres experimentadores participarán dentro del alcance de la validación para este método de ensayo. La norma ASTM C-29 hace referencia a que un resultado de ensayo consiste en el promedio de dos determinaciones individuales realizadas a una misma muestra de agregado. Producto de ello, se definió que para el desarrollo de las pruebas de desempeño, por cada técnico, se prepararán tres muestras de agregado. Cada experimentador realizará dos determinaciones de peso unitario por cada una de las muestras. De esta forma, por cada técnico se obtendrán tres resultados de peso unitario (cada resultado considerado como el promedio de dos determinaciones individuales hechas a una misma muestra de agregado).

Para el ensayo de peso unitario de agregados gruesos se propuso utilizar muestras de 40 kg y recipientes con una capacidad de 14 L ( $0,014 \text{ m}^3$ ) y un agregado de peso normal, mayor a los  $1500 \text{ kg/m}^3$  y con un tamaño máximo nominal de 25 mm. Debido a que la validación de este ensayo utiliza el método de compactación por medio de varilla, se decidió utilizar un agregado grueso cuyas características impidan la degradación del mismo al momento del varillado, esto porque a cada muestra de agregado se requiere realizarle dos ensayos de peso unitario.

Para el ensayo de peso unitario de agregados finos se estableció utilizar muestras de 10 kg y recipientes con una capacidad de 2,8 L ( $0,0028 \text{ m}^3$ ). La validación de este método de ensayo utiliza la determinación del peso unitario bajo la condición suelta.

De acuerdo a la cantidad de ensayos por técnico los parámetros de precisión se definieron de la siguiente forma:

- Para evaluar repetibilidad (un solo operador) se considera el límite d3s (tres ensayos por técnico)
- Para evaluar reproducibilidad (entre los tres operadores) se considera el límite d9s (nueve ensayos en total).

Para el cálculo de los límites de precisión d3s y d9s se multiplica la desviación estándar (1s) establecida en la norma ASTM C-29 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para tres y para nueve resultados respectivamente.

## Plan de validación resistencia a la abrasión

Este documento se elaboró con el objetivo de validar el procedimiento para la determinación de la resistencia a la abrasión de agregados gruesos utilizando la máquina de los Ángeles según el método normalizado ASTM C-131.

Para que los límites de precisión establecidos en la norma ASTM C-131 tuvieran validez como parámetros de desempeño, el material a utilizar para la ejecución de las pruebas deberá contar con las mismas características de los materiales utilizados para definir los criterios de precisión de la norma. Así, se propuso utilizar un agregado grueso con un tamaño máximo de 19 mm y con un rango, verificado previamente, entre el 10% y el 45% de pérdida por abrasión.

Para la ejecución de las pruebas de desempeño se estableció contar con la participación de tres técnicos de laboratorio. Así, se definió preparar tres muestras por técnico cada una con una masa de aproximadamente 5000 g. Al considerarse la utilización de un agregado grueso con un tamaño máximo de 19 mm, la muestra a preparar, según la norma ASTM C-131, deberá estar compuesta por 2500 g de material que pasa la malla de 19 mm y se retiene en la malla de 12,5 mm más 2500 g de material que pasa la malla de 12,5 mm y se retiene en la malla de 9,5 mm.

Se identificó dentro del plan experimental la utilización exacta de una carga de 11 esferas de acero, que permitan añadir una masa de carga de aproximadamente 4584 g.

La norma ASTM C-131, en la descripción del procedimiento de ensayo, establece que el lavado posterior a la ejecución de la prueba es opcional, con una única excepción, que se trate de un ensayo de arbitraje. Debido a la importancia de la validación de los métodos de ensayo, se requiere obtener resultados lo más fiables posibles, por lo que se estableció realizar el lavado del material tanto antes como después de la ejecución del ensayo para eliminar las partículas de polvo.

De acuerdo a la cantidad de ensayos por técnico los parámetros de precisión se definieron de la siguiente forma:

- Para evaluar repetibilidad (un solo operador) se considera el límite d3s% (tres ensayos por técnico)
- Para evaluar reproducibilidad (entre los tres operadores) se considera el límite d9s% (nueve ensayos en total).

Para el cálculo de los límites de precisión d3s% y d9s% se multiplica el coeficiente de variación (1s%) establecido en la norma ASTM C-131 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para tres y para nueve resultados respectivamente.

## Plan de validación material menor que 75 µm

El diseño de este documento se estableció con el propósito de validar el procedimiento para la determinación, por lavado, del material más fino que 75 µm (malla N°200) según el método normalizado ASTM C-117.

Para el proceso de validación de este método de ensayo, se consideró la participación de tres experimentadores. Para el ensayo de agregados finos, se propuso utilizar tres muestras por técnico de aproximadamente 500 g de material con un contenido de partículas finas menores a 75 µm, previamente verificado, entre 1% y 3%. Para el ensayo agregados gruesos, se pensó utilizar tres muestras por técnico de aproximadamente 2500 g de agregado grueso pesado, mayor a 1500 kg/m<sup>3</sup>, con un tamaño máximo nominal de 19 mm y un contenido de partículas finas menores a 75 µm, previamente verificado, menor a 1,5 %. El proceso de lavado en la malla N°200, para ambos casos, deberá ser realizado utilizando agua limpia libre de impurezas.

De acuerdo con la cantidad de ensayos por técnico, los parámetros de precisión se definieron de la siguiente forma:

- Para evaluar repetibilidad (un solo operador), se considera el límite d3s (tres ensayos por técnico).
- Para evaluar reproducibilidad (entre los tres operadores) se considera el límite d9s (nueve ensayos en total).

Para el cálculo de los límites de precisión d3s y d9s, se multiplica la desviación estándar

(1s) establecida en la norma ASTM C-117 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para tres y para nueve resultados respectivamente.

Cabe aclarar que el LabCIVCO ya cuenta con un plan de validación para este método de ensayo, el cual se encuentra incluido dentro del plan de validación para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. El documento diseñado para esta prueba de laboratorio se incluyó dentro del presente trabajo más no será utilizado por el LabCIVCO debido a que ya cuenta con dicho plan de validación.

## Plan de validación densidad, gravedad específica y absorción de finos

Este documento se estableció para definir el planeamiento de las actividades de validación para la determinación de la densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino según el método normalizado ASTM C-128.

Se propuso la evaluación de tres técnicos de laboratorio dentro del alcance de la validación. Por cada técnico, se definió preparar tres muestras de agregado fino, cada una con una masa de aproximadamente 1000 g. Únicamente se tomaron en consideración dos aspectos importantes. El primer aspecto consistió en aclarar que el periodo de saturación de la muestra debe ser de al menos 24 horas. El segundo aspecto se basó en el hecho de que la norma deja a disposición la utilización de medios ya sea mecánico o manual para la eliminación del aire dentro del picnómetro. Con la finalidad de que el procedimiento se lleve a cabo de igual manera por parte de los tres experimentadores, se limitó a realizar la agitación del picnómetro de forma manual.

De acuerdo con la cantidad de ensayos por técnico los parámetros de precisión se definieron de la siguiente forma:

- Para evaluar repetibilidad (un solo operador), se considera el límite d3s (tres ensayos por técnico).
- Para evaluar reproducibilidad (entre los tres operadores), se considera el límite d9s (nueve ensayos en total).

Para el cálculo de los límites de precisión d3s y d9s, se multiplica la desviación estándar (1s) establecida en la norma ASTM C-128 por el factor multiplicador determinado en la norma ASTM C-670 para tres y para nueve resultados respectivamente.

## **Plan de validación densidad, gravedad específica y absorción de gruesos**

Este documento se estableció para definir el planeamiento de las actividades de validación para la determinación de la densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso según el método normalizado ASTM C-127.

Se propuso la evaluación de tres técnicos de laboratorio dentro del alcance de la validación. Por cada técnico, se definió preparar tres muestras de agregado grueso, cada una con una masa de aproximadamente 4,0 kg a 4,2 kg.

Únicamente se tomaron en consideración dos aspectos importantes. El primer aspecto consistió en definir las características del material sujeto a ensayo. Se definió utilizar un agregado grueso pesado de 1500 kg/m<sup>3</sup> a 1900 kg/m<sup>3</sup> con un tamaño máximo nominal de partícula de 25 mm, según lo descrito en la norma ASTM C-127. El segundo aspecto consistió en aclarar que el periodo de saturación de la muestra debe ser de al menos 24 horas.

De acuerdo con la cantidad de ensayos por técnico los parámetros de precisión se definieron de la siguiente forma:

- Para evaluar repetibilidad (un solo operador), se considera el límite d3s (tres ensayos por técnico).
- Para evaluar reproducibilidad (entre los tres operadores), se considera el límite d9s (nueve ensayos en total).

Para el cálculo de los límites de precisión d3s y d9s se multiplica la desviación estándar (1s) establecida en la norma ASTM C-127 por el factor multiplicador establecido en la norma ASTM C-670 para tres y para nueve resultados respectivamente.

## **Instalaciones laboratorio del CONAVI**

De acuerdo con las visitas realizadas al laboratorio del CONAVI ubicado en el plantel del MOPT en San Ramón, se logró evidenciar un conjunto de hallazgos en cuanto al estado de sus instalaciones. En las Figuras 1 y 2 mostradas anteriormente, se observó que la puerta de acceso principal, la cual es de madera y se encuentra recubierta con una lámina metálica, dicha puerta tiene una aldaba metálica y se cierra con un candado por lo que la seguridad que brinda es mínima. La puerta posterior mostrada en las Figuras 3 y 4, también es de madera y no posee ningún tipo de cerradura, por lo cual la forma de asegurar dicha puerta es mediante calzas elaboradas por los funcionarios del laboratorio, de manera que seguridad no existe.

En las figuras 5 y 6, se evidencian imágenes de las ventanas del laboratorio, las cuales se encuentran deterioradas y cuentan con tablas en lugar de vidrios, lo que fomenta la inseguridad de las instalaciones. En la figura 7, se observa el deterioro de las láminas de techo. Según información brindada por el señor Javier Jiménez Chinchilla, funcionario del laboratorio, el estado del techo se encuentra en malas condiciones, situación que provoca excesiva cantidad de goteras atentando contra el buen estado y mantenimiento del equipo que resguarda dicho recinto.

Las figuras 8 y 9 muestran el sistema de cableado eléctrico expuesto, generando un riesgo permanente para los funcionarios que les corresponda laborar dentro de las instalaciones, lo cual, va en contra de todas las disposiciones de seguridad ocupacional.

Aunado a la preocupación del deterioro físico del recinto, resalta la falta de seguridad exclusiva para el laboratorio y los bienes que resguarda así como el hecho de que para futuras compras de equipos de laboratorio, es en este lugar donde se deberá ubicar la mayor cantidad de activos.

## Limitaciones Generales

Una de las mayores limitantes durante el desarrollo de la presente Práctica Profesional Dirigida corresponde a la falta de interés mostrada por parte del Departamento de Calidad para incentivar el proceso de mejora del Sistema de Gestión de Calidad. Si bien se elaboraron gran cantidad de documentos técnicos, estos no se implementaron y no fueron puestos en práctica.

Además, en primera instancia se planteó realizar el diseño y la implementación de los procedimientos técnicos para el laboratorio de ensayos del CONAVI. Si bien, el proceso de diseño se ejecutó de forma exitosa, el Departamento de Calidad no mostró iniciativa para llevar a cabo la implementación de estos procedimientos. Esto se ve reflejado en el desinterés por: verificar y codificar los equipos de laboratorio, realizar una capacitación del personal técnico así como llevar a cabo una evaluación de los técnicos de laboratorio mediante pruebas de aptitud.

Otra limitante que afectó en gran medida la culminación del presente trabajo, fue por problemas de salud, lo cual provocó grandes atrasos y en varias ocasiones se tuvo que solicitar una ampliación del plazo para la entrega del presente proyecto. Ante estas situaciones, la escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica gestionó la situación y se acordó cumplir con un nuevo objetivo, el cual consistió en la elaboración de los planes de validación para métodos de ensayo en el área de concreto y agregados pétreos. De esta forma, el cumplimiento de este último objetivo no está relacionado con el CONAVI, sino que los documentos elaborados forman parte del Sistema de Gestión de Calidad del CIVCO.

# Conclusiones

- La lectura y el análisis de la norma INTE-ISO/IEC 17025: 2005 fungió como punto de partida para la comprensión de los requisitos de un Sistema de Gestión de Calidad implantado dentro de un laboratorio.
- La comprensión de las normas ASTM e INTECO así como el dominio la técnica de ejecución de los ensayos significó el método más eficiente para la elaboración de los instructivos técnicos.
- Los instructivos técnicos para los ensayos se elaboraron de manera tal que permitieran una fácil comprensión de los procedimientos y la información se ajustara a las necesidades del personal técnico de laboratorio.
- Se logró homogenizar la nomenclatura utilizada en los instructivos técnicos, hojas de registro y hojas de cálculo, permitiendo evitar ambigüedades.
- Las hojas de cálculo elaboradas facilitarán, en gran escala, la obtención de resultados técnicamente confiables.
- El laboratorio del Departamento de Calidad del CONAVI no mantiene un sistema confiable de registro de las actividades de verificación realizadas, tanto en campo como en laboratorio, poniendo en riesgo la seguridad, la confiabilidad y la validez técnica de los resultados.
- El formato diseñado para cada uno de los documentos técnicos elaborados cumple con los requerimientos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.
- La documentación técnica elaborada para el laboratorio de ensayos del CONAVI fue diseñada de manera exitosa, mas no ha sido implementada por el Departamento de Calidad.
- El laboratorio del Departamento de Calidad del CONAVI no tiene definidas políticas ni procedimientos para mantener de forma activa, un programa de control metrológico (calibración, verificación y mantenimiento) de todos los equipos de medición y ensayo instalados en el laboratorio.
- La lectura y comprensión de la guía de validación de métodos de ensayos (ECA-MC-PO01-G01) favoreció el diseño de la estructuración de los planes de validación.
- Se cumplió de manera eficiente con la elaboración de los planes de validación para métodos de ensayo, como parte del Sistema de Gestión de Calidad del CIVCO.
- Las condiciones actuales de las instalaciones del laboratorio del CONAVI no ofrecen características elementales en cuanto a seguridad frente a los actos de vandalismo ni adecuada protección ante eventos climatológicos.
- Las instalaciones que el CONAVI está utilizando como laboratorio no cumplen con los requisitos mínimos para poder considerar a futuro una acreditación ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) del laboratorio y de los ensayos que en él se realizan.

# Recomendaciones

- El Departamento de Calidad del CONAVI debe iniciar un proceso de implementación de la documentación técnica elaborada y ajustarla a su Sistema de Gestión de Calidad.
- La documentación técnica diseñada, debe estar en constante revisión, con el objetivo de establecer mejoras a los documentos y mantenerlos actualizados.
- Se recomienda al CONAVI revisar anualmente las normas ASTM con el propósito de actualizar los instructivos técnicos con respecto a los cambios que realice la ASTM para los métodos de ensayo normalizados.
- Se recomienda realizar capacitaciones continuas al personal de laboratorio con el propósito de estandarizar los procedimientos aplicables a los diferentes métodos de ensayo.
- Se debe capacitar al personal técnico en cuanto a uso de registros y hojas de cálculo debidamente validadas para así facilitar la recopilación de datos y la obtención de resultados.
- Se recomienda definir e implementar políticas y procedimientos de control metrológico que le permitan al laboratorio garantizar la exactitud y precisión de los equipos y, por ende, de los resultados derivados de los ensayos.
- Se recomienda al Departamento de Calidad incluir el diseño de hojas de vida para los equipos de laboratorio, dentro de las cuales se definan los periodos de calibración, verificación y de mantenimiento.
- Es recomendable que las instalaciones del laboratorio sean seguras con el fin de reducir accidentes que pongan en riesgo a los técnicos de laboratorio, equipos de medición e información que se resguarda dentro de las instalaciones.
- El laboratorio debe contar con registros de las condiciones ambientales tales como temperatura, ambiente y humedad relativa, de manera que se genere y se mantenga un registro histórico, con el fin de considerar si determinadas condiciones ambientales pudieran afectar o invalidar la calidad del ensayo.
- Se recomienda que dentro del recinto exista un botiquín de primeros auxilios que permita atender quemaduras, lesiones u otros accidentes.
- El CONAVI debe suministrar a los técnicos de laboratorio equipo de protección personal como mascarillas, guantes, protectores auditivos y gabachas para garantizar el bienestar del personal técnico.
- Se recomienda al CONAVI contar con predios disponibles, gestionar la construcción de instalaciones óptimas que cumplan con los requerimientos mínimos básicos para asegurar las condiciones ideales de la ejecución de los ensayos. Otra opción viable sería gestionar que el Laboratorio Central del MOPT pase a ser parte operativa del CONAVI, esto justificado en el hecho de que es esta institución quien ejecuta el mayor presupuesto a nivel nacional en materia de conservación, construcción, mejoramiento y rehabilitación de la red vial nacional.
- Se recomienda que las instalaciones del laboratorio sean divididas en áreas específicas de trabajo, con el propósito de separar actividades incompatibles y prevenir la contaminación cruzada.

# Apéndices

## Apéndice 1

Instructivo Técnico: *Muestreo de Concreto Recién Mezclado. (Disco)*

## Apéndice 2

Instructivo Técnico: *Determinación de la Temperatura del Concreto Recién Mezclado. (Disco)*

## Apéndice 3

Instructivo Técnico: *Determinación del Revenimiento del Concreto Recién Mezclado. (Disco)*

## Apéndice 4

Instructivo Técnico: *Determinación del Contenido de Aire en el Concreto Fresco por el Método de Presión. (Disco)*

## Apéndice 5

Instructivo Técnico: *Elaborar y Curar Especímenes de Concreto para Ensayo en Campo. (Disco)*

## Apéndice 6

Instructivo Técnico: *Elaborar y Curar Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio. (Disco)*

## Apéndice 7

Instructivo Técnico: *Determinación de la Resistencia a la Compresión Uniaxial de Especímenes Cilíndricos de Concreto. (Disco)*

## Apéndice 8

Instructivo Técnico: *Determinación del Esfuerzo a Flexión del Concreto. (Disco)*

## Apéndice 9

Instructivo Técnico: *Toma de Muestras de Agregados. (Disco)*

## Apéndice 10

Instructivo Técnico: *Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo. (Disco)*

## Apéndice 11

Instructivo Técnico: *Contenido de Humedad en Suelos y Agregados. (Disco)*

## Apéndice 12

Instructivo Técnico: *Peso Unitario y Vacíos en Agregados. (Disco)*

## Apéndice 13

Instructivo Técnico: *Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso. (Disco)*

## Apéndice 14

Instructivo Técnico: *Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino. (Disco)*

## Apéndice 15

Instructivo Técnico: *Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos. (Disco)*

## Apéndice 16

Instructivo Técnico: *Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos. (Disco)*

## Apéndice 17

Instructivo Técnico: *Presencia de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino. (Disco)*

## Apéndice 18

Instructivo Técnico: *Efecto de las Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino Sobre la Resistencia del Mortero. (Disco)*

## Apéndice 19

Instructivo Técnico: *Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso. (Disco)*

Apéndice 20

Instructivo Técnico: *Determinación, por Lavado, del Material más Fino que 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) en Agregados Minerales. (Disco)*

Apéndice 21

Instructivo Técnico: *Control de Equipos de Laboratorio. (Disco)*

Apéndice 22

Plan de validación: *Determinación de la Temperatura, Revenimiento, Peso Unitario y Resistencia a la Compresión del Concreto. (Disco)*

Apéndice 23

Plan de validación: *Determinación de la Resistencia a la Abrasión de Agregados Gruesos Utilizando la Máquina de los Ángeles. (Disco)*

Apéndice 24

Plan de validación: *Determinación, por lavado, del material más fino que el tamiz de 75 $\mu\text{m}$  (N° 200) en agregados minerales. (Disco)*

Apéndice 25

Plan de validación: *Determinación de la Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso. (Disco)*

Apéndice 26

Plan de validación: *Determinación de la Densidad, Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino. (Disco)*

Apéndice 27

Plan de validación: *Determinación de la Densidad Bruta (Peso Unitario) del Agregado. (Disco)*

Apéndice 28

Registros técnicos: *Registros para Ensayos al Concreto Hidráulico. (Disco)*

Apéndice 29

Registros técnicos: *Registros para Ensayos a los Agregados Pétreos. (Disco)*

Apéndice 30

Registros técnicos: *Registros de Uso de Equipos. (Disco)*

Apéndice 31

Registros técnicos: *Registros para Verificación de Equipos. (Disco)*

Apéndice 32

Registro técnico: *Registros para Acciones de Verificación y Calibración de Equipos. (Disco)*

Apéndice 33

Hojas de cálculo: *Formularios Técnicos para Ensayos en Concreto Hidráulico. (Disco)*

Apéndice 34

Hojas de cálculo: *Formularios Técnicos para Ensayos en Agregados Pétreos. (Disco)*

Apéndice 35

Hojas de cálculo: *Formularios Técnicos para Verificación de Equipos. (Disco)*



# Referencias

## Publicaciones periódicas y revistas

ASTM. 2005. *ASTM C-172* Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-1064* Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-143* Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-231* Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-31* Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-192* Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-39* Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM C-78* Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

ASTM. 2005. *ASTM D-75* Standard Practice for Sampling Aggregates. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2005. *ASTM C-702* Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

- ASTM. 2005. *ASTM D-2216* Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-29* Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-127* Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-128* Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-136* Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-131* Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-40* Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-87* Standard Test Method for Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-117* Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-670* Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-1231* Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-94* Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-470* Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.02.

- ASTM. 2005. *ASTM C-33 Standard Specification for Concrete Aggregates. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.* Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-617 Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.* Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM C-138 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.* Volumen 04.02.
- ASTM. 2005. *ASTM D-5821 Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2005 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.* Volumen 04.03.
- ECA.2012. *Guía para la Validación de Métodos de Ensayo (ECA-MC-PO01-G01). ENTE COSTARRICENSE DE ACREDITACION (ECA).* Versión 02.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-01-02:2011 Agregados para Concreto - Requisitos. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-01-02:2011 Norma para el Muestreo de Concreto Recién Mezclado. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-01-07:2011 Práctica Normalizada para Hacer y Curar Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio INSTITUTO DE NORMAS*
- TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).** Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-01-08:2011 Práctica Normalizada para Hacer y Curar Especímenes de Concreto para Ensayo en Campo. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-01:2006 Método de Ensayo para la Resistencia a la Compresión Uniaxial de Especímenes Cilíndricos de Concreto INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Primera Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-03:2011 Método de Ensayo para el Asentamiento en el Concreto del Cemento Hidráulico. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-04:2010 Método de Ensayo para la Determinación del Contenido de Aire en el Concreto Fresco por el Método de Presión. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-06:2012 Método de Ensayo para la Medición de la Temperatura del Concreto Recién Mezclado con Cemento Hidráulico. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-08:2008 Método de Ensayo para Determinar el Esfuerzo de Flexión del Concreto. INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).* Segunda Edición.
- INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-09:2007 Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico en Mallas de Agregado Fino y Grueso. INSTITUTO DE NORMAS*

**TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).**  
Primera Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-21:2008*  
Método de Ensayo para Determinar la  
Densidad Bruta (Peso Unitario) y los  
Vacíos en Agregado **INSTITUTO DE  
NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA  
(INTECO).** Primera Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-22:2009*  
Método de Ensayo para Determinar las  
Impurezas Orgánicas en Agregado Fino.  
**INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS  
DE COSTA RICA (INTECO).** Primera  
Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-25:2010*  
Norma para Reducir Muestras de  
Agregado a Tamaño de Ensayo  
**INSTITUTO DE NORMAS TECNICAS  
DE COSTA RICA (INTECO).** Primera  
Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-27:2009*  
Determinación de la resistencia al  
Desgaste de Agregados Gruesos hasta  
de 37,5 mm, Utilizando la Máquina de los  
Ángeles. **INSTITUTO DE NORMAS  
TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).**  
Primera Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-32:2009*  
Práctica para la Toma de Muestras de  
Agregados. **INSTITUTO DE NORMAS  
TECNICAS DE COSTA RICA (INTECO).**  
Primera Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-33:2009*  
Método de Ensayo para Determinar la  
Densidad, Gravedad Específica  
(Densidad Relativa) y la Absorción del  
Agregado Grueso. **INSTITUTO DE  
NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA  
(INTECO).** Primera Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-02-34:2010*  
Método de Ensayo para Determinar la  
Densidad, Gravedad Específica  
(Densidad Relativa) y la Absorción del  
Agregado Fino. **INSTITUTO DE**

**NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA  
(INTECO).** Primera Edición.

INTECO.2011. *Norma INTE 06-01-03:2007*  
Práctica Normalizada para el  
Coronamiento de Especímenes  
Cilíndricos de Concreto **INSTITUTO DE  
NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA  
(INTECO).** Primera Edición.

INTECO.2005. *Norma INTE-ISO/IEC  
17025:2005:* Requisitos Generales para  
la Competencia de los laboratorios de  
ensayo y de calibración. **INSTITUTO DE  
NORMAS TECNICAS DE COSTA RICA  
(INTECO).**