

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Félix Limo Gonzalo Santiago  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, Mayo 2010

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

Tutor académico: Prof. César Peñuela

Tutor industrial: Lic. Franca Gambino

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Félix Limo Gonzalo Santiago  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, Mayo 2010

**Félix L., Gonzalo S.**

**DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACIÓN Y  
ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO DE  
COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

**Tutor académico: Prof. César Peñuela. Tutor industrial: Lic. Franca Gambino.**

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.**

**Año 2010, 163 p.**

**Palabras Claves:** Control de Calidad, Validación de Métodos,  
Compresión de Concreto, Incertidumbre,  
Norma ISO/IEC 17025:2005.

**Resumen:**

Tener competencia técnica en los ensayos y/o mediciones que se realizan en un laboratorio forma parte de un complejo proceso que implica ciertos requisitos necesarios para la confiabilidad de la calidad de sus resultados. Es por este motivo, que se vienen realizando las gestiones para la acreditación de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para poder demostrar sus capacidades en la realización de sus ensayos y/o mediciones, ante un mundo cada vez más competitivo. Para lograrlo, se requiere la Validación de Métodos y la Estimación de la Incertidumbre como medio para confirmar y dar exactitud en los resultados y mediciones de los ensayos correspondientes a los laboratorios de esta Casa de Estudios. Siguiendo los lineamientos de la Norma ISO/IEC 17025:2005, el objetivo de este Trabajo Especial de Grado, es la de Diseñar Procedimientos para la Validación y Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

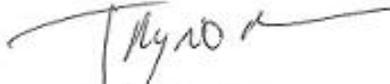
Caracas, Mayo de 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Gonzalo Félix, titulado:

**“Diseño del Procedimiento para la Validación y Estimación de la Incertidumbre del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el (los) autor (es), lo declaran APROBADO.

  
Prof. Johnny Casanova  
Jurado

  
Prof. Trino Romero  
Jurado

  
Prof. César Peñuela  
Tutor Académico

  
Lic. Franca Gambino  
Tutor Industrial

*La belleza del fruto está en proporción del tiempo  
que transcurre entre la semilla y la recolección.*

*John Ruskin*

*A Dios que nunca deja de guiar mi camino.  
Mi Papá y Mamá por su paciencia y toque  
particular para hacerme seguir adelante.  
A mi Hermana que así como mis padres  
deseó que llegara este día.*

*Gracias.*

*Gonzalo Félix.*

---

## Agradecimientos

Aprovecho la oportunidad para agradecer a todas a aquellas personas que pusieron su granito de arena en la elaboración de este trabajo, y sin dejar pasar a todos los que han estado conmigo para hacerles saber lo importante que son...

A *Dios*, porque día tras día fue y seguirá siendo, la fuerza que me ayuda a seguir adelante, nunca dejo de contar contigo.

A mi *Madre*, por su paciencia y apoyo incondicional, siempre presente todos los días y sin descanso, y por todas las madrugadas que te hice pasar, no sólo este trabajo y el título, sino lo todo lo que me enseñastes para convertirme en el futuro profesional en que me he convertido; *Gracias Chulita*.

A mi *Padre*, por su perseverancia, insistencia y hacerme ver lo importante de ser mejor cada día, el título y yo somos tu obra maestra.

A mi *Hermana*, que siempre me ayudó a conseguir lo que yo sólo no hubiera podido, y por ser ejemplo de que todo cuando se quiere, se puede.

A toda mi familia, tanto en Venezuela como en Perú, gracias por su apoyo y por estar pendientes de mí.

A *Anyenaily (mi mol)*, la recta final de mi vida en la escuela fue siempre llena de emociones, alegrías y tropiezos, y tengo la dicha de que siempre conté contigo. Eres más que mi amiga y compañera, no sé qué haría sin ti. *Te adoro*.

A mi perro *Nico*, que a pesar que estás en el cielo siempre te tengo en mi corazón, llenastes de alegría mi hogar por muchos años y sé que me cuidas siempre.

A mi perro *Héctor*, que con su alegría y singular mirada, me alegra día a día.

Al *Prof. Trino*, por darme esa oportunidad de formar parte del grupo de calidad para los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UCV.

A la *Profa. Jhoylin Casanova*, por su oportuna intervención para que este trabajo pudiese salir a la luz.

Al *Prof. César*, por ayudarme con esos detalles en el mundo de la Ingeniería Civil.

A *Franca*, pues sencillamente, eres la pieza clave de este trabajo, tus consejos y dedicación son fruto de que esto fuera posible, así que no tengo palabras para agradecerte tu inmensa colaboración.

---

## Agradecimientos

Al *Licenciado José Luis*, su curso y ayuda en este trabajo fue importante y sé que no termina aquí.

A la *Prof. María Rodríguez*, tuve la suerte de tenerla como mi profesora consejera, gracias por estar pendiente de mí.

Al *Prof. Humberto Kum*, al que tengo el privilegio de decir que fui su alumno, también es un gran maestro y un gran amigo.

Estimada *Yosmara*, tu aporte en el departamento de diseño me ayudó en varias oportunidades, te debo varias.

A la Ing. *Eliana Orduz*, por su apoyo al permitirme realizar a este trabajo.

A mis compañeros de armas del *PMOM*, muy buenos recuerdos vividos.

Las siguientes personas comenzaron al igual que yo, siendo mis compañeros, hoy en día puedo decir, que forman parte de mi familia universitaria y que aprecio mucho, mis mejores deseos a todos amigos: *Mariana Da Corte (La Portu)*, *Patricia Peñaloza (Ticha)*, *Kevin Sánchez*, *Alejandro Urdaneta*, *Jean Carlos Rivero*, *Rita Casella*, *Liz y Yusmary De Abreu (Las Morochas)*, *Joan Sánchez*, *Daniela de Sousa*, *Oscar (El Pisha) González*, *Luis Orta*, *Jonathan Godoy*, *Verónica Russian*, *Alberto Sánchez*, *Javier*, *Dalia*, *Nadia*, *Oscar (Ceviche) Guimaray*. Gracias a todos.

Finalmente, a la Universidad Central de Venezuela, donde aprendí las bases para ser Ingeniero Químico, es para mí un honor haber pertenecido a esta casa de estudios.

**Gonzalo Félix**

## Índice

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I ELEMENTOS INICIALES .....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.3 ANTECEDENTES .....	5
CAPITULO II CALIDAD – NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005.	14
2.1 CALIDAD.....	14
2.1.2 <i>Sistema de Calidad</i> .....	15
2.1.3 <i>Sistema de Gestión de la Calidad</i> .....	15
2.2 NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005 .....	17
2.2.1 <i>Importancia</i> .....	17
2.2.2 <i>Objeto y Campo de Aplicación</i> .....	18
2.2.3 <i>Requisitos Relativos a la gestión y Requisitos Técnicos</i> .....	18
2.2.4 <i>Certificación y Acreditación</i> .....	20
CAPITULO III ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO	22
3.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .....	22
CAPITULO IV ELEMENTOS ESTADÍSTICOS .....	25
4.1 ASEGURAMIENTO DE LOS RESULTADOS.....	25
4.1.1 <i>Metrología</i> .....	25
4.1.2 <i>Mensurando</i> .....	26
4.1.3 <i>Valor Verdadero y Valor Convencionalmente Verdadero</i> .....	27
4.1.4 <i>Teoría de los Errores</i> .....	28
4.1.5 <i>Trazabilidad</i> .....	29
4.1.6 <i>Materiales de Referencia Certificados</i> .....	29

4.2 VALIDACIÓN DE MÉTODOS .....	30
4.2.1 <i>Objetivo de la Validación</i> .....	31
4.2.2 <i>Necesidad Analítica</i> .....	32
4.2.3 <i>Parámetros de Desempeño</i> .....	33
4.2.4 <i>Repetibilidad y Reproducibilidad</i> .....	36
4.3 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN .....	40
4.3.1 <i>Identificación de las Fuentes de Incertidumbre</i> .....	40
4.3.2 <i>Evaluación de la Incertidumbre</i> .....	43
4.3.2.1 <i>Evaluación Tipo A</i> .....	43
4.3.2.2 <i>Evaluación Tipo B</i> .....	44
4.3.3 <i>Función Distribución</i> .....	44
4.3.4 <i>Incertidumbre Expandida</i> .....	47
4.3.4.1 <i>Factor de Cobertura K y Nivel de Confianza</i> .....	47
4.3.5 <i>Proceso de Estimación de la Incertidumbre</i> .....	48
4.3.6 <i>Reglas Básicas para Estimar Incertidumbre</i> .....	51
4.3.7 <i>Reporte de la incertidumbre</i> .....	53
CAPITULO V METODOLOGÍA. DESARROLLO DE LAS ETAPAS DE ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS .....	55
5.1 ETAPA 1. INICIACIÓN A LA NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005. ....	56
5.2 ETAPA 2. DEFINIR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .....	58
5.3 ETAPA 3. DESARROLLO DE ELABORACIÓN DE DOCUMENTOS .....	59
5.4 ETAPA 4. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACIÓN DEL MÉTODO .....	61
5.5 ETAPA 5. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .....	65
CAPITULO VI RESULTADOS. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS .....	69
6.1 ELABORACIÓN DE DOCUMENTOS .....	69

6.2 PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO .....	71
6.3 PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .....	94
CONCLUSIONES .....	123
RECOMENDACIONES .....	124
BIBLIOGRAFÍA .....	125
APÉNDICE .....	128

## Índice de figuras

Figura N° 1. Ciclo de un Sistema de Gestión de la Calidad .....	16
Figura N° 2. Equipo de Compresión de Cilindros de Concreto .....	22
Figura N° 3. Modelo de Aseguramiento de los Resultados. ....	26
Figura N° 4. Errores asociados al Sesgo. ....	28
Figura N° 5. Esquema de pasos a seguir para una validación. ....	32
Figura N° 6. Requisitos para la confirmación o evaluación de parámetros en la validación de métodos. ....	33
Figura N° 7. Representación de Repetibilidad y Reproducibilidad. ....	37
Figura N° 8. Imperfecciones asociadas a la medición de la incertidumbre.....	42
Figura N° 9. Representación gráfica de una distribución rectangular o continua.....	45

## Índice de Tablas

Tabla 1 Evaluación de la Repetibilidad y Reproducibilidad.....	37
Tabla 2 Representación esquemática para el desarrollo estadístico de la varianza ....	38
Tabla 3 Fuentes de incertidumbre asociadas a la medición .....	41
Tabla 4: Valores de compresión.....	74
Tabla 5: Promedios entre grupos y entre niveles .....	75
Tabla 6 Valores diferencia media diaria .....	76
Tabla 7 Suma diferencias cuadráticas .....	76

## Lista de Símbolos y Unidades

A continuación se presenta una lista de todos los símbolos y sus unidades para un mejor entendimiento de las ecuaciones que se presentan en el presente trabajo:

$\sigma$  = Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)

P = Presión (Kgf)

A = Área (cm<sup>2</sup>)

n = Tamaño de la muestra

UI = Unidades de ingeniería

$L_i$  = Medición del instrumento (UI)

C = Corrección asociada al mensurando (UI)

$U_{rep}$  = Incertidumbre asociada a la repetibilidad

$\bar{L}$  = Promedio de las mediciones del instrumento

$U_{res}$  = Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento

$Res_{digital}$  = Medición instrumento digital

$U_{cal}$  = Incertidumbre asociada a la calibración del instrumento

$U_A(X_i)$  = Incertidumbre asociada a la deriva

$X_{max}, X_{min}$  = Intervalos de valores mayor y menor respectivamente

$U_c$  = Incertidumbre combinada

K = Factor de cobertura

$\bar{l}$  = Valor del mensurando (UI)

U = Incertidumbre expandida

$\nu$  = Grados de libertad

$R_e$  = Mediciones en uno o en diferentes niveles (número de términos)

T = Tiempos de estudio (Restricciones)

$\bar{C}_i$  = Promedio diario de valores i en un mismo nivel y en un mismo tiempo

$C_{ij}$ : i = Tiempo; j = Repetición; valor de medición

$\bar{c}$  = Promedio general

SDC = Sumas de diferencias cuadráticas

SDC<sub>b</sub> = Sumas de diferencias cuadráticas entre grupos

SDC<sub>w</sub> = Sumas de diferencias cuadráticas dentro de grupos

DMC = Diferencia cuadráticas medias

DCM<sub>B</sub> = Diferencia cuadráticas medias entre grupos

DCM<sub>w</sub> = Diferencia cuadráticas medias dentro de grupos

$S_r$  = Desviación estándar de la repetibilidad

$S_R$  = Desviación estándar de la Reproducibilidad

$S_L$  = Desviación estándar combinada

EMP = Error máximo permitido



## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realizó un procedimiento para la Validación de Métodos y Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

La Validación de Métodos y la Estimación de la Incertidumbre para el mencionado ensayo se realizó estudiando los requisitos técnicos de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 para la competencia de los laboratorios de ensayo y/o calibración, elaborando un procedimiento para la validación la cual, estará apoyada en parámetros estadísticos tales como: la incertidumbre de la medición, función de respuesta, incertidumbre, entre otros; se establece el mensurando del ensayo para la estimación de la incertidumbre e identifican las posibles fuentes de incertidumbre de la medición, producto de las imperfecciones asociadas durante el proceso de medición y aplicando los conceptos de repetibilidad y reproducibilidad para determinar la precisión y exactitud del ensayo. Además, se elaboró un procedimiento donde queda sustentado toda la data correspondiente al proceso de la estimación de la incertidumbre y el conjunto de operaciones, descrito específicamente, para realizar mediciones de acuerdo al ensayo de compresión de cilindros de concreto.

Como resultado, se elaboró dichos procedimientos como base fundamental para la acreditación bajo la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 que se viene desarrollando en distintos laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UCV, específicamente en este caso en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales y lograr así la competencia técnica del mismo en un mundo cada vez más exigente, donde la calidad es el éxito.

## **CAPITULO I**

### **ELEMENTOS INICIALES**

Esta sección abarca el planteamiento del problema, del objetivo general y objetivos específicos propuestos, además de mencionar los antecedentes bibliográficos correspondientes a las pruebas de ensayo de compresión de cilindros de concreto para medir la resistencia a la fractura y la aplicación de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005.

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Calidad constituye en nuestros días un recurso estratégico para la competitividad, y la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela no es una excepción. Actualmente, la importancia de un Aseguramiento de la Calidad para la acreditación de los Laboratorios de ensayo y/o calibración está orientado por la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005.

Además de la docencia, la demanda de servicios por entes externos continúa en ascenso y la Nave de Ensayos Físicos se ve en la necesidad de establecer mecanismos y regulamientos más eficientes para lograr ubicarse como punto focal en un mundo cada vez más exigente y competitivo.

La acreditación ante el organismo gubernamental SENCAMER es necesaria para cumplir con el propósito de estar a la vanguardia y, como paso fundamental se requiere la Validación del Método de Ensayo y la Estimación de la Incertidumbre de la Medición en el mencionado Laboratorio; recurriendo para ello a la elaboración de procedimientos para los mismos con las herramientas que proporciona la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005. Esta norma tiene dos grandes requisitos: uno referente a los Requisitos de Gestión, los cuales están orientados al área administrativa y de documentación del laboratorio y/o ensayo y otro referente a los

Requisitos Técnicos, donde se evalúa las capacidades técnicas, equipos y métodos de ensayo en el laboratorio, demostrando así la competencia técnica del mismo.

Surge así el presente Trabajo Especial de Grado, con la finalidad de diseñar Procedimientos para la Validación del Método de Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto y la Estimación de la Incertidumbre de la Medición como Requisito Técnico de la Norma en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) para el mencionado ensayo, sobre la base del proyecto LOCTI que viene desarrollando la Universidad Central de Venezuela para los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de esta casa de estudios, en el área de calidad.

## 1.2 OBJETIVOS

Con el propósito de facilitar una clara y precisa guía de investigación, se procede a enumerar una serie de objetivos que delinearán una metodología de trabajo para alcanzar de manera efectiva cada una de las metas propuestas.

### *1.2.1 Objetivo General*

Elaborar los procedimientos para la Validación y Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

➤ Aplicar los Requisitos Técnicos de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 para la Validación y Estimación de la Incertidumbre en el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

➤ Aplicar los conceptos de Repetibilidad y Reproducibilidad para la Validación del Método de Medición.

➤ Elaborar el procedimiento de Validación del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

➤ Establecer la definición del mensurando para la Estimación de la Incertidumbre en la medición de la Resistencia a la Compresión de los Cilindros de Concreto.

➤ Identificar las posibles fuentes de incertidumbre una vez aplicado el Procedimiento de la Estimación.

➤ Elaborar el procedimiento para el proceso de la Estimación de la Incertidumbre y el conjunto de operaciones para realizar mediciones de acuerdo al Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

### 1.3 ANTECEDENTES

La historia de los materiales es tan antigua como la misma humanidad, ya que la necesidad que ha tenido el hombre de construir su propia vivienda, así como las estructuras necesarias para su progreso, han constituido el factor principal en la búsqueda de materiales apropiados para esta finalidad.

El ejemplo más significativos son los griegos y romanos que usaron tanto la cal común como la cal hidráulica; los egipcios usaron el yeso, además de la cal; hasta que en 1824 Joseph Aspin retomó las ideas de Smeaton y descubrió el cemento Portland que es el principal elemento del concreto. (Diseño de mezcla para un pavimento, S.F.)

La evolución en el estudio de los ensayos de compresión para cilindros de concreto se ha sido un factor importante en la industria cementera de todos los países del mundo, ya que cada vez más se requiere que los ensayos para demostrar su resistencia a la compresión sean más veraces y confiables, para cumplir con las necesidades en la elaboración de infraestructuras mucho más exigentes. (Diseño de mezcla para un pavimento, S.F)

Como consecuencia de esto, se crearon distintas reglamentaciones y normas para validar y acreditar a un laboratorio con un sistema de gestión de la calidad implantado; con el fin de dar mayor confiabilidad de los ensayos realizados.

A continuación, se mostrarán algunas investigaciones basadas en distintas normas, bajo las cuales se han realizado pruebas de ensayo de compresión de cilindros de concreto:

#### **- Experiencias de Implementación de Calidad en Laboratorios Universitarios (Herrera, 2004):**

En el presente trabajo se relatan las experiencias y actividades relacionadas con la implementación de modelos de gestión basados en las normas ISO desarrolladas en laboratorios de dos universidades públicas y nacionales del Norte de Argentina.

La finalidad de este trabajo tuvo como objetivo el de promover la implantación de sistemas de gestión de la calidad en laboratorios de la Universidad de Jujuy bajo un programa denominado CERLAB, con la participación de 11 laboratorios desarrollados en un periodo de 11 meses, adoptando las normas ISO 17025:1999 y la ISO 9001:2000.

El proceso fue progresivo y consistente, y estuvo estructurado en cuatro niveles:

- Nivel 1: Evaluación de la organización, gestión de RRHH y documentación. Para ello se evaluó la capacitación en áreas como la estructura organizativa, la gestión de documentos, realización de ensayos y gestión del personal.
- Nivel 2: gestión de recursos como locales, instalaciones y equipos. Haciendo una revisión de pedidos, ofertas y contratos, revisando métodos de ensayo y validación, monitoreo y control de condiciones ambientales, orden, limpieza, métodos para selección y uso de equipos y manejo de patrones y materiales de referencia.
- Nivel 3: medición y control, gestión de compras. Se realizó una evaluación de no conformidades, control de trabajos no conformes, revisiones por la dirección, acciones correctivas y preventivas, compras de servicios y suministros y servicios al cliente.
- Nivel 4: Mejora continua. Se realizaron procesos para el aseguramiento de la calidad de los ensayos, planificación, monitoreo, y desarrollo de métodos para el seguimiento y técnicas para el análisis de las tendencias, selección y seguimiento de indicadores de funcionamiento de mejora de los procesos y métodos para uso eficiente de los recursos.

Paralelamente, se puso en marcha un programa similar al programa CERLAB para la implementación de un sistema de gestión de la calidad. Esta vez, bajo el nombre de PRICALAB.

De manera similar al programa CERLAB, los modelos de sistema adoptado corresponden con las normas ISO 17025 e ISO 9001, y estuvo estructurado en cinco niveles, los cuatro primeros similar al programa anterior más un quinto nivel de

preparación para la solicitud de acreditación al Organismo de Acreditación Argentino. Este último programa se encuentra aún en desarrollo.

La experiencia obtenida en el desarrollo de la implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad, es que se requiere de recursos de distinto tipo, en especial de tiempo dedicado a revisar y adecuar las operaciones de la misma para cumplir con los requisitos de operaciones bajo los estándares adoptados, actividades de capacitación, revisión de procesos, elaboración de procedimientos, redacción de documentos, etc.

**- Gestión de la Calidad en Laboratorios de la Universidad. Caso: Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (Romero et al., 2007):**

La implementación del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) en los laboratorios de servicios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (FIUCV) está orientada a impactar mediante la calidad de sus servicios, en el desarrollo de la industria nacional.

Se desarrolló una metodología que permitió la jerarquización y selección de los ensayos, sustentados en indicadores de la calidad. De un universo de 277 ensayos que se realizan en 52 laboratorios de la FIUCV, se logró la selección de ocho ensayos claves como oferta al sector industrial.

El objetivo es garantizar al cliente la confiabilidad, la rapidez de entrega y la veracidad del servicio, y para ello se requiere la obtención de la acreditación de los ensayos ante organismos como el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER), mediante la aplicación de la Norma ISO/IEC 17025:2005.

Para el proceso de implementación del SGC en la FIUCV, el plan desarrollado comprendió de tres fases básicas:

- Fase I: Selección de los ensayos a certificar: debido al gran número de ensayos que se realizan en la FIUCV, se diseñó una estrategia para el levantamiento de la información y la selección de los ensayos con las mejores condiciones para alcanzar de manera efectiva la acreditación.

- Fase II: Preparación de los requisitos exigidos por la norma para optar a la acreditación del laboratorio: esto comprende la preparación de la documentación exigida por la norma ISO/IEC 17025:2005, la implementación de procedimientos, adecuación de la infraestructura física de los laboratorios y dotación de insumos requeridos de acuerdo a las necesidades identificadas. Así como, la realización de auditorías internas y la implementación del SGC.
- Fase III: Solicitud de la acreditación ante el ente gubernamental SENCAMER: esta fase considera la presentación del SGC implementado y la documentación exigida por la norma ISO/IEC 17025:2005, para ser presentada para su evaluación, aprobación y acreditación.

Actualmente, este proyecto se encuentra en la Fase II, para la selección de ensayos se tomó en cuenta aspectos como: la disposición de personal responsable especializado, se consideró aquellos ensayos normalizados, la disposición de infraestructura y equipos en buen estado, se dió prioridad a ensayos menos complejos que no requieran movilización externa del laboratorio y se consideró el interés del sector industrial en el ensayo.

Los laboratorios involucrados después de la selección de ensayos fueron los siguientes:

- Química Analítica Instrumental
- Físico – Química
- Nave de Ensayos Físicos
- Refinación y Petroquímica.

Para iniciar el proceso de la acreditación de los laboratorios seleccionados, se requiere de tres aspectos básicos como son: la documentación, infraestructura y personal técnico especializado.

El valor agregado de esta fase del proyecto, ha sido lograr que la cultura de la calidad se haya extendido y comprendido entre el personal involucrado en la implementación del SGC. Esto se aprecia en el cambio de actitud y disposición de los mismos, frente a los nuevos paradigmas introducidos mediante el desarrollo del SGC.

**- Acreditación de Normas ISO 17025 para los Ensayos que se realizan a las muestras de Carbón (Hervot et al., 2002):**

El grupo de investigación y servicios terceros en el área química, realiza muestras de carbón vegetal, análisis para determinar la calidad de los mismos y la no peligrosidad para embarque.

La exportación de carbón es una actividad importante en el Chaco - Argentina. El laboratorio, en el año 2003, comenzó a implementar para estos ensayos un sistema de gestión de la calidad según los requisitos de la norma ISO 17025.

Este proceso que se describe a continuación, se realizó en cinco etapas logrando en octubre de 2005 acreditar las normas ISO 17025 para los ensayos que se realizan en muestras de carbón, las cuales consisten en:

➤ Etapa A: Diagnóstico.

Se actualizaron y revisaron las normas ISO 17025 y las correspondientes a los ensayos específicos de carbón y se realizó el diagnóstico en gestión, equipos y medio ambiente.

➤ Etapa B: Capacitación.

La capacitación sobre normativas e implementación de la calidad comenzó desde el momento de la aprobación del proyecto mediante: cursos, seminarios internos y charlas con productores de carbón.

➤ Etapa C: Elaboración de documentos del sistema de gestión de la calidad.

Los documentos del sistema de gestión de la calidad son: manual de calidad, procedimientos de calidad y ensayo, instructivo de trabajo y formularios.

➤ Etapa D: Implementación de sistema de gestión de la calidad y calibración de equipos.

En esta etapa de organización se implementó todo el sistema de gestión de la calidad, manual de calidad y procedimientos e instructivos de trabajo, aprobados en la etapa anterior entre ellos: requisitos de gestión y requisitos técnicos.

➤ Etapa E: Acreditación.

En octubre de 2004 se presentó al Organismo Argentino de Acreditación (OAA) la solicitud de acreditación con la documentación correspondiente.

Una vez aprobada la documentación se realizó la auditoría de evaluación de la cual surgieron no conformidades. Se presentó la propuesta de levantamiento y el comité de Acreditación de Ensayos del OAA otorgó la acreditación al laboratorio.

**- Experiencia de Evaluación de Laboratorios Universitarios en relación a la Norma ISO 17025 (Monge et al., S.F):**

Los laboratorios universitarios en la República de Argentina, realizan además de docencia, tareas de investigación y extensión. En relación a estas últimas, muchas llevan a cabo actividades de evaluación de aspectos de calidad de productos o evaluación de conformidad con especificaciones establecidas en las normas técnicas.

Los laboratorios universitarios para realizar estas tareas de evaluación, deben contar, en el marco legal establecido por el Sistema Nacional de Normas de Calidad y Certificación con un reconocimiento formal o acreditación.

El objetivo de este trabajo es determinar las capacidades técnicas y de gestión de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se trata de establecer el estado actual de los laboratorios, con respecto a la Norma IRAM 301 / ISO 17025. Se ha utilizado la encuesta como forma metodológica para la recolección de información. Las conclusiones confirman que los laboratorios reconocen la importancia de contar con una acreditación de sus competencias o eventualmente con un reconocimiento de las mismas, por lo tanto, surge la necesidad de adecuar los laboratorios a las exigencias de los organismos de acreditación.

Se ha considerado como criterio de selección para la realización de la encuesta a aquellos laboratorios, que realizan actividades de calibración y/o ensayo (y que además, han manifestado un interés por adecuarse a lo requerido por la norma de referencia, de acuerdo a la actividad actual o futura que el laboratorio estima necesario ser acreditado. En un segundo plano de importancia se consideró a los

laboratorios que tienen la posibilidad de ofrecer servicios de ensayo o calibración en los próximos dos años.

La estructura de la encuesta sobre Aspectos Técnicos y de Gestión ha sido dividida en tres aspectos, una referida a la identificación del laboratorio y las dos partes siguientes, aspectos de Gestión y aspectos Técnicos respectivamente.

Los aspectos de gestión han sido agrupados de la siguiente forma:

- Organización
- Sistema de gestión
- Relación con clientes y proveedores
- Análisis, evaluación y mejora

Los aspectos técnicos fueron agrupados de la siguiente manera:

- Personal, instalaciones y condiciones ambientales
- Equipos y métodos de ensayo y calibración
- Muestreo, mediciones y resultados

Los laboratorios en general carecen de un sistema para gestión de la calidad. El estudio revela que la redacción de procedimientos, instrucciones, la conformación y conservación de registros no son prácticas habituales en los laboratorios.

Sin embargo, es necesario enfatizar que existen situaciones favorables, observadas en este estudio, que conforman una base para el desarrollo de sus capacidades en vista a su reconocimiento como organización competente. Estas están vinculadas a poseer personal asignado a la función de Director Técnico con responsabilidad por las operaciones técnicas, disponer de organigramas del laboratorio y de la organización a la cual pertenecen, contar con procedimientos para la revisión de pedidos, ofertas y contratos, y poseer listados de proveedores.

Las conclusiones anteriores confirman que los laboratorios reconocen la importancia de contar con una acreditación de sus competencias, por lo tanto, surge la necesidad de adecuarlos a las exigencias de los organismos de acreditación, logrando así, promover la prestación de servicios a terceros en el área de ensayos con un nivel de competencia adecuado.

No caben dudas sobre las capacidades científicas y técnicas de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería observadas en este trabajo. En este sentido, se percibe como fortaleza, un mayor desarrollo de los requisitos técnicos de la norma frente a los requisitos de gestión establecidos.

En este contexto, debe considerarse como incipiente el estado de desarrollo de los laboratorios frente a los requerimientos de la norma IRAM 301:2005 (ISO/IEC 17025:2005). Las falencias detectadas revelan que no se encuentran incorporados los principios y conceptos de la gestión de la calidad en el trabajo cotidiano, en contraste con los aspectos técnicos, que, como se expresó, evidencian un mayor grado de acercamiento a la norma.

Las acciones que se proponen a realizar para solventar lo antes expuesto fueron las siguientes:

- Conformar grupos de laboratorios con idénticas necesidades de ser acreditadas.
- Vincular los laboratorios con potenciales clientes.
- Promover la inclusión de los laboratorios, en el nivel inicial del sistema de reconocimiento UNILAB.
- Establecer un plan de formación de recursos humanos de los laboratorios en cuestiones concernientes a la gestión de la calidad.
- Contemplar las necesidades sobre la infraestructura física e infraestructura metrológica de los laboratorios.

A manera de conclusión, es destacable el interés y la colaboración brindados por el personal encuestado y las autoridades institucionales, evidenciando de este modo, un marcado interés por el desarrollo de los laboratorios universitarios, distinguidos por un contexto de alta complejidad.

Podemos decir que, la Norma ISO/IEC 17025:2005 para la competencia de laboratorios de ensayo y/o calibración es una norma internacional que sirve para la evaluación del sistema de aseguramiento de la calidad y suministrará los conceptos claves para la gestión, aseguramiento, control de la calidad, pautas y requisitos para la elaboración de un procedimiento de Validación y Estimación de la Incertidumbre

en el ensayo de Comprensión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

## **CAPITULO II**

### **CALIDAD – NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005**

A continuación se detallan algunos conceptos y aspectos teóricos que se consideran en el presente trabajo que permitió sustentar la discusión de los resultados.

#### **2.1 CALIDAD**

Hasta hace un tiempo, la Calidad en las distintas organizaciones se centraba en el control y verificación de la Calidad de un producto. Esto implicaba que la responsabilidad por la Calidad de los productos la asumía un grupo minoritario de personas, quienes estaban en capacidad de entender y resolver los problemas referentes a la Calidad (Rosales, 2009).

Se puede definir la Calidad como un propósito conveniente; es satisfacer los requerimientos, el producto diseñado y elaborado para cumplir con sus funciones de manera apropiada (Fracassetti y Pérez, 2001).

La definición de Calidad ha evolucionado con el tiempo. Lo primero que nos viene a la mente cuando pensamos en Calidad es en calificar al producto o servicio como “bueno” o “malo”. Sin embargo, la bondad de un producto o servicio puede tener una definición amplia y subjetiva donde es el cliente quien decide en base a sus gustos o necesidades sin tener necesariamente algunos parámetros específicos (Norma Internacional ISO 9000:2005).

En resumen, la Calidad la podemos definir de la siguiente manera:

“Capacidad de las características inherentes al producto, sistema o proceso, para cumplir con los requisitos de los clientes y otras partes interesadas” (Norma Internacional ISO 9001:2008).

Podemos identificar como partes interesadas, por ejemplo: accionistas, empleados, comunidades, asociaciones, empresas, laboratorios, institutos y otros similares que se vean afectados por las actividades de la organización.

Según la Norma ISO/IEC 17025:2005 la Calidad se define como “hacer las cosas **bien** y hacerlas **bien a la primera** para que un producto o servicio sea **bueno**”.

### *2.1.2 Sistema de Calidad*

Un Sistema de la Calidad, es un método de trabajo que asegura la conformidad de los clientes o productos bajo los requisitos que éstos especifican. El mismo tiene que operar o funcionar de acuerdo al tipo de empresa, producto o servicio, debe amoldarse a los objetivos de la Calidad, y guardar una estrecha relación entre el proveedor y el cliente. Esta debe funcionar de manera permanente y continua, y el conjunto de responsabilidades, actividades, recursos y procedimientos que se establecen, se deben llevar a cabo para la Gestión de su Calidad (Norma Internacional ISO 9001:2008).

Los Sistemas de Calidad no solo se aplican a las grandes empresas industriales, empresas productoras de bienes u organizaciones de servicios, grandes y pequeñas, pueden y deben implantar un sistema de gestión basado en la calidad empresas de menos de diez personas grandes empresas y también servicios públicos. Así que implantar el sistema es independiente del tamaño de la empresa, lo que importará es llevarlo a la práctica con eficacia, diseñándolo de forma ajustada a las necesidades concretas, sin perder de vista que se pretende ahorrar gastos y no aumentarlos con un proceso burocrático, complicado y de dudosa utilidad (Fracassetti y Pérez, 2001).

### *2.1.3 Sistema de Gestión de la Calidad*

El Sistema de Gestión de la Calidad consiste en un conjunto de elementos interrelacionados tales como los procesos, actividades y recursos, dispuestos ordenadamente en una estructura ubicada en un entorno dado y se implementa para establecer la política y los objetivos de la Calidad de una organización como se muestra en la Figura N° 1 (Norma Internacional ISO 9001:2008).



**Figura N° 1.** Ciclo de un Sistema de Gestión de la Calidad

**Fuente:** Norma Internacional ISO 9001:2008

Para el logro de los mismos, el Sistema de Gestión de la Calidad se fundamenta en las siguientes premisas: (Norma Internacional ISO 9001:2008)

- La voluntad de la organización expresada en su política de la Calidad.
- La definición clara de los objetivos y metas de la Calidad.
- La competencia, dedicación y sentido común del personal en el desarrollo de sus actividades.
- La disponibilidad de los medios y recursos requeridos para alcanzar los objetivos y metas de la Calidad.
- La implementación de los procesos necesarios para la Gestión de la Calidad.

El Sistema de Gestión de la Calidad se diseña y se implementa de acuerdo a un conjunto de requisitos establecidos por la Alta Dirección, los mismos se pueden documentar en un Manual de la Calidad o en un Plan de la Calidad para un producto, proyecto o contrato específico, con el único propósito de satisfacer a los clientes (Norma Internacional ISO 9001:2008).

## 2.2 NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005

Es una norma que define los requerimientos para *acreditar* la competencia de los laboratorios de ensayo y/o calibración incluyendo el muestreo, con el fin de asegurar la calidad de los resultados emitidos. Las siglas ISO e IEC provienen de su significado en inglés *International Organization for Standardization* (Organización Internacional para la Estandarización) y la *International Electrotechnical Commission* (Comisión Electrotécnica Internacional) respectivamente. La misma cubre ensayos normalizados, no normalizados y métodos propios del laboratorio y se aplica a todas las organizaciones o laboratorios independientemente del número de personal (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005).

Los métodos “No Normalizados” son aquellos métodos que diseña o desarrolla el laboratorio; y los métodos “Normalizados” son aquellos empleados fuera del alcance previsto y se verifican con métodos oficiales o métodos de organismos nacionales o internacionales reconocidos (Cortés, S.F.).

### 2.2.1 Importancia

Esta norma es importante para todos aquellos laboratorios en el desarrollo de sus Sistemas de Calidad, administración y operaciones técnicas. Facilita la cooperación entre laboratorios y organismos y la participación en el intercambio de información y experiencia, así como de la unión armónica entre las normas y procedimientos que aplican en los mismos (Rosales, 2009).

En 1999 entonces se publica la primera versión de la norma internacional ISO/IEC 17025:1999. Tras la publicación de la norma internacional ISO 9001:2000 la norma ISO/IEC 17025:1999 fue revisada, y su segunda edición fue publicada en 2005 (Valle y Guttman, 2001).

En esta norma están incorporados todos los requisitos de gestión de la Norma ISO 9001:2008. Los laboratorios que trabajen de acuerdo a la Norma 17025:2005, lo

harán también de acuerdo a la ISO 9001:2008 pero no al revés (Valle y Guttman, 2001).

### *2.2.2 Objeto y Campo de Aplicación*

Esta Norma Internacional establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos y/o calibraciones incluidos el muestreo, estando bajo métodos normalizados y no normalizados, así como también los desarrollados por el propio laboratorio (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005).

Es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos y/o calibraciones, bien sea para laboratorios de primera, segunda y tercera parte e independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo y/o calibración. Las notas que se incluyen no contienen requisitos y no forman parte integral de la Norma (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005).

Es aplicable a laboratorios cuando desarrollen los sistemas de gestión para sus actividades de la calidad, administrativas y técnicas, igualmente puede ser usada por los clientes del laboratorio, autoridades reglamentarias y organismos de acreditación.

Al cumplir los laboratorios de ensayos y calibración con esta Norma Internacional, actuarán bajo un sistema de gestión de la calidad para sus actividades de ensayo y/o de calibración que a su vez cumplirá con los principios de la Norma Internacional ISO 9001:2008. Esta Norma Internacional cubre requisitos para la competencia técnica que no están cubiertos por la Norma ISO 9001:2008 (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005).

### *2.2.3 Requisitos Relativos a la gestión y Requisitos Técnicos*

La Norma está dividida en dos grandes bloques de requisitos, Los Relativos a la Gestión y los Técnicos.

Los Requisitos Relativos a la Gestión establecen las condiciones que se deben cumplir en cuanto al área administrativa de los laboratorios, entre los que se encuentran los siguientes aspectos: (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005)

- Organización
- Sistemas de Gestión
- Control de documentos
- Revisión de los pedidos, ofertas y contratos
- Subcontratación de ensayos y/o calibraciones
- Compras de servicios y de suministros
- Servicios al cliente
- Quejas
- Control de trabajos de ensayos o de calibraciones no conformes
- Mejora
- Acciones correctivas
- Acciones preventivas
- Control de los registros
- Auditorías internas
- Revisiones por la dirección

En cuanto a los Requisitos Técnicos, aquí se describen todos los factores para determinar la exactitud y confiabilidad de los ensayos y/o calibraciones que se ejecutan en los laboratorios, estos son los siguientes: (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005)

- Generalidades
- Personal
- Instalaciones y condiciones ambientales
- Métodos de ensayo y calibración
- Validación de los métodos
- Equipos
- Trazabilidad de las mediciones

- Muestreo
- Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración
- Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración
- Informe de los resultados

Adicionalmente, al final de la normativa se encuentran dos apéndices que corresponden a las referencias cruzadas con la Norma ISO 9001:2008 y las directrices para establecer aplicaciones a campos específicos (Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005).

#### 2.2.4 *Certificación y Acreditación*

- *Acreditación*: Reconocimiento formal que hace una tercera parte confirmando que un organismo cumple con los requisitos especificados y es competente para desarrollar tareas específicas de evaluación de la conformidad (Rosales, 2009).
- *Certificación*: Procedimiento por el cual una tercera parte asegura por escrito que un producto, proceso o servicio está conforme con los requisitos especificados (Rosales, 2009).

Existe una gran confusión al respecto debido a que ambas actividades realizan una evaluación. La diferencia de lo evaluado y de los métodos empleados para esta evaluación determinan cuales actividades deben ser acreditadas y cuales certificadas. Por lo tanto, podemos decir que la diferencia es:

La acreditación es el reconocimiento formal y público por parte de un organismo imparcial y de tercera parte, de la competencia técnica y de la confiabilidad; de esta forma el Organismo de la Evaluación de la Conformidad recibe un reconocimiento del trabajo realizado correctamente y de acuerdo a una norma apropiada y reconocida internacionalmente. Mientras que, la certificación es la confirmación de que una organización ha establecido un sistema de gestión de la calidad conforme con ciertos requisitos (Cortés, S.F).

Finalmente, podemos decir que, la certificación está orientada a la evaluación del grado de cumplimiento de los productos y/o servicios respecto a unas normas; y la acreditación reconoce la competencia técnica de una organización para la realización de ciertas actividades bien definidas de evaluación de la conformidad (Cortés, S.F).

## CAPITULO III

### ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

#### 3.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

La Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) es un laboratorio cuyo objetivo es la enseñanza, investigación y servicios a terceros, en todo lo referente al ámbito de la Ingeniería Civil. El mismo presenta una variedad de equipos destinados a diversos tipos de evaluación, pruebas o ensayos, con la finalidad de dar el mejor servicio a estudiantes en proceso de aprendizaje, a clientes internos y externos así como otros laboratorios ajenos a la Universidad Central de Venezuela.

Uno de los ensayos que se realizan en el mencionado laboratorio, es el ensayo de compresión de cilindros de concreto, el equipo utilizado para el mismo es como el que se muestra en la Figura N° 2, cuya finalidad es la de medir y evaluar, la resistencia del concreto a la fractura de probetas de dicho material.



**Figura N° 2.** Equipo de Compresión de Cilindros de Concreto

**Fuente:** Propia del autor.

De acuerdo a la Norma COVENIN 338:2002, traducción de la norma ASTM C 39 (de sus siglas en inglés “Prueba para Resistencia a la Compresión de Muestras Cilíndricas”), el ensayo tiene como objeto la descripción del método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto.

La descripción del procedimiento de ejecución del ensayo de compresión de cilindros de concreto se divide en las siguientes partes: (Norma Venezolana COVENIN 338:2002)

- Preparación de la muestra: Las caras de compresión deben ser rematadas de tal forma que se logre el paralelismo entre las caras del cilindro. Las superficies de compresión deben ser visiblemente planas, sin grumos, ralladuras o defectos visibles.

Para el momento del ensayo el remate debe tener una resistencia superior a la del concreto que se va a ensayar; pudiéndose emplear cualquier material capaz de proporcionar en el momento del ensayo, la resistencia y la adherencia necesaria. El espesor de la capa de remate debe estar entre 2 y 3% de la dimensión lateral (cara de la probeta).

Uno de los materiales más usados para el remate de las caras de los cilindros, es el mortero de azufre, el cual debe tener una resistencia mínima de  $350 \text{ kgf/cm}^2$  a las dos horas y ensayado en cubos de 50 x 50 mm.

Los cilindros se deben ensayar a la edad prevista, con una tolerancia de  $\pm t/14$ , donde t es la edad prevista para el ensayo.

La sección del cilindro se determina en su zona central y el diámetro de cálculo es el promedio de los diámetros ortogonales aproximados hasta el milímetro entero más próximo.

La altura del cilindro se determina después de ser rematadas sus caras. La altura se aproxima al milímetro más cercano.

- Procedimiento: Los cilindros se colocan en la máquina de ensayo, se centran cuidadosamente y se comprimen. Tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina deben estar exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.

En el caso de las máquinas de tipo mecánico el desplazamiento del cabezal debe ser aproximadamente de 1,3 mm/min; en las máquinas operadas hidráulicamente se aplicará una presión a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kg/cm<sup>2</sup>/seg a 3,5 kg/cm<sup>2</sup>/seg. Durante la aplicación de la primera mitad de la presión, se permite incrementar dicha tasa.

- Expresión de los resultados: La resistencia a compresión de cada cilindro se calcula con la ecuación o modelo matemático representado por la Ecuación N° 1 a continuación, que es la que define el estudio del ensayo:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación N° 1}$$

Donde:

$\sigma$ : es el esfuerzo generado producto de la compresión Kg/cm<sup>2</sup>

P: es la presión ejercida en la probeta cilíndrica Kg

A: es el área transversal de la probeta cilíndrica en unidades de cm<sup>2</sup>

La desviación estándar máxima en los ensayos de resistencia de una muestra, debe ser 8 kg/cm<sup>2</sup> para considerar la precisión la dispersión máxima entre dos laboratorios, debe ser de 16 kg/cm<sup>2</sup>, (dos veces la desviación estándar). Esto es la expresión de la exactitud. (Norma Venezolana COVENIN 338:2002).

## CAPITULO IV ELEMENTOS ESTADÍSTICOS

### 4.1 ASEGURAMIENTO DE LOS RESULTADOS

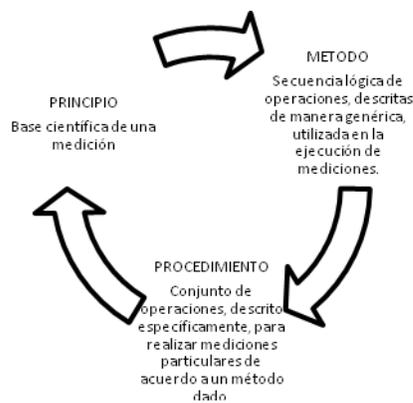
#### 4.1.1 Metrología

La metrología no es más que la ciencia de las mediciones, la misma se basa fundamentalmente en las ciencias puras como lo son las matemáticas, física, química y la biología. Como parte de esta ciencia tenemos a la medición, que es una técnica mediante la cual, asignamos un valor a una propiedad, como resultado de una comparación de la misma con otra similar tomada como patrón (Rosales, 2009).

Para llevar a cabo la medición, cuyo conjunto de operaciones tiene por objeto el de determinar el valor de la magnitud, no sólo debemos tomar la lectura y registrarla, sino que debemos responder también las siguientes interrogantes: (Rosales, 2009)

- ✓ ¿Qué magnitud se desea medir?
- ✓ ¿Cuál es su aplicación?
- ✓ ¿Con qué magnitud le asignamos un valor?
- ✓ ¿Qué equipo se debe utilizar?
- ✓ Nivel de incertidumbre deseado “exactitud”
- ✓ Método de medición
- ✓ ¿Cómo se toman y registran los datos?
- ✓ Factores de corrección
- ✓ ¿Cómo reportar los resultados?; entre otros.

Con el esquema mostrado en la Figura N° 3, podemos encerrar y vincular las bases principales para el aseguramiento de los resultados de un ensayo determinado, contemplado por un principio, un método y un procedimiento (Rosales, 2009).



**Figura N° 3.** Modelo de Aseguramiento de los Resultados.

**Fuente:** Rosales, 2009. Metrología Básica

Un atributo a considerar es el factor magnitud, que es la propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente, ejemplos de ello tenemos: la temperatura, el tiempo, la masa, concentración de masa, volumen, densidad (Rosales, 2009).

Afirmamos entonces de todos los ejemplos anteriores que, es la expresión bajo la forma de un número y de medida apropiada, generalmente expresada como una unidad de medida, es decir, la medida de Presión XX kPa y en el caso para la masa YY Kg (Rosales, 2009).

#### 4.1.2 *Mensurando*

El propósito de una medición es determinar el valor de una magnitud, llamada mensurando, que se define como, “el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente” (Centro Español de Metrología, 2008).

La definición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición. En no pocas ocasiones se mide algo distinto al propósito original. La imperfección natural de la realización de las mediciones, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud. Toda medición lleva implícita una incertidumbre, que bien se define más adelante, es un parámetro que caracteriza la

dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando (Schmid y Lazos, 2000).

La definición del mensurando usualmente alude, casi siempre de manera implícita a una estimación de la incertidumbre que se requiere. Es notable el alto riesgo que se corre cuando la definición del mensurando no es acorde con la estimación de la incertidumbre requerida (Schmid y Lazos, 2000).

#### *4.1.3 Valor Verdadero y Valor Convencionalmente Verdadero*

El valor verdadero por naturaleza es indeterminado, es consistente con la definición de una magnitud en particular, es un valor de medición sin errores, esto nos lleva al concepto de valor convencionalmente verdadero (Centro Español de Metrología, 2008).

El valor convencionalmente verdadero es un valor atribuido a una magnitud particular y aceptado, algunas veces por convenio, teniendo una incertidumbre apropiada para un uso dado, ejemplo de ello: a) En un lugar específico, el valor atribuido a la magnitud realizada por un patrón de referencia puede ser tomado como un valor convencionalmente verdadero, b) El valor de la constante de Avogadro,  $N_A = 6,022\ 136\ 7 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , recomendado por CODATA (1986) (Centro Español de Metrología, 2008).

El valor convencionalmente verdadero es denominado, a veces, “valor asignado”, mejor estimación del valor, valor convencional o valor de referencia. A menudo se utiliza un gran número de resultados de medida de una magnitud para establecer un valor convencionalmente verdadero (Schmid y Lazos, 2000).

#### 4.1.4 Teoría de los Errores

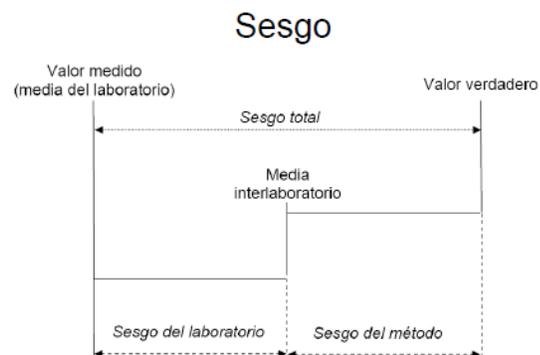
Cuando se mide una cantidad, bien sea directa o indirectamente, la medida que se obtiene no es necesariamente el valor exacto de tal medida, ya que el resultado obtenido estará afectado por errores debidos a múltiples factores.

En estos casos es necesario estimar el error cometido al efectuar una medida o una serie de medidas. El conjunto de reglas matemáticas dedicado a su estudio se conoce como “Teoría de los Errores”, y resulta imprescindible tanto para sacar todo el partido posible a un conjunto de datos experimentales como para evaluar la fiabilidad de estos (Rosales, 2009).

Convencionalmente, existen tres tipos de errores: (Rosales, 2009)

- Error de medición: es el resultado de un mensurando menos el valor convencionalmente verdadero.
- Error sistemático: media de un número grande de mediciones menos el valor convencionalmente verdadero.
- Error aleatorio: resultado de una medición menos la media de un número grande de mediciones.

Otro factor considerado como error es el llamado Sesgo, que como vemos en la Figura N° 4, es un error que se detecta en los resultados de un estudio y que se debe a factores en la recolección, análisis, interpretación o revisión de los datos (Rosales, 2009).



**Figura N° 4.** Errores asociados al Sesgo.

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de Incertidumbre.

Los resultados de estos errores junto con el de los valores medidos, se pueden encontrar o no de acuerdo a un rango dado como parámetro de la medición analizando y evaluando su distribución normal (Rosales, 2009).

#### *4.1.5 Trazabilidad*

La trazabilidad de los resultados de las mediciones es un aspecto de vital importancia que puede lograrse a través de la aplicación de políticas y procedimientos adecuados a las necesidades de medición de la organización.

Una definición clara y general de la trazabilidad es la siguiente: “Propiedad del resultado de una medición o de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas” (Centro Español de Metrología, 2008).

#### *4.1.6 Materiales de Referencia Certificados*

Los materiales de referencia certificados (MRC) se utilizan ampliamente como patrones de medición de cantidad de sustancia y de otras magnitudes químicas y físicas. Sin embargo, es indispensable que estos materiales de referencia sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) con el fin de que pueda establecerse una cadena de trazabilidad completa desde los laboratorios de campo hasta las unidades del SI (Schmid y Lazos, 2000).

El uso de MRC en los laboratorios de ensayos permite mediciones altamente confiables, a bajo costo y referidas (trazables) al SI. Estas mediciones repercuten a su vez, en la compra de un determinado producto, para verificar el cumplimiento de alguna norma, o bien para lograr la aceptación de un producto o servicio tanto a nivel nacional como internacional (Schmid y Lazos, 2000).

Como una consecuencia de estos hechos, el uso de MRC, con trazabilidad al SI demostrada, es requisito indispensable para el establecimiento de sistemas de calidad,

para la evaluación de la conformidad y para la acreditación de laboratorios de ensayos, lo cual ha generado un incremento considerable en su demanda (Schmid y Lazos, 2000).

Una medición confiable implica como mínimo: repetidas observaciones, instrumento de medición y calibración – trazabilidad. Según la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, lo necesario para una buena medición y aseguramiento de los resultados implica:

- Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración.

El laboratorio debe tener procedimientos de control para:

- Seguimiento de la validez: esto es un uso regular de materiales de referencia certificados (MRC).
- Participación en comparaciones interlaboratorios, para cuantificar sesgo, visualizar competencia y trazabilidad.
- Repetición de ensayos, calibraciones.
- Registro que permita identificar tendencias.

Esto implica que el laboratorio:

- Haga uso de los materiales de referencia para patrones, instrumentos calibrados, para obtener trazabilidad e incertidumbre.
- Cuando sea posible aplicación de técnicas estadísticas.

## **4.2 VALIDACIÓN DE MÉTODOS**

La validación de un método es un requisito importante para la acreditación de un laboratorio o una empresa, sin embargo, se suele considerar a la validación de un método como algo que solamente se puede hacer en colaboración con otros laboratorios.

La definición formal es la que sugiere la Norma Internacional ISO 8402:1994: “La validación de un método es la confirmación mediante examen y suministro de

evidencia objetiva de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto”.

Los principios básicos en la validación son: (Rosales, 2009)

- Métodos y equipos probados.
- Personal calificado.
- Evaluación periódica.
- Consistencia entre laboratorios.
- Procedimiento de control y aseguramiento de la calidad.

#### *4.2.1 Objetivo de la Validación*

Para el desarrollo de una validación, los objetivos varían dependiendo del método que se esté trabajando, ya que, los mismos tienen que estar orientados a los ensayos de los cuales estos dependan. Algunos factores que se deben considerar para plantear los objetivos de una validación es considerar cuando debemos realizarla y para ello se muestran los siguientes puntos: (Rosales, 2009)

- Se desarrolla un método nuevo.
- Se revisa un método ya establecido para mejorar o extender a un nuevo problema.
- El control de calidad indica que el método en uso está cambiando con el tiempo.
- Se usa un método ya establecido en un laboratorio diferente o con diferente analista o con diferente instrumental.
- Para demostrar la equivalencia entre 2 métodos, por ejemplo: Un método nuevo y una norma.

De manera general y concreta, en base a las necesidades de la validación que los objetivos son los siguientes: (Rosales, 2009)

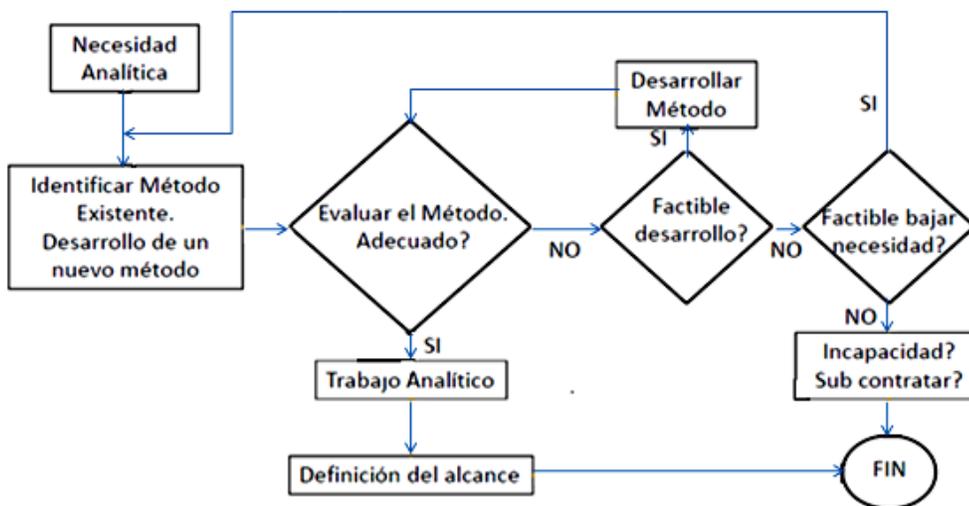
- Evaluar las características de desempeño del método.

- Demostrar que el método desarrollado por un laboratorio es útil para la aplicación propuesta.
- Demostrar que las modificaciones realizadas a un método no afectan su desempeño, obteniendo resultados confiables.
- Demostrar que un método es equivalente a otro.

#### 4.2.2 Necesidad Analítica

La necesidad analítica es el factor que define la base del método que requiere un laboratorio y por la cual se orienta su validación, se identifica y evalúa el método para determinar su factibilidad y poder realizar el trabajo analítico (Schmid y Lazos, 2000).

Se establece la forma de respuesta de un método, bien sea, si se trata de un método analítico o un método físico y si éste se evalúa de manera cualitativa o cuantitativa, si el objeto de análisis se encuentra disperso o localizado, entre otros, de manera de orientar y definir la base sobre la que se sustenta la validación del método (Rosales, 2009).



**Figura N° 5.** Esquema de pasos a seguir para una validación.

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de Incertidumbre.

Podemos notar en la Figura N° 5, que partiendo de la necesidad analítica, podemos llegar a la validación de métodos con éxito, y para ello debemos identificar el mismo para evaluarlo y determinar su factibilidad o no a los métodos que se realizan en los laboratorios (Rosales, 2009).

#### 4.2.3 Parámetros de Desempeño

La validación de un método, brinda una idea de las capacidades y limitaciones del método que se pueden experimentar durante el uso rutinario. Basado en esto, se pueden definir los parámetros de desempeño en una validación (Rosales, 2009).

Estos parámetros de desempeño, como se muestra en la Figura N° 6, indican lo que es una prueba de desempeño, lo cual es, “La evaluación periódica del desempeño de laboratorios individuales y grupos de laboratorios que se realiza mediante la distribución de materiales típicos por un organismo de prueba independiente, para que sean analizadas por los participantes sin supervisión” (Norma Internacional ISO 8402:1994).



**Figura N° 6.** Requisitos para la confirmación o evaluación de parámetros en la validación de métodos.

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de Incertidumbre

Dependiendo del caso, se requiere evaluar todos o sólo alguno de estos parámetros de desempeño que se muestran en la Figura N° 6.

A continuación se definen cada uno de estos parámetros de desempeño:

- **Identidad:** capacidad de demostrar que la señal es motivada a la presencia del objeto en estudio a cuantificar (Rosales, 2009).
- **Selectividad:** a) cualitativa, hasta que punto otras sustancias interfieren, b) cuantitativa, coeficiente o factor de respuesta de una sustancia en una matriz (otras sustancias interfieren) (Centro Español de Metrología, 2008).
- **Especificidad:** la capacidad de un método para medir solamente lo que se pretende que mida (Eurachem, 1998).  
Capacidad de determinar el objeto en estudio inequívocamente en presencia de componentes los cuales se espera estén presentes (Eurachem, 1998).
- **Limite de detección:** el menor contenido que puede medirse con certeza estadística razonable (Eurachem, 1998).
- **Limite de cuantificación:** contenido igual o mayor que el menor punto de concentración (Eurachem, 1998).
- **Intervalo de trabajo:** define la habilidad del método para obtener resultados de la prueba proporcionales al objeto en estudio (Eurachem, 1998).
- **Linealidad:** se deduce que el intervalo lineal es el intervalo dentro del cual los resultados de prueba obtenidos por el método son proporcionales al objeto en estudio (Eurachem, 1998).
- **Exactitud:** proximidad entre el resultado de una medición y el valor convencionalmente verdadero. Se hace definir exactitud como la incertidumbre de la medición (Rosales, 2009).  
La cantidad referida a las diferencias entre la media de una serie de resultados o un resultado individual y el valor el cual se acepta como valor verdadero o correcto para la cantidad medida (Compendium Chemical Terminology, 1987).
- **Sesgo:** la diferencia entre el valor esperado de los resultados de prueba y un valor de referencia aceptado. (ver Figura N° 4) (Rosales, 2009).

- Repetibilidad y reproducibilidad: estos términos se definen más adelante. En un caso típico de estudio, la repetibilidad y la reproducibilidad se realiza por niveles, repeticiones y período de tiempo establecido tal como se muestra en la Tabla 1 (Rosales, 2009).
- Sensibilidad: precisión bajo condiciones de reproducibilidad, es decir, condiciones según las cuales los resultados de prueba se obtienen con el mismo método, sobre objetos de prueba idénticos, en diferentes laboratorios, por diferentes operadores, usando diferentes equipos (Norma Internacional ISO 3534.1:2008).
- Robustez: el cambio en la respuesta de un instrumento de medición dividido por el correspondiente cambio del estímulo (Compendium of Analytical Nomenclature' 1998).
- Recuperación: fracción del objeto en estudio que se agrega a una muestra de ensayo antes del análisis. El objetivo es, evaluar la eficiencia del método para detectar todo el objeto en estudio presente en una muestra (Eurachem, 1998).

#### 4.2.3.1 Grados de Libertad

Referenciado por primera vez en 1908, artículo de “Student”, siendo Ronald Fisher (1915), el primero que hace referencia en forma explícita a dicho artículo, sobre el coeficiente de correlación y comprensión de los grados de libertad (Rosales, 2009).

En general, los grados de libertad es el número de términos de una suma, menos número de restricciones sobre los términos de dicha suma. El mismo lo podemos representar por la ecuación siguiente: (Centro Español de Metrología, 2008)

$$v = R_e - T \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Donde:

$v$ : Grados de libertad

$R_e$ : Mediciones en uno o en diferentes niveles (número de términos)

$T$ : Tiempos de estudio (restricciones)

#### 4.2.4 Repetibilidad y Reproducibilidad

Unas de las cualidades importantes para una validación, para determinar la exactitud y veracidad del método y como se mencionó en los parámetros de desempeño es la repetibilidad y la reproducibilidad.

La repetibilidad, se refiere a la concordancia entre los resultados de medición de sucesivas observaciones de la misma magnitud efectuados con la aplicación de la totalidad de las siguientes condiciones iguales: a) método de medida, b) analista, c) instrumento de medida, d) lugar y e) condiciones de uso del instrumento, es decir, “condiciones según las cuales los resultados independientes de una prueba se obtienen con el mismo método, sobre objetos de prueba idénticos, en el mismo laboratorio, por el mismo operador, usando el mismo equipo y dentro de intervalos de tiempo cortos” (Schmid y Lazos, 2000).

La reproducibilidad, es la concordancia de los resultados de mediciones del mismo mensurando, en el caso que las mediciones individuales son efectuadas haciendo variar las condiciones de medición tales como: método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar y condiciones de uso, es decir, “condiciones según las cuales los resultados de prueba se obtienen con el mismo método, sobre objetos de prueba idénticos, en diferentes laboratorios, por diferentes operadores, usando diferentes equipos” (Schmid y Lazos, 2000).

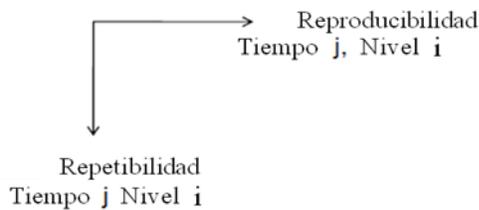
Las operaciones que se ejecutan en los procesos del cálculo de la repetibilidad y la reproducibilidad requieren de un proceso de evaluación estadístico, partiendo de la toma de valores producto del resultado de la ejecución de un método de un ensayo en particular y distribuyéndolos de la manera en la que se muestra en la Tabla 1 (Rosales, 2009).

**Tabla 1** Evaluación de la Repetibilidad y Reproducibilidad.

<i>Nivel</i>	<i>Tiempo 1</i>	<i>Tiempo 2</i>	<i>Tiempo 3</i>	<i>Tiempo 4</i>	<i>Tiempo 5</i>
Nivel 1	C11	C21	C31	C41	C51
	C12	C22	C32	C42	C52
	C13	C23	C33	C43	Cij

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de Incertidumbre.

Los valores de una medición o un método de ensayo identificados con la letra “Cij” se distribuyen de manera que se puedan evaluar por columnas y por filas o por niveles y por tiempos la repetibilidad y reproducibilidad, tal y como se muestra en la Figura N° 7.



**Figura N° 7.** Representación de Repetibilidad y Reproducibilidad.

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de Incertidumbre.

Según Rosales, 2009, en su guía para Validación de Métodos y Estimación de la Incertidumbre, un desarrollo para los cálculos de la repetibilidad y reproducibilidad viene dado por las siguientes ecuaciones y procedimientos:

- Promedio diario; es el promedio de los valores obtenidos en un mismo nivel y en un mismo tiempo, la ecuación que lo representa es la siguiente:

$$\bar{C}_i = \frac{\sum_{j=1}^{R_e} C_{ij}}{R_e} \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Donde:

$\bar{C}_i$ : Promedio diario de valores i en un mismo nivel y en un mismo tiempo

$C_{ij}$ :  $i$  = Tiempo;  $j$  = Repetición; valor de medición

$R_e$ : Repeticiones en un mismo nivel

- Promedio general; esto representa el promedio de todos los valores en un mismo nivel y la ecuación es la siguiente:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^T \bar{C}_i}{T} \quad \text{Ecuación N}^\circ 4$$

Donde:

$\bar{C}$ : Promedio general

- Varianza; Medida de dispersión, igual a la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a su promedio, dividido por el número de observaciones (Centro Español de Metrología, 2008).

La ecuación que representa a la varianza, es una suma de diferencias cuadráticas y se muestra en la Tabla N° 2 (Rosales, 2009).

**Tabla 2** Representación esquemática para el desarrollo estadístico de la varianza

<i>Análisis de varianza simple</i>			
Origen de varianza	Grados de libertad ( $\nu$ )	Sumas de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas medias (DMC)
Entre grupos	$\nu_1 = Re - T$	$SDC_B = \sum_{i=1}^{Re} Re(\bar{C}_i - \bar{C})^2$	$DCM_B = \frac{SDC_B}{\nu_1}$
Dentro de grupos	$\nu_2 = Re - T$	$SDC_W = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{Re} (C_{ij} - \bar{C}_i)^2$	$DCM_W = \frac{SDC_W}{\nu_2}$

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de la Incertidumbre

Donde:

$DCM_B$  y  $DCM_W$  son calculadas, empleando un análisis de varianza simple, utilizando las ecuaciones mostradas en la Tabla 2.

- Desviación Estándar; Dentro de los cálculos estadísticos del estudio de repetibilidad y reproducibilidad, están además, las desviaciones estándar de cada una de ellas y las ecuaciones que la representan son las siguientes: (Rosales, 2009)

$S_r, S_L, S_R$  Calculadas para con las ecuaciones siguientes:

$$s_r = \sqrt{DCM_W} \quad \text{Ecuación N° 5}$$

$$s_L = \sqrt{\frac{DCM_B - DCM_W}{Re}} \quad \text{Ecuación N° 6}$$

$$s_R = \sqrt{s_r^2 + s_L^2} \quad \text{Ecuación N° 7}$$

Donde,

$S_r$  : Desviación estándar de la repetibilidad, y

$S_R$  : Desviación estándar de la Reproducibilidad.

$S_L$  : Diferencia de las desviaciones medias cuadráticas

Finalizado el proceso de cálculo estadístico decimos que, “Cuando la reproducibilidad es mucho mayor a la repetibilidad, esto indica que es necesario entrenar al operador tanto en el manejo del instrumento como en la toma de datos”, así mismo, se concluye que “Cuando la repetibilidad es mucho mayor que la reproducibilidad el instrumento requiere de mantenimiento o simplemente no es adecuado para realizar dicha medición” (Eurachem, 1998).

Las ecuaciones mostradas anteriormente, sirven como modelos de cálculo para el análisis de la Reproducibilidad y la Repetibilidad de las mediciones realizadas tanto a ensayos del tipo analítico como a ensayos del tipo físico.

### 4.3 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

El resultado de una medición estará completo si se posee una declaración de la incertidumbre de la medición con un nivel de confianza asociado. La incertidumbre de la medición no es un término que significa error de la medición o precisión bajo condiciones de repetibilidad o reproducibilidad.

La incertidumbre es un término que tiene dos puntos de vista: cualitativo y cuantitativo. Desde el punto de vista cualitativo, es un parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando. Desde el punto de vista cuantitativo, es el resultado de la evaluación orientada a la caracterización del intervalo dentro del cual se estima que está el valor convencionalmente verdadero, generalmente con una determinada probabilidad.

#### *4.3.1 Identificación de las Fuentes de Incertidumbre*

La incertidumbre es un proceso de medición y como tal tiene imperfecciones asociadas, producto de que la incertidumbre no se calcula sino que se estima (Rosales, 2009).

Una vez que se identifica el mensurando y el modelo matemático característico de todo ensayo o proceso, se proceden a identificar las fuentes de incertidumbre que afectan los mismos. Éstas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, ver Tabla 3 (Schmid y Lazos, 2000).

**Tabla 3** Fuentes de incertidumbre asociadas a la medición

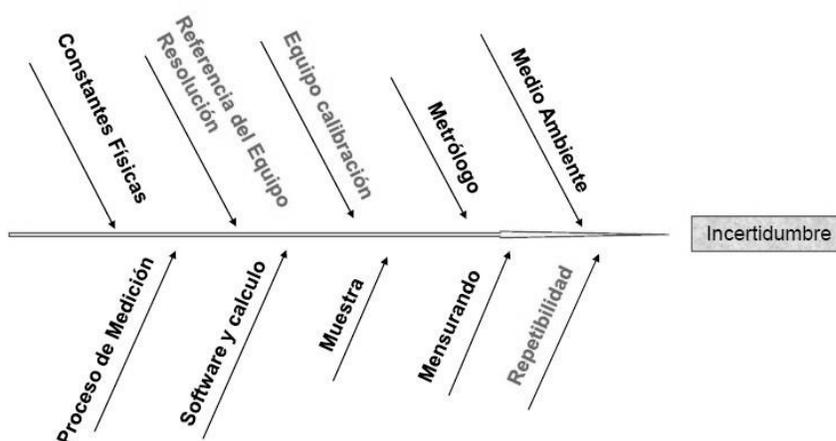
<i>Imperfecciones Asociadas</i>	<i>Tipos de Incertidumbre</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El instrumento de medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los resultados de la calibración del instrumento</li> <li>• La repetibilidad de las lecturas</li> <li>• Características del propio instrumento como resolución, deriva, entre otros</li> <li>• Variaciones en las magnitudes de influencia</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inducidas por el operador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inducidas por el medio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variaciones de las condiciones ambientales</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inducidas por otras magnitudes de influencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La incertidumbre del patrón o del material de referencia</li> <li>• La definición del propio mensurando</li> <li>• El modelo particular de la medición</li> </ul>

**Fuente:** Schmid y Lazos. Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. CENAM

No es recomendable desechar ninguna de las fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás, apoyadas en mediciones. Es preferible la

inclusión de un exceso de fuentes que ignorar algunas entre las cuales pudiera destacarse alguna importante. No obstante, siempre estarán presentes efectos que la experiencia, conocimientos y actitud crítica del metrologo permitirán calificar como irrelevantes después de las debidas consideraciones (Schmid y Lazos, 2000).

Todas ellas en conjunto, dan como resultado, la imperfección total asociada a la medición y la podemos representar de acuerdo a un esquema que engloba a todas ellas de manera de tener una mejor visualización de las mismas como lo muestra la Figura N° 8, Diagrama de Causa y Efecto o como comúnmente se le conoce “Diagrama Espina de Pescado” que, por su forma, es similar a la del esqueleto de un pez (Rosales, 2009).



**Figura N° 8.** Imperfecciones asociadas a la medición de la incertidumbre.

**Fuente:** Rosales, 2009. Validación de Métodos y Estimación de Incertidumbre.

Este diagrama, está orientado al problema o fenómeno que se quiere analizar, que en este caso es la *Incertidumbre*, y que encabeza la espina de pescado. Luego se definen los factores o agentes generales que dan origen a la situación, evento, fenómeno o problema que se quiere analizar. Se asume que todas las causas del problema que se identifiquen, pueden clasificarse dentro de una u otra categoría, lo que para el ensayo a estudiar, son todas las imperfecciones asociadas al proceso de medición de la incertidumbre y se colocan a lo largo de la espina principal, si una o más de las causas o factores identificados es muy compleja, ésta puede descomponerse en

subcausas. Éstas últimas se ubican en nuevas espinas, espinas menores, que a su vez confluyen en la espina correspondiente de la causa principal. El resultado de la utilización de esta herramienta es un diagrama ordenado de posibles causas (Imperfecciones asociadas a la incertidumbre) que contribuyen a un efecto (Incertidumbre) (Eduteka, 2006).

#### *4.3.2 Evaluación de la Incertidumbre*

Existen dos métodos principales para cuantificar o evaluar las fuentes de incertidumbre: El *Método de Evaluación Tipo A*, que está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras El *Método de Evaluación Tipo B* comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre.

Cabe mencionar que esta calificación no significa que exista alguna diferencia en la naturaleza de los componentes que resultan de cada uno de los dos tipos de evaluación, puesto que ambos tipos están basados en distribuciones de probabilidad. La única diferencia es que en las evaluaciones tipo A se estima esta distribución basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición mientras en el caso del tipo B se supone una distribución con base en experiencia o información externa al metrologo. En la práctica esta calificación no tiene consecuencia alguna en las etapas para obtener una estimación de la incertidumbre combinada.

##### *4.3.2.1 Evaluación Tipo A*

La incertidumbre de una magnitud de entrada obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales.

Para una medición que se realiza por un método bien caracterizado y bajo condiciones controladas, es razonable suponer que la distribución (dispersión) de los valores obtenidos de una medición no cambia, o sea se mantiene prácticamente igual

para las mediciones realizadas en diferentes días, por distintos metrólogos (esto es, la medición está bajo control estadístico). En este caso éste componente de la incertidumbre puede ser más confiablemente estimado con la desviación estándar obtenida de un solo experimento, que con la desviación estándar experimental obtenida por un número de mediciones, casi siempre pequeño.

Otras fuentes de incertidumbre que se evalúan con este método son la reproducibilidad y las obtenidas al hacer una regresión lineal.

#### 4.3.2.2 Evaluación Tipo B

Las fuentes de incertidumbre tipo B son cuantificadas usando información externa u obtenida por experiencia. Estas fuentes de información pueden ser:

- Certificados de calibración.
- Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento.
- Normas o literatura.
- Valores de mediciones anteriores.
- Conocimiento sobre las características o el comportamiento del sistema de medición.

#### 4.3.3 Función Distribución (Schmid y Lazos, 2000).

El resultado de cada observación realizada en un proceso de medición depende de la acción de un gran número de factores que varían durante el proceso de medición de forma incontrolable (efectos aleatorios). Por ejemplo: pequeñas corrientes de aire y vibraciones, variación de la atención del ojo del observador, variación de la temperatura, la humedad y la presión atmosférica, variaciones de los momentos de fricción entre partes móviles de instrumentos mecánicos, fluctuaciones de voltaje y la frecuencia de la red de alimentación eléctrica.

Es por esto, que el repetir varias veces una medición se obtiene, en general, diferentes valores en cada una de ellas que pueden o no repetirse. La experiencia ha demostrado

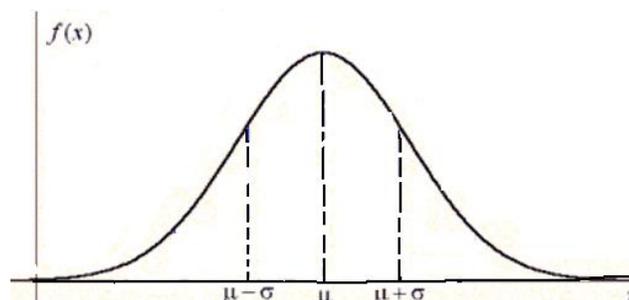
que, por mucho que se trate, es imposible lograr la misma combinación de factores en cada observación repetida. Los fenómenos que cumplen con estas condiciones se les denominan “*fenómenos aleatorios*” y las variables que los caracteriza “*variables aleatorias*”; De esta manera, podemos decir que “el resultado de una medición es una variable aleatoria”.

Estas pueden ser de dos tipos: variable aleatoria discreta y variable aleatoria continua. Una variable aleatoria discreta siempre cuenta con un conjunto de resultados posibles. Cuando una variable aleatoria puede tomar valores en una escala continua se le denomina variable aleatoria continua.

El resultado de la medición, como variable aleatoria, es una variable aleatoria continua, lo que permite una mejor comprensión de la evaluación de la incertidumbre de la medición.

#### 4.3.3.1 Tipos de Funciones de Distribución (Sáez y Font, 2001).

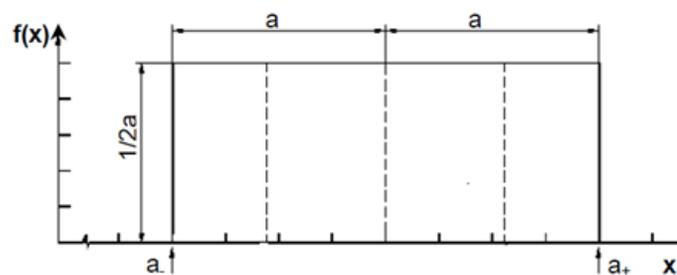
Existen tres tipos de funciones de distribución, una de ellas es la distribución normal también conocida como Distribución Gaussiana que no es más, que una distribución de una variable aleatoria continua, en la que la mayoría de los valores que se obtienen como resultados, se esperan que caigan dentro de dicha distribución, todas con tendencia hacia el centro de la curva que es donde se encuentra la mayor probabilidad y éxito en la medición como lo muestra la Figura N° 9.



**Figura N° 9.** Representación gráfica de una distribución rectangular o continúa.

**Fuente.** Sáez, S y Font, L. L&S Consultores C.A. Incertidumbre de la Medición: Teoría y Práctica

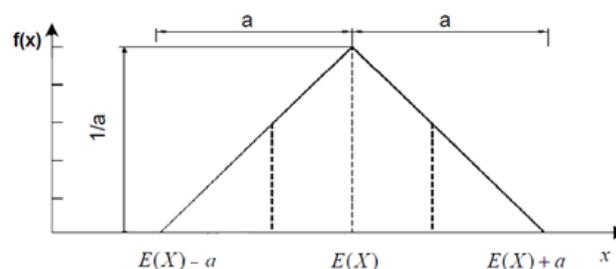
Frecuentemente sucede que de acuerdo a la información de que se dispone, sólo es posible establecer que todos los valores de una variable aleatoria están comprendidos en un intervalo que llamaremos  $a^-$  y  $a^+$ , y que cualquiera de los posibles valores tiene igual probabilidad de ocurrencia. En este caso se dice que la variable aleatoria cumple una *función (ley) de distribución rectangular o uniforme* tal como se muestra en la Figura N° 10. La función rectangular es también conocida como distribución uniforme continua.



**Figura N° 10.** Representación gráfica de una distribución rectangular o continua.

**Fuente.** Sáez, S y Font, L. L&S Consultores C.A. Incertidumbre de la Medición: Teoría y Práctica

En el caso que la probabilidad de que la variable aleatoria tome los valores en el intervalo  $a^-$  y  $a^+$ , tenga un valor máximo en el centro del intervalo y disminuya linealmente hacia los extremos del mismo hasta cero, estamos en presencia de una *función de distribución triangular* como lo muestra la Figura N° 11 (Sáez y Font, 2001).



**Figura N° 11.** Representación gráfica de una distribución triangular.

**Fuente.** Sáez, S y Font, L. L&S Consultores C.A. Incertidumbre de la Medición: Teoría y Práctica

#### 4.3.4 Incertidumbre Expandida

La forma de expresar la incertidumbre como parte de los resultados de la medición depende de la conveniencia del usuario. A veces se comunica simplemente como la incertidumbre estándar combinada, otras ocasiones como un cierto número de veces tal incertidumbre, algunos casos requieren se exprese en términos de un nivel de confianza dado. En cualquier caso, es indispensable comunicar sin ambigüedades la manera en que la incertidumbre está expresada (Schmid y Lazos, 2000).

##### 4.3.4.1 Factor de Cobertura $K$ y Nivel de Confianza (Schmid y Lazos, 2000).

La incertidumbre estándar combinada  $U_c$  representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad  $P$  de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal.

Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor  $K$ , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida  $U$ .

$$U = K \times U_c \quad \text{Ecuación N}^\circ 8$$

La incertidumbre expandida  $U$  indica entonces un intervalo que representa una fracción  $P$  (probabilidad) de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor de  $P$  es el llamado nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

En el medio industrial, a menudo se elige el nivel de confianza de manera tal que corresponda a un factor de cobertura como un número entero de desviaciones estándar en una distribución normal. Por ejemplo, en una distribución normal,  $K=1$  corresponde a  $P=68,27\%$ , para un  $K=2$  a  $P=95\%$ .

#### 4.3.5 *Proceso de Estimación de la Incertidumbre*

La estimación de la incertidumbre en un principio es bastante sencilla. Se debe como mínimo ejecutar lo siguiente: tener repetidas observaciones, emplear un instrumento de resolución finita y un instrumento calibrado. A continuación se presentan los pasos a seguir para obtener un estimado de la incertidumbre asociada al proceso de medición: (Rosales, 2009)

- Definir mensurando: se especifica aquí la variable que es objeto de medición y se incluye la relación del mensurando y las magnitudes de entrada sobre las cuales éste dependa.
- Modelo matemático: se identifica aquí la ecuación o modelo respectivo en relación con el mensurando (Ecuación N° 9), ésta ecuación será la que define el objeto de medición para estimar incertidumbre y su respectiva validación. Esta ecuación de manera general es la siguiente:

$$\text{Medición} = Li + C \quad \text{Ecuación N° 9}$$

Donde:

Medición: mensurando (UI).

Li: medición del instrumento (UI).

C: corrección (UI).

Donde UI son las unidades respectivas de cada una de las variables.

- Identificar fuentes de incertidumbre: se listan las posibles fuentes de incertidumbre, éstas incluyen las fuentes que contribuyen a la incertidumbre del mensurando y además puede incluir otras fuentes y las originadas de cualquier suposición tomada. Entre las fuentes más comunes tenemos: (Rosales, 2009).
- Repetibilidad: puede emplearse la obtenida durante la verificación del material o considerar el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), sabiendo que dicho material ya fue verificado y se alcanzan valores por debajo de su EMP se mide con la Ecuación N° 10,

$$u_{\text{rep}} = \frac{s_r}{\sqrt{n}} \text{ ó } \frac{EMP}{\sqrt{3}} \text{ ó } \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\text{Re}} (x_i - \bar{L})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación N° 10}$$

Donde:

$\bar{L}$ : Promedio de mediciones realizadas

n: Número de mediciones

$s_r$ : Desviación por repetibilidad, obtenida de la validación

- Resolución del instrumento: parámetro asociado al tipo de distribución, estas pueden ser triangulares, normales o rectangulares. Valor más pequeño que puede mostrar el equipo digital y aparece especificado por el fabricante del mismo. O en su defecto se deduce de los valores mostrados en el visor del equipo. La ecuación que lo define es la Ecuación N° 11:

$$u(\text{res}) = \frac{\text{Res}_{\text{digital}}}{\sqrt{12}} \quad \text{Ecuación N° 11}$$

- Calibración del instrumento: se expresa en el certificado, generalmente distribución normal. Calibración del equipo de ensayo (Incertidumbre obtenida en la calibración / verificación de ser el caso). Igualmente puede

emplearse el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), sabiendo que el equipo ya fue verificado. La ecuación que lo define es la Ecuación N° 12:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal} \text{ ó } EMP}{2\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación N° 12}$$

- Deriva: parámetro de medición generalmente a intervalos, de no disponerse de datos históricos puede considerarse como la contribución debida al equipo de ensayo y se asume como máximo valor el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia) de fabricación. Si se dispone de datos históricos, se considera la contribución a la incertidumbre por la deriva y se puede estimar usando como criterio la máxima deriva histórica entre dos certificados de calibración / verificación consecutivos, para el intervalo de trabajo adecuado. La ecuación que lo define es la Ecuación N° 13:

$$u_{der} = \frac{EMP}{\sqrt{3}} \text{ ó } \frac{|Cal_n - Cal_{n-1}|_{max}}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación N° 13}$$

- Calcular  $U_c$ : Esto se refiere a determinar la incertidumbre combinada, expresada de la siguiente manera:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{S_r}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{res}{\sqrt{12}}\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 14}$$

- Elegir el nivel de confianza: generalmente se elige un 95% de confianza (Eurachem, 1998).
- Determinar el factor de cobertura  $K$ : generalmente 2, dependiendo de los grados de libertad (Eurachem, 1998).
- Calcular  $U = K \times u_c$ , expandir nos da la cobertura de la incertidumbre combinada asociada a la medición. (Rosales, 2009)

#### 4.3.6 Reglas Básicas para Estimar Incertidumbre

Para el proceso de la Estimación de la Incertidumbre existen tres reglas básicas a considerar: (Rosales, 2009)

- Regla Tipo 1: para modelos matemáticos que involucran sólo la adición o sustracción de los parámetros; Ejemplo:

$$A = B \pm C \quad \text{Ecuación N° 15}$$

La ecuación se desarrolla de la siguiente manera:

- a. La incertidumbre combinada de A es:

$$U_{c_A} = \sqrt{(B \times U_B)^2 \pm (C \times U_C)^2} \quad \text{Ecuación N° 16}$$

Donde:

$U_{c_A}$ : Incertidumbre combinada de A

$U_B$  y  $U_C$ : Incertidumbre de B y C respectivamente

- b. Luego se obtienen las derivadas de B y C con respecto a A, de la siguiente manera:

$$\frac{dA}{dB} = \frac{dB}{dB} \pm \frac{dC}{dB} = 1 \quad \text{Ecuación N° 17}$$

Donde:  $\frac{dC}{dB}=0$  y  $\frac{dB}{dB}=1$

$$\frac{dA}{dC} = \frac{dB}{dC} \pm \frac{dC}{dC} = -1 \quad \text{Ecuación N° 18}$$

Donde:  $\frac{dB}{dC}=0$  y  $\frac{dC}{dC} = -1$

c. Finalmente se obtiene la Incertidumbre combinada de A como sigue:

$$U_{cA} = \sqrt{(U_B)^2 \pm (U_C)^2} \quad \text{Ecuación N° 19}$$

➤ Regla Tipo 2: se usa para modelos matemáticos que involucran un producto o un cociente; Ejemplo:

$$A = \frac{B}{C} \quad \text{Ecuación N° 20}$$

La ecuación se desarrolla de la siguiente manera:

a. La incertidumbre combinada de A es:

$$U_{cA} = A \times \sqrt{\left(\frac{U_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{U_C}{C}\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 21}$$

Donde:  $\left(\frac{U_B}{B}\right)$  y  $\left(\frac{U_C}{C}\right)$  son las incertidumbres asociadas a los términos B y C respectivamente.

Para llegar a esta expresión se realiza un paso similar con las derivadas de la regla A

➤ Ley General: que no es más que una generalización de las dos incertidumbres anteriores, se puede usar tanto para modelos matemáticos de la Regla Tipo 1 como de la Regla Tipo 2; Ejemplo:

$$A = \frac{B * C}{D} \quad \text{Ecuación N° 22}$$

La ecuación se desarrolla de la siguiente manera:

a. La incertidumbre combinada de A es:

$$U_{cA} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i \times U_i)^2} \quad \text{Ecuación N° 23}$$

Donde:

$Z_i$ : Términos de la multiplicación y división

$U_i$ : Incertidumbres de los términos de la ecuación

n: número de términos

- b. Se sustituye los términos de la Ecuación N° 22 en la Ecuación N° 23 de la siguiente manera:

$$U_{c_A} = \sqrt{(B \times U_B)^2 + (C \times U_C)^2 + (D \times U_D)^2} \quad \text{Ecuación N° 24}$$

- c. Luego se realiza un proceso similar a la obtención de las derivadas en el paso b de la Regla A de la siguiente manera:

$$\frac{dA}{dD} = B \times C \times \left(\frac{1}{D}\right)' = B \times C \times \frac{d1/D}{dD} = -\frac{B \times C}{D^2} \quad \text{Ecuación N° 25}$$

$$\frac{dA}{dC} = \frac{B}{D} \times \left(\frac{dC}{dC}\right)' = \frac{B}{D} \quad \text{Ecuación N° 26}$$

$$\frac{dA}{dB} = \frac{C}{D} \times (A)' = \frac{C}{D} \times \frac{dA}{dA} = \frac{C}{D} \quad \text{Ecuación N° 27}$$

- d. Una vez obtenidas las derivadas se sustituyen las mismas en la Ecuación N°23, quedando la Incertidumbre combinada de la siguiente manera:

$$U_{c_A} = \sqrt{\left(\frac{C}{D} \times U_B\right)^2 + \left(\frac{B}{D} \times U_C\right)^2 + \left(-\frac{B \times C}{D^2} \times U_D\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 28}$$

#### 4.3.7 Reporte de la incertidumbre

Se presenta un esquema como el presentado en la Figura N° 8 la *Espina de Pescado* ó *Causa - Efecto*, de manera de apreciar así todos los factores que influyen en el cálculo de la incertidumbre.

Una vez cumplido con el proceso de estimación de la incertidumbre, se procede al reporte de resultados, mediante la ayuda de la hoja de cálculo Excel, para la

interpretación y visualización de los resultados y apreciar las tendencias y la linealidad de las experimentaciones obtenidas en la hoja de cálculo (Rosales, 2009). Finalmente, la ecuación general para el reporte del cálculo de la incertidumbre estimada se presenta de la siguiente manera:

$$\bar{l} \pm U \quad \text{Ecuación N° 29}$$

Donde:

$\bar{l}$ : Valor de mensurando en las unidades correspondientes

$U$ : Incertidumbre calculada (Resultado de la expansión)

## CAPITULO V

### METODOLOGÍA. DESARROLLO DE LAS ETAPAS DE ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

A continuación, se presenta la metodología que se siguió en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado (TEG), de manera de mostrar el camino para llegar a cumplir con los objetivos propuestos y realizar, la elaboración de los procedimientos de Validación y Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

Desde sus inicios el presente trabajo estuvo orientado bajo lineamientos diferentes a los convencionales TEG que suelen desarrollarse en esta disciplina (Ingeniería Química), ya que, la metodología y la discusión de los resultados también son distintas. Es por ello, que en el presente capítulo denominado “*Desarrollo de las Etapas de Elaboración de Procedimientos*”, se desarrolló la elaboración de procedimientos destinados a la Validación del Ensayo y a la Estimación de la Incertidumbre, orientados por la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 adaptándola a los requerimientos y características del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, que es el ensayo desarrollado en este trabajo.

El desarrollo de la metodología empleada se describe por etapas, en concordancia con los lineamientos de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 descritos en los apartados **5.4.5 Validación de los Métodos** y **5.4.6 Estimación de la Incertidumbre de la Medición** de la norma, permitiendo así, la elaboración de los procedimientos para el ensayo antes mencionado.

Las etapas para el desarrollo de este trabajo son las siguientes: Iniciación a la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, Definición del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, Desarrollo de Elaboración de Documentos, Elaboración del Procedimiento para la Validación del Método y la Elaboración del Procedimiento para la Estimación de la Incertidumbre.

## **5.1 ETAPA 1. INICIACIÓN A LA NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025:2005.**

En esta etapa se revisó la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 y se estudió las bases teóricas para el buen entendimiento y su aplicación en este trabajo.

Como parte inicial, se realizó cursos de adiestramiento o capacitación referentes a la Norma, específicamente tomando en consideración los apartados 5.4.5 Validación de los Métodos y 5.4.6 Estimación de la Incertidumbre de la Medición de la Norma, con el fin de desarrollar los conceptos, estructuras y aplicaciones para el ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

La estructura desarrollada concerniente a la norma, tiene las siguientes partes:

- Definición de la Norma; se da una definición clara de la norma y su campo de aplicación.
- Objeto; con el propósito de establecer la orientación, sobre la base que se sustenta la norma y con qué fin se espera su aplicación en los laboratorios de ensayo y/o calibración.
- Requisitos de la Norma; se presenta cada una de las partes o requisitos que conllevan la implantación de la Norma y, en otras secciones del trabajo se trató con detalles los apartados referentes a la Validación de Métodos y Estimación de la Incertidumbre de la Medición.

El apartado 5.4.5 referente a la Validación del Método, establece la confirmación del método, a través del examen y de aportes de evidencia, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso previsto.

La norma contempla métodos normalizados, métodos no normalizados, los métodos que diseña o desarrolla el laboratorio, y la ampliación o modificación de los mismos. El ensayo seleccionado para este trabajo, es un método normalizado, y la norma que lo avala es la COVENIN 338:2002 Concreto. Método para la Elaboración, curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto.

Entre las técnicas usadas para la determinación del desempeño del método están las siguientes:

- Calibración; utilizando patrones de referencia o materiales de referencia certificados (MRC). El equipo de Compresión de Cilindros de Concreto en el laboratorio mencionado laboratorio, se encuentra calibrado. [Ver Apéndice 1]  
Se tomó en cuenta el material de referencia para establecer los parámetros de validación.
- Evaluación de la incertidumbre de los resultados; basada en el conocimiento científico de los principios teóricos del método normalizado y en la experiencia práctica de quienes realizan el ensayo, donde se define a la incertidumbre como objetivo de la validación.
- Parámetros de validación; la exactitud de los resultados que se obtienen por métodos validados tales como: incertidumbre, límite de detección, selectividad, linealidad, entre otros, deben responder a las necesidades de los clientes. En la ejecución de la validación para el ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto se tomó en cuenta sólo algunos parámetros de validación, puesto que no todos aplican al mismo. Entre los aplicados en este trabajo están: la incertidumbre, intervalo de trabajo, repetibilidad y reproducibilidad.

En el apartado 5.4.6 de la Norma, se establece la aplicación de un procedimiento para estimar la incertidumbre. En algunos casos, la naturaleza del ensayo puede excluir cálculos rigurosos y sin embargo, metrológicamente y estadísticamente válidos. En este caso, se identificó todos los componentes de la incertidumbre y se realizaron procedimientos de manera que, la estimación que se obtenga no de una impresión equivocada del valor de la incertidumbre de la medición.

En el desarrollo de estimación, se realizaron referencias a las posibles fuentes de incertidumbre, de manera de diseñar el procedimiento que determinará los pasos a seguir para el cálculo y no obviar cualquier elemento que así lo requiera la norma.

La finalidad del desarrollo de estos puntos es de disponer las estrategias que se requieren para el convencimiento de que la elaboración de procedimientos para la Validación y Estimación de la Incertidumbre ha sido un hecho explícito, debido a que ese es el propósito de este Trabajo Especial de Grado.

## **5.2 ETAPA 2. DEFINIR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

El conocimiento de la ejecución de este ensayo, establece los parámetros y limitaciones necesarios que se deben considerar, durante el levantamiento de los procedimientos de Validación y Estimación de la Incertidumbre.

Paralelamente, se estudió la Norma COVENIN 338:2002 en la Aplicación, Evaluación y Métodos de Ensayo, para la Compresión de los Cilindros de Concreto, con el fin de poder sustentar el trabajo con una fuente ya acreditada para la trazabilidad del ensayo, ya que el mismo, es un Método Normalizado.

La Norma COVENIN 338:2002, establece los lineamientos para las máquinas de ensayo, procedimientos para los moldes, preparación de los cilindros, curado y sus dimensiones, barra compactadora, procedimientos para traslados de los cilindros y métodos de ensayo de compresión.

Se tomó en consideración los métodos de ensayo de la norma para su descripción en este trabajo como parte del desarrollo de los objetivos planteados.

De acuerdo a la Norma COVENIN 338:2002, la descripción de los aspectos que se deben considerar para la realización del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto son las siguientes: preparación de la muestra, procedimiento del ensayo y expresión de los resultados.

Con esto, se define el procedimiento a realizar y los aspectos antes mencionados, se especifican con detalle en el Capítulo IV de este trabajo de acuerdo a la norma antes mencionada, para el ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto que se realiza en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

### 5.3 ETAPA 3. DESARROLLO DE ELABORACIÓN DE DOCUMENTOS

Cada organización tiene sus maneras de hacer el trabajo, a esto se le denomina procesos, y cada empresa o institución tienen sistemas que soportan el trabajo de estos procesos. Entonces, para que el trabajo avance y sea eficiente, los sistemas deben apoyar al proceso. Para el desarrollo de esta fase se contó con el soporte del “Instructivo Elaboración de Documentos” (IN-GED-01) de la Facultad de Ingeniería UCV [Ver Apéndice 2].

Este instructivo, contempla los requisitos que se deberán cumplir para la elaboración de los procedimientos propuestos en este trabajo. Así como la calidad refleja el esfuerzo para hacerlo, es así como se reflejará el esfuerzo para la elaboración de los mismos. Se identificó la manera en que se combinan los métodos, recursos y lineamientos de las actividades a cumplir con los objetivos, mediante la elaboración de acciones para el diseño, documentación y elaboración de procedimientos.

Se siguieron los requisitos de este instructivo en cuanto a:

- Formato de los Documentos: los procedimientos, se elaboraron en hojas tamaño carta con márgenes establecidos. La forma en que están estructurados los procedimientos, es la siguiente:
  - Carátula: contiene el encabezado que se encuentra en recuadros en la parte superior del documento y se divide en las siguientes partes: [Ver Apéndice 2]
    - Recuadro superior izquierdo
    - Recuadro central
    - Recuadro superior derecho
    - El título del documento
    - Pie de página
  - Contenido: está compuesto de un encabezado y pie de página con el mismo formato de la carátula. A partir de la página 2 en el recuadro central superior se le agrega una tercera línea donde se coloca el nombre del laboratorio correspondiente al que pertenece el documento.

Se establece el tipo y tamaño de letra a usar en el resto del contenido, los colores, formatos de los títulos y subtítulos, entre otros.

- Cuerpo: donde se indican para procedimientos generales, específicos e instructivos, que de acuerdo al tipo de documento contendrá los siguientes campos: hoja de especificaciones, historial de revisiones, contenido, objeto, alcance, referencias, definiciones y abreviaturas, procedimientos e instrucciones, flujograma y anexos.

Dependiendo del tipo de documento, no siempre se aplica cada uno de los campos anteriores, en caso de der así, se coloca en esa sección la palabra *No aplica*: [Ver Apéndice 2]

- Codificación: cada documento en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería tiene una codificación de identificación única, la misma, está orientada al formato de código para manual de calidad, formato de código para procedimientos, formato de código para instructivos, formato de código para registros y formato de código para documentos técnicos.

Para el caso de ejecución de los procedimientos de este trabajo, se usó el formato código para procedimientos y se desarrolló la presentación de los procedimientos de la siguiente manera:

**PR – XYYYY - ZZ**

Donde:

PR: Es la abreviatura de Procedimiento

X: Indica la siglas Técnico (T) o Gestión (G)

YYYY: Siglas que describen el proceso. Estas siglas pueden ser de 2, 3 ó 4 letras dependiendo del nombre del procedimiento

ZZ: numeración correlativa ascendente

En este instructivo se presentan tablas para códigos de diferente índole, que se aplicarán en los procedimientos de Validación y Estimación de la Incertidumbre, respectivamente.

- Anexos: finalmente, este instructivo presenta una tabla de anexos usados para el desarrollo de flujogramas, que dependiendo de los procedimientos podrán ejecutarse o no según corresponda.

Cabe destacar, que este instructivo se encuentra en fase de aprobación y que durante la realización de los procedimientos para este Trabajo Especial de Grado aún se encontraba vigente para su uso, sin embargo, la misma está sujeta a cambios.

#### **5.4 ETAPA 4. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACIÓN DEL MÉTODO**

Esta etapa contempla todos los pasos requeridos para el diseño del procedimiento de la Validación del Método de Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto. En el apartado 5.4.5 de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, establece la necesidad de realizar la Validación de los Métodos, como medio de confirmación de los ensayos, y de que éstos cumplen con los requisitos particulares para un uso previsto, tal es el caso del ensayo desarrollado en este trabajo.

Entre los criterios y decisiones tomados para la elaboración de este procedimiento, se encuentran:

- La aplicación del requisito 5.4.5 para la Validación de Métodos de la Norma ISO/IEC 17025:2005 como base para el desarrollo y acoplamiento de la misma al ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.
- Se pautaron los lineamientos para la redacción del procedimiento en cuanto a contenido y presentación basados en el “Instructivo Elaboración de Documentos” (IN-GED-01).  
El esquema de elaboración de documentos y en este caso del procedimiento, está ajustado de acuerdo a las necesidades propias del ensayo.
- Con el propósito de contribuir con el ambiente y optimizar el uso de material para la elaboración del procedimiento y el fácil manejo del mismo, se decidió aprovechar ambos lados de la hoja de papel para la presentación del mismo.

- Para un mejor control del procedimiento, la numeración de las páginas se realiza de manera de evitar la pérdida o adición sin autorización de páginas a los mismos. Para mayores detalles de este punto, se sugiere revisar la sección 5.1.1 del Apéndice 2
- Con el propósito de estandarizar los procedimientos, se usaron plantillas en el programa Word definiendo elementos como: tipo de letra, interlineado, entre otros; todos definidos para cada sección del procedimiento.
- El procedimiento tiene campos en recuadros destinados a las páginas, fecha y nombre del procedimiento (codificación), con el fin de un manejo e identificación más adecuada del mismo. Cabe destacar que la codificación del procedimiento basado en este instructivo es el resultado de un proceso de adaptación a todos los documentos existentes al sistema, lo que servirá de base para aquellos que se generen posteriormente.
- Se usaron las plantillas para los formatos de certificaciones, historial de revisiones y títulos [Ver Apéndice 2].
- Se clasificó el procedimiento como un documento no controlado, para controlar y conocer si el procedimiento está o no vigente.

A continuación, se listan y describen las partes que complementan el cuerpo de este procedimiento, las mismas, fueron adaptadas al Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) y siguiendo los lineamientos del Instructivo Elaboración de Documentos (IN-GED-01) [Ver Apéndice 2]:

- Hoja de certificaciones: indicando los cambios efectuados al procedimiento, se coloca quien(es) lo elabora(n), lo revisa(n) y lo aprueba(n), con sus respectivos cargos, firmas y fecha.
- Historial de revisiones: se indica el número de la revisión, fecha de aprobación, descripción del cambio realizado y futuras revisiones.

- Contenido: cuerpo del procedimiento, adaptado al Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, tal como sigue a continuación:

  1. Objeto: se describe el propósito del procedimiento.
  2. Alcance: establece las áreas en las que se aplica el procedimiento, y se menciona aquellos parámetros que delimitan el procedimiento para el ensayo mencionado.
  3. Base legal: no es más que el aspecto sobre la cual se sustenta legalmente el laboratorio para la ejecución del ensayo.
  4. Responsables: se presenta al personal encargado de la supervisión de la realización del procedimiento, de que se cumplan los criterios de aceptación o rechazo, de registro de datos y de resultados.
  5. Referencias: se enuncian las normas, leyes, reglamentos o documentos que son utilizados para la elaboración del procedimiento, ya sean internos o externos.
  6. Definiciones y abreviaturas: no es más que una muestra de las abreviaturas, términos y definiciones usadas en el procedimiento.
  7. Desarrollo del Procedimiento: en esta sección se describen los segmentos requeridos para demostrar la secuencia lógica sobre la cual es objeto la validación del respectivo ensayo. Las partes del mismo son las siguientes:
    - 7.1 Necesidad Analítica: se presenta el título y tipo de ensayo de este trabajo, el cual, es del tipo físico y por lo tanto se tomaron los debidos criterios para su adaptación al ensayo del presente trabajo. Se describió en esta sección, aquellos elementos sobre la cual es elaborado el procedimiento, refiriéndose al tipo de respuesta, forma presente de la muestra, si la muestra está dispersa o localizada, entre otras observaciones que se requieran considerar.
    - 7.2 Puesta a Punto: breve antecedente del laboratorio para el ensayo objeto de estudio.
    - 7.3 Parámetros de Validación: se listan los parámetros de validación para el mencionado ensayo, de acuerdo, a la naturaleza del mismo.

7.4 Diseño Experimental y Tratamiento Estadístico: se prepara el procedimiento para la obtención de las respuestas a los parámetros de validación del ensayo. Entre ellas los siguientes:

7.4.1 Experimento: se explica el motivo o el fin del experimento a realizar, en este caso estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

7.4.2 Muestras: pasos para la preparación de las muestras, detallando claramente la secuencia lógica y las condiciones para el estudio en el punto 7.4.1., la misma debe incluir una tabla para la descripción de la evaluación por niveles y tiempos.

7.4.3 Procesamiento: se describen los tiempos empleados por niveles y las personas que participan en el estudio de repetibilidad y reproducibilidad.

7.4.4 Lecturas: registro de las muestras de ensayo bajo las condiciones de repetibilidad y reproducibilidad.

7.4.5 Reproducibilidad: se describe la secuencia lógica de cálculo estadístico en la determinación de la reproducibilidad del ensayo y a su vez, el coeficiente de variación. Se concluye en este punto que “Cuando la reproducibilidad es mucho mayor a la repetibilidad, esto indica que es necesario entrenar al operador tanto en el manejo del instrumento como en la toma de datos”, así mismo, se concluye que “Cuando la repetibilidad es muy mayor que la reproducibilidad el instrumento requiere de mantenimiento o simplemente no es adecuado para realizar dicha medición”.

7.4.6 Intervalo de trabajo: indica el rango o intervalo mediante el cual, el ensayo opera y realiza la validación.

7.4.7 Incertidumbre: representa el objetivo de la validación.

7.4.8 Registros: Los datos y resultados experimentales se registran en formatos, además de guardar aquellos registros producidos en el ensayo.

7.5 Realización del ensayo: se determina los parámetros de acuerdo al procedimiento de validación, en caso contrario, se debe determinar las causas del incumplimiento y repetir la validación.

7.6 Declaración de validación: realizar la declaración de la validación para el ensayo de este procedimiento y anexando todos los soportes en el mismo procedimiento en la sección de anexos.

- ▶ Anexos: Formatos asociados a la aplicación de este procedimiento. En esta sección, se coloca como referencia el código y título del instructivo, donde reza los procedimientos estadísticos a manera de cálculo para determinar el objeto de la validación.

## **5.5 ETAPA 5. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

Esta etapa contempla todos los pasos requeridos para el diseño del procedimiento para la Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto. En el apartado 5.4.6 de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, indica que todos los laboratorios deben tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de sus mediciones. En algunos casos la naturaleza del ensayo puede excluir un cálculo riguroso, metrológicamente y estadísticamente válido, tal es el caso del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto, donde se identificó los componentes de la incertidumbre (fuentes y aportes a la incertidumbre) y hacer una estimación razonable.

Para lograr el alcance de la estimación, se tomó en cuenta una serie de criterios para el diseño del procedimiento de la estimación de la incertidumbre en la Nave de Ensayos Físicos del IMME, de manera de adaptar el proceso de la estimación del ensayo sin reportar resultados no idóneos a través, de una secuencia lógica de descripción de cálculos.

Los criterios y decisiones tomados para la elaboración de este procedimiento, son iguales a los planteados para el procedimiento de la validación, pero considerando, la

aplicación del requisito 5.4.6 para la Estimación de la Incertidumbre de la Medición de la Norma ISO/IEC 17025:2005 como base para el desarrollo y acoplamiento de la misma al ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

Se listan y describen a continuación las partes que complementan el cuerpo de este procedimiento, las mismas, fueron adaptadas al Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) y siguiendo los lineamientos del Instructivo Elaboración de Documentos (IN-GED-01) [Ver Apéndice 2]:

- Hoja de certificaciones: indicando los cambios efectuados al procedimiento, y se colocan quien(es) lo elabora(n), lo revisa(n) y lo aprueba(n), con sus respectivos cargos, firmas y fecha.
  - Historial de revisiones: se indica el número de la revisión, fecha de aprobación, descripción del cambio realizado y futuras revisiones.
  - Contenido: cuerpo del procedimiento, adaptado al Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto. Los puntos según el instructivo de elaboración de documentos desde el punto 1 hasta el 6 son similares al los del procedimiento de Validación del Método descritos en la Etapa 4. A continuación se describen los puntos del cuerpo para el procedimiento para la estimación de la Incertidumbre:
1. Desarrollo del Procedimiento: en ésta sección se muestran los segmentos requeridos para demostrar la secuencia lógica sobre la cual, es objeto la estimación de la incertidumbre del respectivo ensayo.

Las partes del mismo son las siguientes:

- 1.1 Descripción del procedimiento: un resumen de los pasos y cálculos empleados para la estimación de la incertidumbre para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.
- 1.2 Equipos: se especifica el equipo del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto y cualquier dato relevante del mismo.
- 1.3 Reactivos: como se mencionó anteriormente, este tipo de ensayos no es del tipo analítico, por lo que no requiere de reactivos de ninguna índole

para la realización del mismo, se colocará en esta parte la palabra *No Aplica*.

- 1.4 Especificación del mensurando: se describe y se detalla el elemento bajo la cual se apoya la medición de este ensayo, es decir, la magnitud que requiere ser medida, y al mismo tiempo, el modelo matemático que describe al ensayo.

Se identifican las variables del modelo matemático, con el propósito de identificar la regla de cálculo para la estimación de la incertidumbre y así, obtener la ecuación general de la incertidumbre combinada, considerando la reproducibilidad del método proveniente de la validación.

Se fijó además, el valor del factor de cobertura  $K$  y el porcentaje de confianza o certeza de acuerdo a la Eurachem.

Finalmente, se obtiene la incertidumbre expandida que se reporta en puntos más adelante de este procedimiento.

- 1.5 Identificación de las fuentes de incertidumbre: partiendo del mensurando, donde se reportan las incertidumbres asociadas al mismo, se identifican todos los aportes de incertidumbre que se requieren tratar, incluyendo la repetibilidad y la reproducibilidad del método. Se elaboró un diagrama causa-efecto o comúnmente denominado espina de pescado para representar visualmente todos los aportes de incertidumbre del mismo.

Se elaboraron tantas secciones como aportes de la incertidumbre se encuentren en el modelo matemático, de manera de caracterizar a los mismos para identificar y describir los factores que contribuyen a la incertidumbre tales como: repetibilidad, calibración, deriva y resolución.

La repetibilidad, se obtiene del Procedimiento para la Validación del Método o se considera el error máximo permitido (EMP) en caso de no poseer de históricos para este ensayo.

La calibración, se obtiene de la verificación o calibración del equipo de ensayo en el certificado de calibración.

La deriva, se considera como valor al EMP, obtenido del material de referencia certificado del equipo de ensayo, en caso de no poseer datos históricos para su cálculo.

Finalmente, se obtiene una ecuación por cada aporte del mensurando, sustituyendo cada uno de ellos, en la ecuación de estimación de incertidumbre, podemos obtener la incertidumbre combinada. En este punto, al no poseer datos históricos para la estimación, se refirió los datos a los materiales de referencia certificados y manuales del equipo para la estimación de la incertidumbre objetivo, la cual, se comenzó a reportar y la validación debería arrojar resultados por debajo de este valor.

## CAPITULO VI

### RESULTADOS. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS

A continuación, se presenta la discusión del desarrollo de los procedimientos de Validación y Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto en la nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

#### 6.1 ELABORACIÓN DE DOCUMENTOS

Los procedimientos realizados, sigue los lineamientos del Instructivo Elaboración de Documentos (IN-GED-01) que se muestra en la sección de apéndice [Ver Apéndice 2] y, tanto los procedimientos de la Validación como el de Incertidumbre siguen lineamientos similares en cuanto a:

- ▼ Formato de los documentos: tanto el documento de validación como el de incertidumbre se elaboraron en hojas tamaño carta y con márgenes establecidos de la siguiente manera: superior 2,5 cm, inferior 2,5 cm, derecho 2 cm e izquierdo 2 cm. Se utilizó el siguiente formato:
  - Carátula: esto representa a la estructura del encabezado de los procedimientos, los cuales, siguiendo las normas del instructivo se presentan a continuación los encabezados de los procedimientos de la validación e incertidumbre respectivamente:

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	Código <b>PRT-VAM-NEF-01</b>	PÁG: <b>69/16</b> <b>3</b>
	-	Nº Rev <b>0</b>	FECHA: <b>Mayo 2010</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL ENSAYO</b>			

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS</b> <b>ESTRUCTURALES</b>	<b>Código</b> <b>PRT-EIM-NEF-</b> <b>01</b>	<b>PÁG:</b> <b>70/16</b> <b>3</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Mayo 2010</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE</b>			

Estos esquemas, no representan el modelo usado en los procedimientos, sólo sirven como referencia para el lector.

- Contenido: el contenido de estos procedimientos, siguen el formato de letra tipo Arial 10 color negro, con un interlineado de 1,5 líneas, en caso de las fórmulas se colocó de manera de que sea entendible, usando el tamaño más apropiado para el mismo. Los títulos fueron establecidos con color azul oscuro en negritas y mayúscula y los consecuentes usando el mismo formato anterior y sin negritas.
- Cuerpo: esta parte de la elaboración de los procedimientos consta de los siguientes campos:
  - Hoja de certificaciones: reportando los nombres de las personas que elaboraron el procedimiento, su cargo, firma y la fecha de aprobación.
  - Historial de revisiones: esta sección está destinada a indicar el número de revisiones, con su fecha de aprobación, descripción del cambio y futuras revisiones.
  - Contenido: esta sección se describe en puntos posteriores, debido a que dependiendo de la naturaleza del procedimiento, dependiendo del tipo de ensayo, la misma, presenta variaciones uno del otro.
- ➔ Codificación: siguiendo el instructivo para la elaboración de documentos, se presenta la codificación empleada para cada uno de los procedimientos:
  - Para el procedimiento de la validación las siglas PRT-VAM-NEF-01, donde:

PR: Es la abreviatura para nombrar al tipo de documento que estamos manejando, en este caso Procedimiento.

T: indica que el documento es de carácter técnico.

VAM: indica validación del método.

NEF: indica Nave de Ensayos Físicos.

01: indica que es el primer documento hecho para la validación.

- Para el procedimiento de la estimación de la incertidumbre las siglas PRT-EIM-NEF-01, donde:

PR: indica que el documento es un procedimiento.

T: es de carácter técnico.

EIM: indica estimación de la incertidumbre de la medición.

NEF: indica la nave de Ensayos Físicos.

01: indica que es el primer documento hecho para la estimación de la incertidumbre.

Con esto, la elaboración de los procedimientos tanto para la validación como para la incertidumbre es similar. En puntos posteriores, se hace mayor hincapié al desarrollo del cuerpo de los procedimientos por separado, ya que, dependiendo del tipo del procedimiento, estos tendrán sus características propias para el ensayo de compresión de cilindros de concreto.

## **6.2 PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO**

La descripción del desarrollo del procedimiento de la Validación para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, se orienta, hacia el cuerpo o contenido del procedimiento estructurado de la siguiente manera:

- Objeto: establecer los parámetros de validación y sus objetivos, así como también presenta el diseño experimental, a objeto de comprobar la adecuación del método a la aplicación que de él se pretende.

- Alcance: es aplicable al ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, bajo la Norma COVENIN 338:2002 y se evalúan los siguientes parámetros de validación: Reproducibilidad, Intervalo de Trabajo e Incertidumbre.
- Base legal: Las actividades de la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), perteneciente a la FI de la UCV, están normadas por un conjunto de disposiciones legales tales como: leyes, reglamentos y normas que deben considerarse en toda su extensión.
- Responsables: el ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto lo realizan técnicos o analistas calificados para la evaluación del esfuerzo a la ruptura de las probetas cilíndricas, el(los) mismo(s) está (rán) en capacidad de interpretar los resultados, llevar un registro de los datos y verificar de que se cumplan con los criterios de rechazo y aceptación de los resultados.
- Referencias: estas nos sirven como punto de apoyo en la interpretación de resultados. Entre las referencias bibliográficas usadas para el desarrollo de este procedimiento podemos citar: la Eurachem, Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, Norma Venezolana COVENIN 338:2002, Guía para la validación de Métodos y la guía para la Estimación de la Incertidumbre de la Medición.
- Definiciones y abreviaturas: con la finalidad de dar un mejor entendimiento de aquellas definiciones necesarias para la interpretación de conceptos, así como también de símbolos o variables que sirven para la descripción de ecuaciones.
- Desarrollo del Procedimiento: éste punto se divide en las siguientes partes:
  - Necesidad analítica: el ensayo en estudio es un método físico ya que las muestras son del tipo destructivas, por lo tanto, requiere de la evaluación de unos pocos parámetros de desempeño. El tipo de muestra es localizada y no dispersa, la misma es una muestra sólida.
  - Puesta a punto: se describe el laboratorio y en este caso, a la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales; el cual, ha trabajado en la determinación de la Compresión de Cilindros

de Concreto, optimizando todas las variables experimentales asociadas al método normalizado COVENIN 338:2002.

- Parámetros de validación: se presentan los parámetros de validación seleccionados para este método de ensayo, de acuerdo a su alcance y sus objetivos. Los valores de los objetivos de validación para cada parámetro fueron obtenidos directamente del personal del laboratorio con base a su experiencia en la realización del método de análisis y la referencia de la norma, estos son: Reproducibilidad, Intervalo de Trabajo e Incertidumbre.
- Diseño experimental: Prepara el ensayo a objeto de calcular los parámetros de validación del método. A continuación se describen los detalles:
  - Experimento: permite determinar la precisión del ensayo (Reproducibilidad), el intervalo de trabajo a partir de muestras obtenidas con materiales de referencia certificados (MRC) a tres niveles diferentes por seis repeticiones.
  - Muestras: se consideran los pasos a seguir para la preparación de las muestras, el número de las muestras se preparan para el estudio de repetibilidad y reproducibilidad; el tiempo de curado de las muestras es de 14 a 28 días; finalmente se prepara una tabla que considera niveles, tiempos y números de repeticiones por nivel, teniendo finalmente 3 niveles, 5 tiempos y 6 repeticiones, para un total de 90 muestras para la validación.
  - Procesamiento: los ensayos, deben realizarse el mismo día ó período, en condiciones de repetibilidad durante cinco días o períodos distintos espaciados a intervalos de tiempos iguales.
  - Lecturas: se registran cada uno de los ensayos de compresión durante su realización, siguiendo el procedimiento relacionado al mismo y se ejecutarán bajo condiciones de repetibilidad y se registrarán sus datos en el sistema.

- Reproducibilidad: se evalúa en esta sección, la exactitud de las mediciones, a través de un estudio estadístico de la desviación estándar de la reproducibilidad y repetibilidad. Esta sección es el cuerpo más importante de la validación, ya que, contiene el esquema de cálculo a desarrollar para demostrar la validez del método y se describe a continuación:

A continuación se presenta el esquema de cálculo para el estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad para la Validación del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto:

- 1) Se colocan en la tabla 4 todos los valores del ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto:

**Tabla 4:** Valores de compresión

<b>Nivel</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
<b>1</b>	<b>C11</b>	<b>C21</b>	<b>C31</b>	<b>C41</b>	<b>C51</b>
	<b>C12</b>	<b>C22</b>	<b>C32</b>	<b>C42</b>	<b>C52</b>
	<b>C13</b>	<b>C23</b>	<b>C33</b>	<b>C43</b>	<b>C53</b>
	<b>C14</b>	<b>C24</b>	<b>C34</b>	<b>C44</b>	<b>C54</b>
	<b>C15</b>	<b>C25</b>	<b>C35</b>	<b>C45</b>	<b>C55</b>
	<b>C16</b>	<b>C26</b>	<b>C36</b>	<b>C46</b>	<b>C56</b>
<b>2</b>	<b>C11</b>	<b>C21</b>	<b>C31</b>	<b>C41</b>	<b>C51</b>
	<b>C12</b>	<b>C22</b>	<b>C32</b>	<b>C42</b>	<b>C52</b>
	<b>C13</b>	<b>C23</b>	<b>C33</b>	<b>C43</b>	<b>C53</b>
	<b>C14</b>	<b>C24</b>	<b>C34</b>	<b>C44</b>	<b>C54</b>
	<b>C15</b>	<b>C25</b>	<b>C35</b>	<b>C45</b>	<b>C55</b>
	<b>C16</b>	<b>C26</b>	<b>C36</b>	<b>C46</b>	<b>C56</b>
<b>3</b>	<b>C11</b>	<b>C21</b>	<b>C31</b>	<b>C41</b>	<b>C51</b>
	<b>C12</b>	<b>C22</b>	<b>C32</b>	<b>C42</b>	<b>C52</b>
	<b>C13</b>	<b>C23</b>	<b>C33</b>	<b>C43</b>	<b>C53</b>
	<b>C14</b>	<b>C24</b>	<b>C34</b>	<b>C44</b>	<b>C54</b>
	<b>C15</b>	<b>C25</b>	<b>C35</b>	<b>C45</b>	<b>C55</b>
	<b>C16</b>	<b>C26</b>	<b>C36</b>	<b>C46</b>	<b>C56</b>

2) Luego se realiza el cálculo de los promedios de las Mediciones por Niveles de la siguiente manera:

**Tabla 5:** Promedios entre grupos y entre niveles

<b>Media Diaria</b>	$\bar{C}_i$	$\bar{C}_i$	$\bar{C}_i$	$\bar{C}_i$	$\bar{C}_i$
<b>Resultado Media Diaria</b>	$\bar{c}_i = \frac{\sum_{j=1}^{R_e} C_{ij}}{R_e}$				
<b>Media General</b>	$\bar{C}$				
<b>Resultado Media general</b>	$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^T \bar{C}_i}{T}$				

$R_e$ : Número de repeticiones del ensayo

T: tiempos de ejecución del ensayo

3) Obtenidas las medidas anteriores, se desarrolla el siguiente esquema de cálculo para determinar las varianzas y las desviaciones estándar correspondientes:

3.1) Calculo de Varianzas:

<b>SDC<sub>B</sub></b>	
------------------------	--

$$SDC_B = \sum_{i=1}^5 3(\bar{C}_i - \bar{C})^2 \quad \text{Ecuación N° 30}$$

Para organizar los datos obtenidos de la Ecuación 30 se tiene las siguientes tablas:

<b>(Cij-Ci)<sup>2</sup></b>	Cada valor de la celda Cij menos la media diaria
	Construir una tabla con esos valores

**Tabla 6** Valores diferencia media diaria

	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5
$(C_{ij}-C_i)^2$					

**Tabla 7** Suma diferencias cuadráticas

$\Sigma(C_{ij}-C_i)^2$	Suma de cada una de las columnas de los cuadrados de la tabla anterior				
Resultados de $\Sigma(C_{ij}-C_i)^2$					

<b>SDC<sub>w</sub></b>	
------------------------	--

$$SDC_w = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 (C_{ij} - \bar{C}_i)^2 \quad \text{Ecuación N° 31}$$

3.2) Diferencia medias cuadráticas:

<b>DCM<sub>B</sub></b>	
------------------------	--

$$DCM_B = \frac{SDC_B}{4} \quad \text{Ecuación N° 32}$$

<b>DCM<sub>w</sub></b>	
------------------------	--

$$DCM_w = \frac{SDC_w}{6}$$

**Ecuación N° 33**

3.3) Desviaciones estándar de la Repetibilidad y Reproducibilidad:

<b>S<sub>r</sub></b>	
----------------------	--

$$s_r = \sqrt{DCM_w}$$

**Ecuación N° 34**

<b>S<sub>L</sub><sup>2</sup></b>	
----------------------------------	--

$$s_L^2 = \frac{DCM_B - DCM_w}{N^\circ \text{repeticiones}}$$

**Ecuación N° 34**

<b>S<sub>R</sub></b>	
----------------------	--

$$s_R = \sqrt{s_r^2 + s_L^2}$$

**Ecuación N° 35**

4) Fijando un valor de K=2 de acuerdo a la Eurachem, para un 95% de confianza tenemos:

<b>K</b>	2
<b>U<sub>ob</sub></b>	

$$U_{ob} = K \times R_{ob}$$

**Ecuación N° 36**

Finalmente, se obtiene el valor de la incertidumbre objetivo del ensayo.

Los valores  $S_r$  y  $S_L$ , se obtienen como resultado de la desviación de la Repetibilidad y la Reproducibilidad respectivamente.

### **FIN DE LA VALIDACIÓN**

Con este esquema de cálculo, se obtienen las desviaciones de la repetibilidad y reproducibilidad del ensayo a compresión de cilindros de concreto, la cual sirve para determinar la exactitud del método de ensayo.

El esquema de cálculo está disponible en hoja de cálculo Excel, para poder realizar la validación del método con pruebas y datos históricos propios del ensayo a compresión, los mismos, están referidos en la sección de anexos del presente procedimiento, y el CD-ROM descansa en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

- Intervalo de trabajo: se define como el valor escogido al azar, de acuerdo a las características propias del ensayo, de un intervalo de entre 50 a 450 Kg/cm<sup>2</sup>
- Incertidumbre: esta representa el objetivo de la validación, de disponer de datos históricos, podemos realizar este cálculo, y el mismo debe ser de un valor menor a lo obtenido en la reproducibilidad del método.
- Registro: indica en donde son registrados los formatos producidos en los ensayos de compresión de cilindros de concreto. Para este caso se tienen dos registros importantes: un registro Excel del cálculo de la validación y otro registro del cálculo de incertidumbre, ambos referidos en la sección de anexos del presente procedimiento.
- Realización del ensayo: se especifican los distintos parámetros de validación y, se verifica que los mismos sean cumplidos de acuerdo al procedimiento del mismo, en caso contrario se resuelve las causas del incumplimiento y se repite la validación.
- Declaración de validación: se debe completar la aplicación del procedimiento Validación de Métodos y se anexa todos los soportes de la validación.
- Anexos: se presenta en esta sección del procedimiento, todas las referencias y complementos para el soporte de la validación, en este caso, se tienen dos soportes.

El primero de los soportes está referido a los cálculos para la validación del método con código FOT-VME-NEF-01, y el otro está referido a los cálculos

para la estimación de la incertidumbre de la medición con código FOT-EIM-NEF-01, ambos formatos disponibles en CD-ROM y localizados en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

Con esto, finaliza el procedimiento de la validación, muchos parámetros no se tomaron en cuenta, ya que, la naturaleza del ensayo no requería considerar a todos para su evaluación, tal es el caso del límite de cuantificación, límite de detección, recuperación, etc., esto se debe, a que como se mencionó anteriormente, el ensayo de compresión es un método físico y no analítico, lo que hace obviar ciertos parámetros de estudio y sin que el mismo reporte una validación incompleta.

El procedimiento de cálculo para la validación (estudio de la repetibilidad y reproducibilidad) es solo posible teniendo pruebas de la compresión de cilindros de concreto, realizados por el personal competente del laboratorio.

El reporte del procedimiento de acuerdo a la estructura presentada anteriormente, se detalla a continuación.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>		<b>Código</b> <b>PRT-VME-NEF- 01</b>	<b>PÁG:</b> <b>1/15</b>
			<b>Nº Rev</b> <b>00</b>	<b>FECHA:</b> <b>Mayo 2010</b>
	<b>PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO</b>			

**PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN PARA EL ENSAYO:**  
**COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**  
**NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS DEL INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS**  
**ESTRUCTURALES**

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	<b>Código</b> <b>PRT-VME-NEF- 01</b>	<b>PÁG:</b> <b>2/15</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>00</b>	<b>FECHA:</b> <b>Mayo 2010</b>
	<b>PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO</b>		

TÍTULO DEL MANUAL.	Nº Revisión
<b>PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN PARA EL ENSAYO:</b> <b>COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS DEL INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	00

Este procedimiento fue elaborado por la **Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales** de la Facultad de Ingeniería, conjuntamente con la Coordinación de Gestión de la Calidad de la FI, con la debida revisión y aprobación por parte de las autoridades correspondientes.

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Br. Gonzalo Félix	Tesista		Mayo 2010

REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Prof. César Peñuela	Coordinador del Laboratorio de Ensayos Físicos		Mayo 2010
Msc. Franca Gambino	Comité Provisional de Calidad		Mayo 2010

APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Prof. César Peñuela	Coordinador del Laboratorio de Ensayos Físicos	Tutor	Mayo 2010
Msc. Franca Gambino	Comité Provisional de Calidad	Tutor	Mayo 2010
Prof. Trino Romero	Jefe Departamento Diseño	Jurado	Mayo 2010
Prof. Jhoylin Casanova	Coordinador de Pasantías	Jurado	Mayo 2010



	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS</b>	Código PRT-VME-NEF-01	PÁG: 4/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO			

<b>1. OBJETO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ALCANCE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. BASE LEGAL.....</b>	<b>6</b>
<b>4. RESPONSABLES.....</b>	<b>7</b>
<b>5. REFERENCIAS .....</b>	<b>7</b>
<b>6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>7. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>8</b>
<b>7.1. Necesidad Analítica .....</b>	<b>8</b>
<b>7.2. Puesta a Punto .....</b>	<b>8</b>
<b>7.3. Parámetros de Validación .....</b>	<b>9</b>
<b>7.4. Diseño Experimental y Tratamiento Estadístico .....</b>	<b>9</b>
<b>7.4.1.Experimento .....</b>	<b>9</b>
<b>7.4.2.Muestras.....</b>	<b>10</b>
<b>7.4.3.Procesamiento .....</b>	<b>10</b>
<b>7.4.4.Lecturas .....</b>	<b>11</b>
<b>7.4.5.Reproducibilidad .....</b>	<b>11</b>
<b>7.4.6.Intervalo de Trabajo .....</b>	<b>12</b>
<b>7.4.7.Incertidumbre .....</b>	<b>13</b>
<b>7.4.8.Registro .....</b>	<b>13</b>
<b>7.5. Realización del Ensayo.....</b>	<b>13</b>
<b>7.6. Declaración de Validación.....</b>	<b>14</b>
<b>8. ANEXO .....</b>	<b>14</b>

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS</b>	Código PRT-VME-NEF-01	PÁG: 5/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO			

## 1. OBJETO

Establecer los parámetros de validación y sus objetivos, así como también presentar el diseño experimental, a objeto de comprobar la adecuación del método de ensayo Norma COVENIN 338:2002 a la aplicación que de él se realiza en el laboratorio.

## 2. ALCANCE

Este instructivo es aplicable al ensayo para la determinación de la Compresión de Cilindros de Concreto **Norma COVENIN 338:2002** y en el mismo se evalúan los siguientes parámetros de validación:

Reproducibilidad  
Intervalo de trabajo  
Incertidumbre

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS</b>	<b>Código</b> PRT-VME-NEF-01	<b>PÁG:</b> 6/15
		<b>Nº Rev</b> 00	<b>FECHA:</b> Mayo 2010
<b>PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO</b>			

### 3. BASE LEGAL

Las actividades de la Nave de Ensayos Físicos del IMME, perteneciente a la FI de la UCV, están normadas de manera general por un conjunto de disposiciones legales tales como: leyes, reglamentos y normas que deben considerarse en toda su extensión, siendo éstas las que se mencionan a continuación:

**Constitución de la República Bolivariana de Segunda Versión Venezuela, Gaceta Oficial Nro. 5.453 del 24-03-2000. Enmendada, Gaceta Oficial Nro.5.908 Extraordinaria de Fecha 19/02/2009.**

**Ley de Universidades. Gaceta Oficial N 1º 1429, Extraordinario del 08-09-70.**

**Reglamento Parcial de la Ley de Universidades del 14-02-67, Gaceta Oficial Nº 28.262 del 17-02-67- Capítulo I:**

**Reglamento Parcial de la Ley de Universidades de 1971- Gaceta Oficial Nº 29.559 del 01-09-71**

**Decreto N° 6.217, con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica de la Administración Pública, Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.890 Extraordinario del 31 de julio de 2008.**

**Reglamento N° 1 de la Ley Orgánica de la Administración Financiera del Sector Público sobre el Sistema Presupuestario del 12 de agosto de 2005 - Gaceta N° 5.781 Extraordinario.**

#### En materia de Recursos Humanos

**Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.522 de fecha 06 de Septiembre de 2002. Ley del Estatuto de la Función Pública.**

**Acuerdo UCV-APUCV. Acta Convenio entre la Universidad Central de Venezuela y la Asociación de Profesores de la UCV.**

**Cláusula N° 41. Dedicación en el Desempeño de Cargos Administrativo-Docente al Servicio de la UCV.**

**Normas de Homologación de Sueldos y Beneficios Adicionales de los Miembros del Personal Docente y de Investigación de las Universidades Nacionales.**

**Reglamento de Cátedras y Departamentos, aprobado por el Consejo Universitario en fecha 22-09-1982.**

**Reglamento de Jubilaciones y Pensiones del Personal Docente y de Investigación de la Universidad Central de Venezuela.**

**I Convención Colectiva del Sindicato Nacional Asociación de Profesionales Universitarios en Funciones Administrativas y Técnicas” (APUFAT).**

**Ley de Metrología**

**Ley Venezolana para Sistemas de Calidad**

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	Código PRT-VME-NEF- 01	PÁG: 7/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
	PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO		

#### 4. RESPONSABLES

El Responsable Técnico o Jefe del Laboratorio supervisa la realización de los cálculos de acuerdo a este procedimiento, que se cumplan los criterios de aceptación y rechazo, el correcto registro de los datos y resultados en los respectivos formatos vigentes. Es responsabilidad de los Técnicos y Analistas del laboratorio conocer aspectos básicos del presente procedimiento y sus documentos vigentes.

#### 5. REFERENCIAS

- Guía EURACHEM / CITAC, Cuantificación de la incertidumbre en la Medición Analítica (2000) 2ª edición.
- Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005. “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”. Segunda Edición. Fecha: 15-05-2005.
- Procedimiento “Validación de Métodos Ensayos” (PRT-VME-NEF).
- Norma Venezolana COVENIN 338:2002. “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto (2ª Revisión)”.
- Schmid, Wolfgang y Lazos, Rubén. “Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. CENAM”. El Marqués, México. Fecha: Mayo de 2000.

#### 6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

##### 6.1. Definiciones

Las definiciones generales y necesarias para la comprensión y aplicación del presente procedimiento se encuentran en el Procedimiento “Validación de Métodos de Ensayo” (PRT-VME-NEF)

##### 6.2. Abreviaturas

- A: cm<sup>2</sup> área del cilindro
- P: Kgf presión o carga sobre el cilindro
- cm: centímetros
- Kgf: Kilogramo fuerza
- D: Diámetro
- σ: Esfuerzo

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	Código PRT-VME-NEF- 01	PÁG: 8/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
	PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO		

## 7. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

### 7.1. Necesidad Analítica

El Ensayo a la Compresión de Cilindros de Concreto es un método de ensayo cuantitativo basado en la Norma COVENIN 338:2002 “Método para la Elaboración, curado y Ensayo a la Compresión de Cilindros de Concreto y se define como  $\sigma = P/A$

**Objeto:** Contempla los pasos a seguir para la elaboración, curado y ensayo a la compresión de cilindros o probetas cilíndricas de concreto mediante el uso de una máquina universal de carga. La resistencia a la compresión del concreto se mide mediante la colocación centrada de los cilindros o probetas en la máquina o prensa universal y aplicando una presión a una tasa constante dentro del rango de 1.4 Kg/cm<sup>2</sup>/seg a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>/seg para máquinas hidráulicas o a 1.3 mm por min para máquinas de tipo mecánico. Una vez obtenida la máxima carga aplicada hasta obtener la fractura del cilindro, la resistencia se determina por el cociente de la carga máxima y el área de la sección media del cilindro.

**Alcance:** Aplica a muestras de cilindros o probetas de concreto preparadas y curadas en el laboratorio o provenientes de las obras civiles y que se encuentran comúnmente en un intervalo de trabajo entre 50 a 450 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Interferencias:** Las probetas o cilindros deben almacenarse en cámaras de curado a temperatura ambiente a la sombra y deben mantenerse en una superficie horizontal rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones. La cámara de curado debe ser de agua potable, limpia, exenta de materiales extraños y mantenerse en el rango de temperatura ( 23 +- 3) °C. Se recomienda renovar el agua cada 15 días. Los cilindros se deben transportar en cajas cubiertas con arena humedad u otro material inerte para evitar golpes y vibraciones que puedan alterar la muestra. Las superficies de los cilindros que están en contacto con los platos de la prensa deben estar libres de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño que pueda afectar la medición de la carga aplicada.

### 7.2. Puesta a Punto

Desde el año 1944 cuando se creó el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), la Nave de Ensayos Físicos ha trabajado en el área de la Determinación de la Compresión de Cilindros de Concreto, optimizando todas las variables experimentales asociadas al método de ensayo. Se ha utiliza el método normalizado COVENIN 338:2002 Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto, y se



manejan las normas internacionales: ASTM C39 – 80 Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM C192/C 192 M-07 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory y la ASTM C 31/ C31M – 08a Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.

### 7.3. Parámetros de Validación

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de validación seleccionados para este método de ensayo, de acuerdo a su alcance y sus objetivos. Los valores de los objetivos de validación para cada parámetro fueron obtenidos directamente del personal del laboratorio con base a su experiencia en la realización del método de análisis y la referencia de la norma (COVENIN 338:2002).

Tabla. 1. Parámetros de Desempeño para la Validación del Ensayo a la Compresión de Cilindros de Concreto

Parámetro de validación	Objetivo
Intervalo de trabajo:	50Kgf/cm <sup>2</sup> - 450Kgf/cm <sup>2</sup>
Reproducibilidad	CV = 16 Kgf/cm <sup>2</sup> 95 % confiabilidad
Incertidumbre	≤ 32% $U_{obj} = KR_{obj}$

### 7.4. Diseño Experimental y Tratamiento Estadístico

Se planifica el experimento a objeto de calcular los parámetros de validación del método. A continuación se describen los detalles:

#### 7.4.1. Experimento.

Para el diseño experimental se consideran los objetivos en base al método normalizado (Norma COVENIN 338:2002) y la experiencia con el ensayo. Estos objetivos se mostraron en la Tabla 1. El experimento consta en determinar la exactitud y precisión (Reproducibilidad) e intervalo de trabajo a partir de muestras obtenidas a tres (3) niveles diferentes dentro del rango de trabajo, seis (6) repeticiones y cinco (5) períodos de tiempo para evaluar la reproducibilidad del método. Por lo cual el diseño experimental queda como se indica a continuación:



Niveles: 50 Kgf; 250 Kgf y 450 Kgf

Período de Tiempo: 1, 2, 3, 4 y 5

Mediciones: 6 repeticiones por nivel

#### 7.4.2. Muestras.

Para el diseño experimental definido para la validación del ensayo: Compresión de Cilindros de Concreto se debe disponer del siguiente conjunto de muestras:

- Cada muestra (probetas cilíndricas de concreto) se debe preparar con antelación al ensayo. El número de probetas está determinado por la cantidad de muestras a ensayar para el estudio de repetibilidad y reproducibilidad.
- Se preparan tres (3) muestras (una por cada nivel), el nivel más bajo no será mayor al valor mínimo del intervalo de trabajo más un 10% y el más alto no menor al valor máximo del intervalo de trabajo menos el 10%. Para las 6 muestras evaluadas por el laboratorio (se incluye registro, curado, etc.) bajo condiciones de repetibilidad. Cada periodo de tiempo, comprenderá la preparación de seis sub-muestras por nivel para ser evaluadas bajo condiciones de repetibilidad por la Nave de Ensayos Físicos del IMME, para ello se generan 18 muestras diarias y considerando la ejecución en cinco períodos diferentes, se genera un total de 90 muestras. Para una mejor comprensión, en la Tabla N°2, se presenta el diseño a ejecutar.

Tabla N° 2. Diseño Experimental de Validación por Rango (Intervalo)

Nivel	Preparación de muestras por día	Día 1. Evaluar (Repeticiones por nivel)	Día 2. Evaluar (Repeticiones por nivel)	Día 3. Evaluar (Repeticiones por nivel)	Día 4. Evaluar (Repeticiones por nivel)	Día 5. Evaluar (Repeticiones por nivel)	Muestras por nivel evaluadas
Nivel 1 (50 Kgf)	6	6	6	6	6	6	30
Nivel 2 (250 Kgf)	6	6	6	6	6	6	30
Nivel 3 (450 Kgf)	6	6	6	6	6	6	30
<b>Muestra por día</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	
<b>Muestras Totales Preparadas / Evaluadas</b>							<b>90</b>



### 7.4.3. Procesamiento

Las experiencias, deben realizarse el mismo día ó período de tiempo, en condiciones de repetibilidad durante cinco días o períodos distintos espaciados a intervalos de tiempos iguales.

Para la realización del experimento se debe incluir a todos los analistas y equipos que normalmente intervienen en la realización del ensayo, a fin de contemplar el efecto de estos parámetros en la reproducibilidad. Las sub-muestras deben seguir el método completo.

### 7.4.4. Lecturas

Durante la ejecución del experimento, se registran las seis (6) muestras, siguiendo el procedimiento de manejo de ítems de ensayo (PRT-MIE-NEF-01). Las pruebas se ejecutan bajo condiciones de repetibilidad y se registran sus datos en el sistema. Para cada sub-muestra, se calcula y registra el valor del esfuerzo o resistencia a la compresión del concreto.

### 7.4.5. Reproducibilidad.

Para cada muestra se registra:

Los datos básicos del ensayo: fecha de realización, analista y nombre del equipo utilizado.

Los valores de resistencia a la compresión obtenidos para cada muestra por día. La media diaria y la media general obtenida con las siguientes ecuaciones:

$$\bar{\sigma}_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} \sigma_{ij}}{6} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^5 \bar{\sigma}_i}{5} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde,

$\bar{\sigma}_i$  Resistencia media diaria de cada nivel.

$\sigma_{ij}$  Resistencia de cada sub- muestra para cada día.



$\bar{\sigma}$  Media general de la compresión, obtenida a partir de las medias diarias.

Los términos  $DMC_B$  y  $DMC_W$  son calculadas empleando un análisis de varianza simple, utilizando las ecuaciones que se muestran a continuación:

Análisis de varianza simple			
Origen de varianza	Grados de libertad	Sumas de diferencias cuadráticas	Diferencias cuadráticas medias
Entre grupos	$\nu_1 = 5-1=4$	$SDC_B = \sum_{i=1}^5 6(\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma})^2$	$DCM_B = \frac{SDC_B}{4}$
Dentro de grupos	$\nu_2 = 18-6=12$	$SDC_W = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^6 (\sigma_{ij} - \bar{\sigma}_i)^2$	$DCM_W = \frac{SDC_W}{12}$

$s_r, s_L, s_R$  Calculadas para con las ecuaciones siguientes:

$$s_r = \sqrt{DCM_W} \quad \text{Ec. 3}$$

$$s_L = \sqrt{\frac{DCM_B - DCM_W}{5}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$s_R = \sqrt{s_r^2 + s_L^2} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde,

$s_r$  Desviación estándar de la repetibilidad, y

$s_R$  Desviación estándar de la Reproducibilidad.

#### 7.4.10 Intervalo de Trabajo.

Seleccionar al azar los resultados reportados por el método del ensayo que es el máximo valor resistencia a la compresión mínimos y máximos obtenidos uno de los cinco períodos de experimentación. Se Registran los valores obtenidos, así como la incertidumbre (U)

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	Código PRT-VME-NEF- 01	PÁG: 13/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
	PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO		

determinada según el Instructivo de estimación de Incertidumbre para la Compresión de Cilindros de Concreto (PRT-EIM-NEF-01).

El valor asignado para cada muestra debe caer dentro del intervalo de valor obtenido  $\pm U$ .

#### 7.4.11 Incertidumbre.

El objetivo de validación de la incertidumbre se obtiene como:

$$U_{Ob} = K \times R_{Ob} = 32\%$$

Donde:

$K$  Factor de cobertura ( $K = 2$ ),

$R_{Ob}$  Objetivo de validación de la reproducibilidad ( $R_{Ob} = CV = 16\%$ ).

Para cada muestra, escoger aleatoriamente el valor de resistencia a la compresión obtenido para una de las 18 muestras analizadas durante los períodos de experimentación. Determinar la Incertidumbre ( $U_M$ ) para cada uno de esos resultados siguiendo el Procedimiento Estimación de la Incertidumbre en la Compresión de Cilindros de Concreto PRT-EIM-NEF-01 y la incertidumbre relativa ( $U_{MRel}$ ) como:

$$U_{MRel} = \frac{U_M}{\sigma_{obtenido}} \times 100$$

El valor de  $U_{MRel}$  para cada nivel debe ser menor o igual al establecido como objetivo de validación  $Kgf/cm^2$ .

#### 7.4.12 Registros.

Los datos y resultados experimentales se registran en los formatos (FOT-VME-NEF-01) Ver Anexo 1. Además de estos formatos, se guardan todos los registros producidos en cada uno de los ensayos y asociados a la aplicación del Procedimiento de Ensayo a la Compresión de cilindros de concreto.



### 7.5. Realización del Ensayo.

Se determinan los distintos parámetros de validación de acuerdo a lo establecido en este procedimiento. Si se cumplen los objetivos de validación previamente definidos se pasa al siguiente punto, en caso contrario, resolver las causas del incumplimiento y repetir el procedimiento de validación.

### 7.6. Declaración de la Validación.

Siguiendo con la aplicación del procedimiento de validación PRT-VME-NEF-01, se debe completar la declaración de validación establecida en dicho procedimiento y anexar a ésta todos los soportes establecidos en el mismo procedimiento, conformando esto el informe de validación.

### 8. Anexos.

Formatos asociados a la aplicación de este documento

CODIGO	NOMBRE / Formato de Registro de Datos y Resultados
FOT-VME-NEF-01	Validación del Método "Compresión de Cilindros de Concreto". Función de Respuesta. Archivo Excel: Formato Validación CCC, Hoja: Reproducibilidad y Repetibilidad.
FOT-VME-NEF-02	Validación del Método "Compresión de Cilindros de Concreto Determinación del Intervalo de Trabajo y estimación de Incertidumbre. Archivo Excel: Formato Validación CCC,

### 6.3 PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La descripción del desarrollo del procedimiento de la Estimación de la Incertidumbre para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, se orienta, hacia el cuerpo o contenido del procedimiento estructurado de la siguiente manera:

- Objeto: Estimar de la incertidumbre al emplear una carga axial a probetas cilíndricas para la determinación del esfuerzo a la compresión de cilindros de concreto basado en la norma COVENIN 338:2002.
- Alcance: Este procedimiento aplica a la estimación de la incertidumbre empleando una carga axial a probetas de cilindro de concreto, dentro de un intervalo que va desde 50 Kgf/cm<sup>2</sup> hasta 450 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- Base legal: Las actividades del Laboratorio de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, perteneciente a la FI de la UCV, están normadas de manera general por un conjunto de disposiciones legales tales como: leyes, reglamentos y normas que deben considerarse en toda su extensión.
- Responsables: El Responsable Técnico o Jefe de Laboratorio supervisa la realización de los cálculos de acuerdo a este procedimiento, que se cumplan los criterios de aceptación y rechazo, el correcto registro de los datos y resultados en los respectivos formatos vigentes.
- Referencias: estas nos sirven como punto de apoyo en la interpretación de resultados y para el desarrollo de este procedimiento de cálculo de incertidumbre. Entre las referencias bibliográficas usadas para el desarrollo de este procedimiento podemos citar: la Eurachem, Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, Norma Venezolana COVENIN 338:2002, Guía para la validación de Métodos y la guía para la Estimación de la Incertidumbre de la Medición.
- Definiciones y abreviaturas: con la finalidad de dar un mejor entendimiento de aquellas definiciones necesarias para la interpretación de conceptos, así como también de símbolos o variables que sirven para la descripción de ecuaciones.

- ▼ Desarrollo del Procedimiento: éste punto se divide en las siguientes partes:
  - Descripción del procedimiento: tiene como finalidad describir los pasos y cálculos empleados en la estimación de la incertidumbre para el ensayo de compresión de cilindros de concreto.
  - Equipos: el equipo usado es la Máquina de Ensayo a Compresión, cuyo fabricante es CONTROLS de modelo C41G4.
  - Reactivos: el presente ensayo no requirió de ningún reactivo para la realización del procedimiento de compresión de cilindros de concreto, por lo tanto, se coloca la palabra *No Aplica*.
  - Especificaciones del mensurando: el mensurando describe el propósito del ensayo a realizar, en este caso se define el mensurando como el esfuerzo, que no es más que, la capacidad de los cilindros de concreto de resistir a la fractura, su símbolo es ( $\sigma$ ). Paralelamente a esto, se describe el modelo matemático para el cálculo del mensurando de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{4 \times P}{\pi \times D \times D} \quad \text{Ecuación N° 30}$$

$\sigma$ : es el esfuerzo generado producto de la compresión Kgf/cm<sup>2</sup>

P: es la presión ejercida en la probeta cilíndrica Kgf

D: es el diámetro de la probeta cilíndrica en unidades de cm

$\pi$ : constante Pi

Se puede aplicar tanto la regla número dos como la Ley general de propagación de la Incertidumbre. Para el caso del ensayo a la compresión de cilindros, se aplica la regla N°2. Lo cual se establece que la incertidumbre estándar combinada quedará dada por la ecuación:

$$u_{c_{\sigma}} = \sigma \cdot \sqrt{\left(\frac{u_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{u_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{u_{\pi}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 31}$$

El término  $\left(\frac{u_4}{4}\right)^2$  es cero por ser constante.

El término  $\left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2$  se asume un valor de  $\pi=3,14$  y una incertidumbre asociada de  $u_\pi=0,01$

El término  $\left(\frac{u_p}{P}\right)^2$  representa al aporte que realiza la presión o carga axial al cilindro, la misma, se deriva de otras fuentes de incertidumbre propias del instrumento, tales como: Repetibilidad, Deriva, Calibración y Resolución. Cada una de ellas se describe a continuación.

- Repetibilidad: que puede emplearse la obtenida durante la validación del método o puede emplearse el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), tomado del manual del fabricante. Donde:

$$u_{rep} = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u_{rep}$  = incertidumbre por repetibilidad.

- Calibración: incertidumbre reportada en el certificado del equipo de calibración. Igualmente, puede emplearse el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia) del equipo.

Donde:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}}{2}$$

$u_{cal}$  = incertidumbre por calibración.

- Deriva: de no disponerse de datos históricos puede considerarse como la contribución debida al máximo valor el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia) de fabricación de la prensa o maquina de ensayo. Si se dispone de datos históricos, se considera la contribución a la incertidumbre por deriva y se puede estimar usando como criterio la máxima deriva histórica entre dos certificados de calibración/verificación consecutivos, para el intervalo adecuado. Donde:

$$u_{der} = \frac{U_{exp.certificad}}{\sqrt{3}} \quad \text{ó} \quad u_{der} = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u$  (der)= incertidumbre por deriva.

- Resolución: valor más pequeño que puede mostrar la prensa o máquina de ensayo y aparece especificado por el fabricante del equipo. O en su defecto se deduce de los valores mostrados en el visor del equipo. Donde:

$$u(\text{res}) = \frac{\text{res}}{\sqrt{12}}$$

$u$  (res)= incertidumbre por resolución.

Finalmente, el aporte de la incertidumbre por la presión o carga axial viene expresado por la suma cuadrática de todos los aportes anteriores de la siguiente manera:

$$\left(\frac{uP}{P}\right)^2 = \left(\frac{EMP}{P \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{P \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{P \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{res}}{P \cdot \sqrt{12}}\right)^2$$

El término  $\left(\frac{uP}{P}\right)^2$  representa al aporte que realiza el diámetro del cilindro, la misma, se deriva otras fuentes de incertidumbre propias del instrumento, en este caso del vernier, tales como: Repetibilidad, Deriva, Calibración y Resolución. Cada una de ellas se describe a continuación.

- Repetibilidad: que puede emplearse la obtenida durante la validación del método o puede emplearse el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), tomado del manual dl fabricante. Donde:

$$u(\text{rep}) = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u$  (rep) = incertidumbre por repetibilidad.

- Calibración: en este caso la del vernier (incertidumbre obtenida en la calibración/verificación de ser el caso). Igualmente, puede emplearse le Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), sabiendo que el vernier ya fue verificado. Donde:

$$u(\text{cal}) = \frac{U_{\text{exp}}}{2} \text{ ó } \frac{EMP}{\sqrt{12}}$$

$u$  (cal)= incertidumbre por calibración.

- Deriva: de no disponerse de datos históricos puede considerarse como la contribución debida al máximo valor el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia) de fabricación de la prensa o maquina de ensayo. Si se dispone de datos históricos, se considera la contribución a la incertidumbre por deriva y se puede estimar usando como criterio la máxima deriva histórica entre dos certificados de calibración/verificación consecutivos, para el intervalo adecuado. Donde:

$$u(\text{der}) = \frac{U_{\text{exp.certificad}}}{\sqrt{3}} \quad \text{ó} \quad u(\text{der}) = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u(\text{der})$ = incertidumbre por deriva.

- Resolución: valor más pequeño que puede mostrar el vernier y aparece especificado por el fabricante del equipo. O en su defecto se deduce de los valores mostrados en la escala de vernier. Donde:

$$u(\text{res}) = \frac{res}{\sqrt{12}}$$

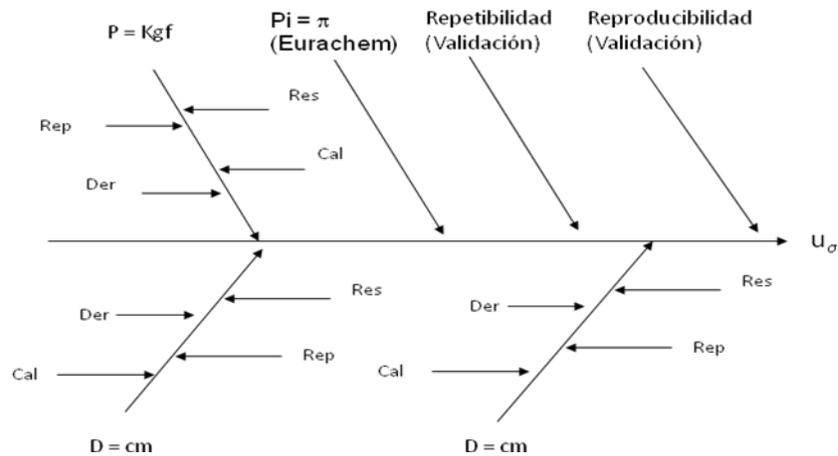
$u(\text{res})$ = incertidumbre por resolución.

Finalmente, el aporte de la incertidumbre por el diámetro viene expresado por la suma cuadrática de todos los aportes anteriores de la siguiente manera:

$$\left(\frac{uD}{D}\right)^2 = 2 * \left( \left(\frac{EMP}{D.3}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{D.2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{D.\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{res}{D\sqrt{12}}\right)^2 \right)$$

- Identificación de las fuentes de incertidumbre: partiendo de la ecuación definida por el mensurando se identifican dos aportes importantes, estos comprenden la Presión o carga axial aplicada al cilindro de concreto y los Diámetros que corresponden por igual al diámetro del cilindro de concreto. Cada uno de ellos requiere estimación por separado y posterior combinación de los parámetros. Se muestran en la Figura 12 el diagrama de causa efecto en la

estimación de la incertidumbre del presente procedimiento. Incluyendo repetibilidad y reproducibilidad del método.



**Figura N° 12** Diagrama de causa y efecto en la Estimación de la Incertidumbre en la Determinación del Esfuerzo en la Compresión de Cilindros de Concreto.

- Incertidumbre combinada: Para obtener la incertidumbre estándar combinada de la Resistencia a la Compresión, se requiere incluir la repetibilidad y la reproducibilidad del método. Expresada como:

$$u_{c\sigma} = \sqrt{(u_{\sigma})^2 + (u_{repro})^2 + (u_{repet})^2}$$

La Reproducibilidad y la Repetibilidad provienen de la validación/confirmación del método, también puede tomarse la indicada por el método normalizado, siempre y cuando este haya sido validado por el laboratorio.

- Incertidumbre expandida: para el ensayo a compresión de cilindros de concreto se consideró como guía la Eurachem para un factor de

cobertura  $K=2$  con un 95% de confianza. Será obtenida entonces por la siguiente ecuación:

$$u_{exp} = (2 \times u_{\sigma})$$

- Reporte de resultados: El reporte debe ser realizado según lo exige el método de ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto Norma COVENIN 338:2002, sin embargo se puede aplicar el criterio de reportar la incertidumbre de la medición con dos cifras significativas (de ser posible) y el resultado con el mismo número de decimales de la incertidumbre. La ecuación formal general para la expresión de la estimación final de la incertidumbre es la siguiente:

$$\sigma \pm u_{\sigma_{exp}}$$

En la ejecución de la estimación de la incertidumbre, se realiza el cálculo de la estimación de la incertidumbre objetivo que sirve como punto de comparación ya que, el resultado de esta estimación tiene que estar por debajo de lo obtenido con lo que reporta la validación. Se presenta el esquema de cálculo reportando dicho resultado el cual, se presenta también en la hoja de cálculo Excel y se deja la comparación con la validación, al realizar las pruebas de Compresión de Cilindros de Concreto.

Para el Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto especificamos los siguientes datos necesarios para el desarrollo de los cálculos:

Máquina de Ensayo de Compresión.

Datos:

Unidades: (Kgf)		
$U_{cal}, K=2, 95\%$	12	Incertidumbre reportada en el certificado de calibración del equipo.
EMP	10	Error máximo permitido, reportado en el certificado de calibración del equipo
Resolución	10	Resolución del equipo.
Repetibilidad	10	Tomado del manual del fabricante.

Vernier.

Datos:

Unidades: (cm)		
$U_{cal}, K=2, 95\%$	0,02	Incertidumbre reportada en el certificado de calibración del equipo.
EMP	0,002	Error máximo permitido, reportado en el certificado de calibración del equipo
Resolución	0,01	Resolución del equipo.
Repetibilidad	0,01	Tomado del manual del fabricante.

Datos de Validación:

$(u_{repro})^2$	0
$(u_{repet})^2$	0

A continuación, el desarrollo de pasos para la Estimación de la Incertidumbre:

**Paso 1:** Definición del Mensurando.

Para el ensayo de compresión de cilindros de concreto el mensurando es el objeto a medir aquí, en este caso nos referimos al Esfuerzo ( $\sigma$ ).

El esfuerzo no es más que la capacidad de una probeta cilíndrica de resistir al rompimiento.

**Paso 2:** Modelo Matemático.

Para el ensayo mencionado el modelo matemático que lo define es el siguiente:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ Ecuación N}^\circ \text{ 32}$$

Donde:

$\sigma$	Esfuerzo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	312,870399
P	Presión o carga axial (Kgf)	56000
A	Área (cm <sup>2</sup> )	178,98785

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \text{Ecuación N° 33}$$

Donde:

π	Dependerá del número de decimales que usen con pi.	
	Ejemplo, 3,14, la U=0,01, si 3,1416, la U= 0,0001, etc.	
D	Diámetro del cilindro	15,1

Sustituyendo la Ecuación 33 en la Ecuación 32 llegaremos al modelo matemático para el ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto definido por la Ecuación 34.

$$\sigma = \frac{4 \times P}{\pi \times D \times D} \quad \text{Ecuación N° 34}$$

σ Kgf/cm <sup>2</sup>	312,870399
-----------------------	------------

Este valor de Esfuerzo, se basa en datos de presión y diámetro tomados de una experiencia típica del ensayo de Compresión de Concreto realizado en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

Los resultados que se generan a partir de estos valores, sirven para definir la incertidumbre objetivo, sin embargo, este procedimiento también aplicará para el momento en que se realice la Validación del Método para determinar la Incertidumbre expandida.

La incertidumbre combinada resultante para la Ecuación 34 y de donde se obtendrán todos los aportes asociados a la Estimación de la Incertidumbre es la siguiente:

$$u_{c\sigma} = \sigma \cdot \sqrt{\left(\frac{u_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{u_p}{P}\right)^2 + \left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 35}$$

Obtenida la incertidumbre combinada, se debe considerar la repetibilidad y la reproducibilidad del método (proveniente de la Validación/Confirmación), la cual sería estimada a través de la suma cuadrática de las varianzas, quedando la siguiente ecuación:

$$u_{c\sigma} = \sqrt{(u_\sigma)^2 + (u_{repro})^2 + (u_{repet})^2} \quad \text{Ecuación N° 36}$$

**Paso 3:** Identificar las fuentes de incertidumbre.

A continuación se listan todas las posibles fuentes de incertidumbre asociadas al Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

El término  $\left(\frac{u_4}{4}\right)^2$  es cero por ser constante.

El término  $\left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2$  se asume un valor de  $\pi=3,14$  y una incertidumbre asociada de  $u_\pi=0,01$

Este es el aporte debido a la presión  $\left(\frac{u_P}{P}\right)^2$  y los errores asociados a este término se especifican a continuación:

- Repetibilidad: se toma en este caso el EMP ya que no se posee datos históricos provenientes de la ejecución del ensayo y del manual del fabricante.

$$u_{\text{rep}} = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u(\text{rep})$ Kgf	5,77350269
---------------------	------------

- Calibración: se toma la que reporta el manual del equipo.

$$u_{\text{cal}} = \frac{U_{\text{cal}}}{2}$$

$u(\text{cal})$	6
-----------------	---

- Deriva: se considera el EMP para su cálculo.

$$u_{\text{der}} = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u(\text{der})$ Kgf	5,77350269
---------------------	------------

- Resolución: es el valor especificado por el equipo.

$$u(\text{res}) = \frac{res}{\sqrt{12}}$$

$u(\text{res}) \text{ Kgf}$	2,88675135
-----------------------------	------------

Finalmente, la ecuación que describe todos los aportes relacionados a la presión o carga ejercida sobre el cilindro o probeta cilíndrica de concreto, está representada por la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{uP}{P}\right)^2 = \left(\frac{EMP}{P \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{P \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{P \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{res}{P \cdot \sqrt{12}}\right)^2 \quad \text{Ecuación N° 37}$$

$\left(\frac{uP}{P}\right)^2$	3,54E-08
-------------------------------	----------

Este es el aporte debido al diámetro  $\left(\frac{u_D}{D}\right)^2$  y los errores asociados a este término se especifican a continuación:

- Repetibilidad: se considera el EMP, tomado del manual del fabricante.

$$u_{rep} \cong \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u(\text{rep}) \text{ cm}$	0,0011547
----------------------------	-----------

- Calibración: del vernier, se emplea el EMP, sabiendo que el vernier ya fue verificado:

$$u_{cal} \cong \frac{EMP}{\sqrt{12}}$$

$u(\text{cal}) \text{ cm}$	0,00057735
----------------------------	------------

- Deriva: se considera el EMP para su cálculo.

$$u_{der} \cong \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

$u(\text{der}) \text{ cm}$	0,0011547
----------------------------	-----------

- Resolución: es el valor especificado por el equipo.

$$u(\text{res}) = \frac{\text{res}}{\sqrt{12}}$$

$u(\text{res}) \text{ cm}$	0,00288675
----------------------------	------------

Finalmente, la ecuación que describe todos los aportes relacionados al diámetro del cilindro o probeta cilíndrica de concreto, está representada por la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{uD}{D}\right)^2 = 2 * \left( \left(\frac{EMP}{D \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{D \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{D \cdot \sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{res}}{D \cdot \sqrt{12}}\right)^2 \right) \quad \text{Ecuación N° 38}$$

$\left(\frac{uD}{D}\right)^2$	8,7845E-08
-------------------------------	------------

**Nota:** el producto 2 en la ecuación 38, es debido a que ya se esta considerando los dos aportes del diámetro del cilindro por igual.

**Paso 4:** Incertidumbre combinada.

La incertidumbre combinada para el esfuerzo es la siguiente:

$$u_{c\sigma} = \sigma \cdot \sqrt{\left(\frac{u_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{u_p}{P}\right)^2 + \left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2} \quad \text{Ecuación N° 39}$$

$u_{c\sigma}$	1,00300246	Kgf/cm <sup>2</sup>
---------------	------------	---------------------

**Paso 5:** Incertidumbre Expandida.

Finalmente, se obtiene la incertidumbre expandida, como último paso para la estimación de la incertidumbre, la ecuación definitiva para el reporte de nuestros resultados es la siguiente:

$$u_{exp} = (2 \times u_\sigma) \quad \text{Ecuación N° 40}$$

$u_{exp}$	2,00600491	Kgf/cm <sup>2</sup>
-----------	------------	---------------------

**Nota:** este resultado es el que se reporta como incertidumbre objetivo, para representar a la máxima incertidumbre que se puede obtener, y a cual, representa el objetivo de este Trabajo Especial de Grado.

El reporte del resultado final de la incertidumbre asociado al esfuerzo es el siguiente:

$$\sigma \pm U_{\sigma_{exp}}$$

El valor obtenido de la incertidumbre objetivo es de 2 Kgf/cm<sup>2</sup> que representa un 25% del valor por debajo de la desviación estándar que reporta el método de ensayo, de acuerdo a la norma COVEIN 338:2002 para ensayos de concreto.

La secuencia de cálculo para la estimación se muestra en el CD-ROM del laboratorio con código FOT-EIM-NEF-02, identificación que se le da al procedimiento de cálculo de la estimación de la incertidumbre para el ensayo en estudio.

Con esto, finaliza el procedimiento de la estimación de la incertidumbre, se puede notar que el estudio de las fuentes de incertidumbre para el ensayo en estudio, permite que se obtenga una estimación razonable y sin obviar cualquier detalle que indique una estimación metrológicamente no válida. El estudio del mensurando, sirve como base para el desarrollo de la estimación de la incertidumbre, la misma tiene que ser descrita con detalles para determinar los aportes de incertidumbre que se generen a partir de ella, tal es el caso de este ensayo, el mensurando es el esfuerzo a la compresión y sus aportes son los relacionados a la presión o carga axial y la del diámetro del cilindro de concreto. A partir de estos aportes, se deduce las fuentes de incertidumbre que son motivadas por errores que se generan por imperfecciones del instrumento de medición o las imperfecciones inducidas por el operador tales como: la Repetibilidad, Resolución, Calibración y Deriva (la primera por el operador y las tres siguientes por el instrumento de medición).

Se presenta como aporte, dos soportes técnicos para el cálculo de la repetibilidad y reproducibilidad y también para el de la estimación de la incertidumbre, ambos, descansan en la nave de Ensayos Físicos del IMME y están a la disposición de los operadores y analistas del laboratorio, así como los encargados del mismo, para realizar las operaciones estadísticas pertinentes al ensayo.

Tanto el procedimiento para la validación como el de la estimación de la incertidumbre, sirven de complemento para la acreditación bajo la norma internacional ISO/IEC 17025:2005, dichos procedimientos, cumplen con los apartados **5.4.5 Validación de Métodos** y el **5.4.6 Estimación de la Incertidumbre de la Medición** de la norma, y sirven para demostrar la competencia técnica del laboratorio en la realización de sus mediciones y en sus reportes de resultados confiables.

El reporte del procedimiento de acuerdo a la estructura presentada anteriormente, se presenta a continuación.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	<b>Código</b> PRT-EIM-NEF-01	<b>PÁG:</b> 1/15
		<b>Nº Rev</b> 00	<b>FECHA:</b> Mayo 2010
<b>PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE</b>			

**PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE PARA EL ENSAYO:**  
**COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	Código <b>PRT-EIM-NEF-01</b>	PÁG: <b>2/15</b>
		Nº Rev <b>00</b>	FECHA: Mayo 2010
<b>PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE</b>			

TITULO DEL MANUAL.	Nº Revisión
<b>PROCEDIMIENTO DE ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN PARA EL ENSAYO COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO</b>	00
Este procedimiento fue elaborado por la <b>Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales</b> de la Facultad de Ingeniería, conjuntamente con la Coordinación de Gestión de la Calidad de la FI, con la debida revisión y aprobación por parte de las autoridades correspondientes.	

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Br. Gonzalo Félix	Tesista		Mayo 2010

REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Prof. César Peñuela	Coordinador del Laboratorio de Ensayos Físicos		Mayo 2010
Msc. Franca Gambino	Comité Provisional de Calidad		Mayo 2010

APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Prof. César Peñuela	Coordinador del Laboratorio de Ensayos Físicos	<b>Tutor</b>	Mayo 2010
Msc. Franca Gambino	Comité Provisional de Calidad	Tutor	Mayo 2010
Prof. Trino Romero	Jefe Departamento Diseño	Jurado	Mayo 2010
Prof. Jhoylin Casanova	Coordinador de Pasantías	Jurado	Mayo 2010



	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS</b>	Código PRT-EIM-NEF-01	PÁG: 4/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
PROCEDIMIENTO DE ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION PARA EL ENSAYO "COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO"			

<b>1. OBJETO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ALCANCE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. BASE LEGAL .....</b>	<b>6</b>
<b>4. RESPONSABLES .....</b>	<b>7</b>
<b>5. REFERENCIAS .....</b>	<b>7</b>
<b>6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>7. DESARROLLO DEL INSTRUCTIVO .....</b>	<b>8</b>
<b>7.1. Descripción del Procedimiento .....</b>	<b>8</b>
<b>7.2. Equipos .....</b>	<b>8</b>
<b>7.3. Reactivos .....</b>	<b>8</b>
<b>7.4. Especificación del Mensurando .....</b>	<b>8</b>
<b>7.5. Identificación de las Fuentes de Incertidumbre .....</b>	<b>10</b>
<b>7.5.1. Aportes por Presión o Carga Axial .....</b>	<b>11</b>
<b>7.5.2. Aportes por Área del Cilindro .....</b>	<b>13</b>
<b>7.6. Incertidumbre Estándar Combinada de la Compresión de Cilindros de Concreto .....</b>	<b>14</b>
<b>7.7. Incertidumbre Expandida .....</b>	<b>15</b>
<b>7.8. Reporte de Resultados .....</b>	<b>15</b>

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS</b>	Código PRT-EIM-NEF-01	PÁG: 5/15
		Nº Rev 00	FECHA: Mayo 2010
PROCEDIMIENTO DE ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION PARA EL ENSAYO "COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO"			

## 8. OBJETO

Este procedimiento tiene por objeto la estimación de la incertidumbre empleando una carga axial a probetas cilíndricas para la determinación del esfuerzo a la compresión de cilindros de concreto basado en la norma COVENIN 338:2002.

## 9. ALCANCE

Este procedimiento aplica a la estimación de la incertidumbre empleando una carga axial a probetas de cilindro de concreto, dentro de un intervalo que va desde 50 Kg/cm<sup>2</sup> hasta 450 Kg/cm<sup>2</sup>.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b> <b>NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS</b>	<b>Código</b> PRT-EIM-NEF-01	<b>PÁG:</b> 6/15
		<b>Nº Rev</b> 00	<b>FECHA:</b> Mayo 2010
	<b>PROCEDIMIENTO DE ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION PARA EL ENSAYO</b> <b>“COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO”</b>		

## 10. BASE LEGAL

Las actividades del Laboratorio de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, perteneciente a la FI de la UCV, están normadas de manera general por un conjunto de disposiciones legales tales como: leyes, reglamentos y normas que deben considerarse en toda su extensión, siendo éstas las que se mencionan a continuación:

**Constitución de la República Bolivariana de Segunda Versión Venezuela, Gaceta Oficial Nro. 5.453 del 24-03-2000. Enmendada, Gaceta Oficial Nro.5.908 Extraordinaria de Fecha 19/02/2009.**

**Ley de Universidades. Gaceta Oficial N 1º 1429, Extraordinario del 08-09-70.**

**Reglamento Parcial de la Ley de Universidades del 14-02-67, Gaceta Oficial Nº 28.262 del 17-02-67- Capitulo I:**

**Reglamento Parcial de la Ley de Universidades de 1971- Gaceta Oficial Nº 29.559 del 01-09-71**

**Decreto N° 6.217, con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica de la Administración Pública, Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.890 Extraordinario del 31 de julio de 2008.**

**Reglamento N° 1 de la Ley Orgánica de la Administración Financiera del Sector Público sobre el Sistema Presupuestario del 12 de agosto de 2005 - Gaceta N° 5.781 Extraordinario.**

### En materia de Recursos Humanos

**Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.522 de fecha 06 de Septiembre de 2002. Ley del Estatuto de la Función Pública.**

**Acuerdo UCV-APUCV. Acta Convenio entre la Universidad Central de Venezuela y la Asociación de Profesores de la UCV.**

**Cláusula N° 41. Dedicación en el Desempeño de Cargos Administrativo-Docente al Servicio de la UCV.**

**Normas de Homologación de Sueldos y Beneficios Adicionales de los Miembros del Personal Docente y de Investigación de las Universidades Nacionales.**

**Reglamento de Cátedras y Departamentos, aprobado por el Consejo Universitario en fecha 22-09-1982.**

**Reglamento de Jubilaciones y Pensiones del Personal Docente y de Investigación de la Universidad Central de Venezuela.**

**I Convención Colectiva del Sindicato Nacional Asociación de Profesionales Universitarios en Funciones Administrativas y Técnicas” (APUFAT).**

**Ley de Metrología**

**Ley Venezolana para Sistemas de Calidad**



## 11. RESPONSABLES

El Responsable Técnico o Jefe de Laboratorio supervisa la realización de los cálculos de acuerdo a este procedimiento, que se cumplan los criterios de aceptación y rechazo, el correcto registro de los datos y resultados en los respectivos formatos vigentes.

Es responsabilidad de los Técnicos y Analistas del Laboratorio conocer aspectos básicos del presente instructivo y sus documentos vigentes.

## 12. REFERENCIAS

- Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005. "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración". Segunda Edición. Fecha: 15-05-2005.
- Procedimiento "Estimación de la Incertidumbre de la Medición" (PRT-EIM-FI)
- Guía EURACHEM / CITAC, Cuantificación de la incertidumbre en la Medición Analítica (2000) 2ª edición.
- Norma Venezolana COVENIN 338:2002. "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto (2da Revisión)".
- Schmid, Wolfgang y Lazos, Rubén. "Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. CENAM". El Marqués, México. Fecha: Mayo de 2000.

## 13. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Las definiciones generales y necesarias para la comprensión y aplicación del presente procedimiento se encuentran en el Procedimiento "Estimación de la Incertidumbre de la Medición" (PRT-EIM-FI).

Las abreviaturas más específicas referidas al método de ensayo que se está analizando son:

- P: Kgf presión o carga a la probeta cilíndrica
- A:  $\text{cm}^2$  área de la probeta cilíndrica
- D: cm diámetro de la probeta cilíndrica
- Kgf: Kilogramos Fuerza
- $\text{cm}^2$ : centímetros al cuadrado
- cm: centímetro
- $\sigma$ : Esfuerzo



## 14. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

### 7.1. Descripción del Procedimiento

A continuación se presenta un resumen de los pasos y cálculos empleados para la estimación de la incertidumbre en la determinación del esfuerzo en la compresión de cilindros de concreto.

### 7.2. Equipos

Máquina de Ensayo a Compresión

Fabricante: CONTROLS.

Modelo: C41G4.

### 7.3. Reactivos

No aplica.

### 7.4. Mensurando

Para la determinación del esfuerzo a la compresión de cilindros de concreto, se emplea la ecuación citada a continuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)

$P$  = Presión o carga axial a la probeta cilíndrica (Kgf)

$A$  = Área de la probeta cilíndrica. (cm<sup>2</sup>)

Para la determinación del área transversal de cilindro de concreto, se emplea la ecuación citada a continuación:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$D$  = Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

$\pi$  = Constante Pi (Adimensional)

Sustituyendo la Ec. 2 en la Ec. 1 tenemos la ecuación para la determinación del esfuerzo como sigue:



$$\sigma = \frac{4 \times P}{\pi \times D \times D} \quad \text{Ec. 3}$$

Se puede aplicar tanto la regla número dos como la Ley general de propagación de la Incertidumbre. Para el caso del ensayo a la compresión de cilindros, se aplicará la regla N°2. Para lo cual se establece que la incertidumbre estándar combinada quedará dada por la ecuación:

$$u_{C\sigma} = \sigma \cdot \sqrt{\left(\frac{u_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{u_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2} \quad \text{Ec. 4}$$

El término  $\left(\frac{u_4}{4}\right)^2$  es cero y el término  $\left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2$ , dependerá del número de decimales que se use con el valor de pi, ejemplo, 3,14, la  $u=0,01$ , si se usa 3,1416, la  $u=0,0001$ , etc. Esta información se puede encontrar en la base de datos establecida para diferentes constantes matemáticas calculadas (CODATA).

Obtenida la incertidumbre estándar combinada, se debe considerar la repetibilidad y reproducibilidad del método (proveniente de la validación / confirmación), la cual sería estimada a través de la suma cuadrática de las varianzas, a través de la ecuación:

$$u_{C\sigma} = \sqrt{(u_\sigma)^2 + (u_{repro})^2 + (u_{repet})^2} \quad \text{Ec. 5}$$

Por último se estima la incertidumbre expandida, asumiendo un  $k=2$ , para alcanzar un aproximado del 95% de confianza y/o certeza.

Se asumirá un  $k=2$ , para un 95% de confianza por tres razones a saber:

- Eurachem punto 8.3.3. En la mayoría de los casos se puede asumir un  $K = 2$ , siendo dependiente de los grados de libertad, solo en las evaluaciones estadísticas cuando estas están por debajo de seis repeticiones resulta difícil asumir un  $k=2$ , por ello se debe estimar los grado de libertad e identificar un  $k$ , para un 95,45% de confianza. La validación / confirmación del presente método, fue estructurada para un número de seis repeticiones, en consecuencia, se puede asumir un  $k = 2$ .
- Por aplicación del teorema del límite central si no hay ninguna contribución no normal, mucho mayor que las demás, puede considerarse que la distribución resultante de la combinación de todas ellas es normal, y se puede tomar  $k = 2$  como factor de cobertura para un nivel de confianza de aproximadamente del 95%. En el presente procedimiento la contribución mayor es motivada a la reproducibilidad (distribución normal)



- Todas las contribuciones de incertidumbre tipo B evaluadas para la estimación de la incertidumbre combinada tienen infinitos grados de libertad.

Por lo anterior se puede seleccionar un  $k = 2$  para un 95% aproximado de certeza. La incertidumbre expandida será:

$$U_{\text{exp}} = 2 \cdot u_{c\sigma} \quad \text{Ec. 6}$$

### 7.5. Identificación de las fuentes de Incertidumbre y Estimación de la Incertidumbre Medida.

Partiendo de la ecuación 4, se identifican dos aportes importantes, estos comprenden la Presión o carga axial aplicada al cilindro de concreto y los Diámetros que corresponden por igual al diámetro del cilindro de concreto. Cada uno de ellos requiere estimación por separado y posterior combinación de los parámetros. En la Figura 1, se muestra el diagrama de causa efecto en la estimación de la incertidumbre del presente procedimiento. Incluyendo repetibilidad y reproducibilidad del método.

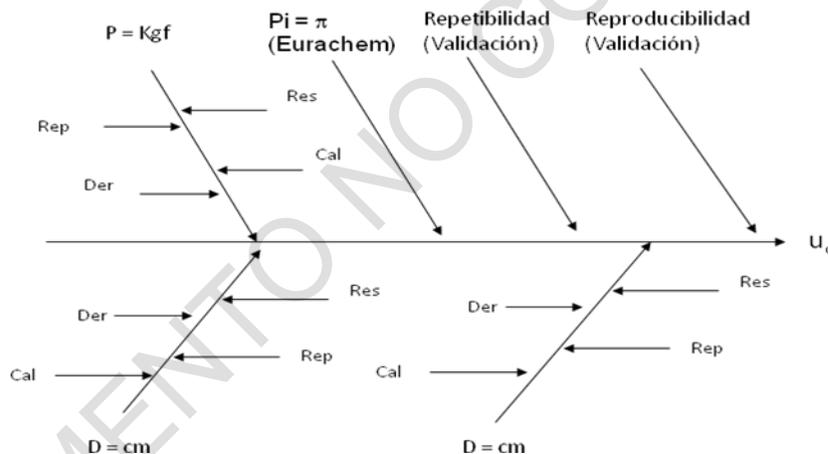


Figura 1. Diagrama de causa y efecto en la Estimación de la Incertidumbre en la Determinación del Esfuerzo en la Compresión de Cilindros de Concreto.

#### 7.5.1. Aportes por Presión o Carga Axial

Este aporte está representado por el término:  $\left(\frac{u_P}{P}\right)^2$ , para ello la medición de la compresión del cilindro de concreto, es una medida directa y está caracterizada por cuatro aportes que corresponden a:



PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

- Repetibilidad, que puede emplearse la obtenida durante la validación del método. Si se considera que la reproducibilidad abarca la repetibilidad, sólo se incluye reproducibilidad. También puede considerarse el Error máximo Permitido (EMP o tolerancia), sabiendo que dicho equipo ya fue verificado y se alcanzan valores por debajo de su EMP

$$u_{rep} = \frac{EMP}{\sqrt{3}}$$

La repetibilidad puede ser un valor suministrado en las especificaciones del equipo por el fabricante y, puede corresponder a un límite máximo como se mencionó anteriormente o directamente el dato de repetibilidad ( $S_{repetibilidad}$ ), en cuyo caso esta desviación sería directamente la incertidumbre típica asociada a la repetibilidad ( $u_{repetibilidad}$ ) realizada en la validación del método, la misma debe ser verificada.

$$u_{repetibilidad} = S_{repetibilidad}$$

De esta forma, la incertidumbre estándar por repetibilidad  $u_{repetibilidad}$ , se determina con los valores de repetición producto de un experimento adecuado aplicando las siguientes ecuaciones:

$$u_{repetibilidad} = \frac{S_{repetibilidad}}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}$$

Donde:

$S_{repetibilidad}$ : La desviación típica de la serie de cargas axiales aplicadas a los cilindros.

$P_i$ : Carga axial individual

$\bar{P}$ : Carga promedio de la series de carga.

$n$ : Número de cargas realizadas en el ensayo de repetición.

- Calibración de la máquina de ensayo o prensa universal (Incertidumbre obtenida en la calibración / verificación de ser el caso) para ello se dispone del Certificado de Calibración del equipo. Igualmente puede emplearse el Error Máximo



PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Permitido (EMP o tolerancia) del equipo, sabiendo que el mismo ya fue verificado.

$$u_{\text{cal}} = \frac{U_{\text{exp}}}{2}$$

- Deriva del instrumento. De no disponerse de datos históricos puede considerarse como la contribución debida al máximo valor el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia) de fabricación de la prensa o máquina de ensayo. Si se dispone de datos históricos, se considera la contribución a la incertidumbre por la deriva y se puede estimar usando como criterio la máxima deriva histórica entre dos certificados de calibración / verificación consecutivos, para el intervalo de trabajo adecuado. Por lo cual se pueden considerar las siguientes ecuaciones

$$u_{\text{der}} = \frac{EMP}{\sqrt{3}} \text{ ó } \frac{|Cal_n - Cal_{n-1}|_{\text{max}}}{\sqrt{3}}$$

Adicionalmente, como deriva del instrumento se puede emplear

$$u_{\text{der}} = \frac{U_{\text{exp.certificad}}}{\sqrt{3}}$$

- Resolución, valor más pequeño que puede mostrar la prensa o máquina de ensayo y aparece especificado por el fabricante del equipo. O en su defecto se deduce de los valores mostrados en el visor del equipo. La incertidumbre de resolución de la prensa para el cálculo de esta contribución se define con la siguiente ecuación:

$$u(\text{res}) = \frac{res}{\sqrt{12}}$$

Donde:

$u_{res}$  = incertidumbre típica asociada a la resolución de la Prensa



Finalmente, la ecuación que describe todos los aportes relacionados a la presión o carga ejercida sobre el cilindro o probeta cilíndrica de concreto, está representada por la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{uP}{P}\right)^2 = \left(\frac{EMP}{P\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{P \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{P\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_{sc} \cdot \gamma}{P\sqrt{12}}\right)^2$$

### 7.5.2. Aportes por Diámetro del Cilindro

El segundo aporte de la ecuación 4, corresponde al área del cilindro de concreto, el cual está representado básicamente por el aporte del diámetro del cilindro, por lo que queda

representado por el término:  $\left(\frac{u_D}{D}\right)^2$ , Luego, al igual que en el punto 7.5.1 referente a los aportes por presión, se sigue un procedimiento similar para definir los aportes por el diámetro del cilindro de concreto:

- Repetibilidad, puede emplearse la obtenida durante la verificación del vernier o considerar el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), sabiendo que dicho instrumento ya fue verificado y se alcanzan valores por debajo de su EMP.

$$u_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ ó } \frac{EMP}{\sqrt{3}} \text{ ó } \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

- Calibración del vernier (Incertidumbre obtenida en la calibración / verificación). Igualmente puede emplearse el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia), sabiendo que el vernier ya fue verificado. Este valor puede obtenerse del manual del fabricante.

$$u_{cal} = \frac{U_{exp}}{2} \text{ ó } \frac{EMP}{\sqrt{12}}$$

- Deriva, de no disponerse de datos históricos puede considerarse como la contribución debida al diámetro del cilindro y se asume como máximo valor el Error Máximo Permitido (EMP o tolerancia) de fabricación. Si se dispone de datos históricos, se considera la contribución a la incertidumbre por la deriva y se puede estimar usando como criterio la máxima deriva histórica entre dos certificados de calibración / verificación consecutivos, para el intervalo de trabajo adecuado.



$$u_{\text{der}} = \frac{EMP}{\sqrt{3}} \text{ ó } \frac{|Cal_n - Cal_{n-1}|_{\text{max}}}{\sqrt{3}}$$

- Resolución, valor más pequeño que puede mostrar el vernier y aparece especificado por el fabricante del equipo. O en su defecto se deduce de los valores mostrados en la escala del vernier. La incertidumbre de resolución del vernier está dada según la siguiente ecuación:

$$u(\text{res}) = \frac{\text{res}}{\sqrt{12}}$$

Donde:

$u_{\text{res}}$  = incertidumbre típica asociada a la resolución del vernier

Finalmente, la ecuación que describe todos los aportes relacionados al diámetro del cilindro o probeta de concreto, está representada por la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{u_D}{D}\right)^2 = 2 * \left( \left(\frac{EMP}{D.3}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{D.2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{D.\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{Ec. 8}}{D.\sqrt{12}}\right)^2 \right)$$

### 7.6. Incertidumbre Estándar Combinada de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto ( $\sigma$ )

Como se indicó en el punto 7.4, la estimación de la incertidumbre estándar combinada de la compresión de cilindros de concreto, está representada por la ecuación 4, la cual se representa por:

$$u_{c\sigma} = \sigma \cdot \sqrt{\left(\frac{u_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{u_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{u_\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2}$$

Para obtener la incertidumbre estándar combinada de la Resistencia a la Compresión, se requiere incluir la repetibilidad y la reproducibilidad del método. Si se considera que la reproducibilidad abarca la repetibilidad, solo incluya reproducibilidad. La misma es obtenida por la ecuación 5, expresada como:

$$u_{c\sigma} = \sqrt{(u_\sigma)^2 + (u_{repro})^2 + (u_{repet})^2}$$

La reproducibilidad y la repetibilidad provienen de la validación / confirmación del método, también puede tomarse la indicada por el método normalizado, siempre y cuando este haya sido validado por el laboratorio.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>INSTITUTO DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</b>	<b>Código</b> <b>PRT-EIM-NEF-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>15/15</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>00</b>	<b>FECHA:</b> <b>Mayo 2010</b>
<b>PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE</b>			

### 7.7. Incertidumbre Expandida.

Considerando:

- Eurachem punto 8.3.3. En la mayoría de los casos se puede asumir un  $K = 2$ , siendo dependiente de los grados de libertad, solo en las evaluaciones estadísticas cuando estas están por debajo de seis repeticiones resulta difícil asumir un  $k=2$ , por ello se debe estimar los grado de libertad e identificar un  $k$ , para un 95,45% de confianza. La validación / confirmación del presente método, fue estructurada para un número de repeticiones superior a seis, en consecuencia, se pude asumir un  $k = 2$ .
- Por aplicación del teorema del límite central si no hay ninguna contribución no normal, mucho mayor que las demás, puede considerarse que la distribución resultante de la combinación de todas ellas es normal, y se puede tomar  $k = 2$  como factor de cobertura para un nivel de confianza de aproximadamente del 95%. En el presente procedimiento la contribución mayor es motivada a la reproducibilidad (distribución normal)
- Todas las contribuciones de incertidumbre tipo B evaluadas para la estimación de la incertidumbre combinada tienen infinitos grados de libertad.

Se asumirá un  $k=2$ , para un 95% de confianza. La incertidumbre expandida será obtenida por la ecuación 6: no

$$u_{exp} = (2 \times u_{\sigma}) \quad \text{Ec. 11}$$

### 7.8. Reporte del Resultado.

El reporte debe ser realizado según lo exige el método de ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto Norma COVENIN 338:2002, sin embargo se puede aplicar el criterio de reportar la incertidumbre de la medición con dos cifras significativas (de ser posible) y el resultado con el mismo número de decimales de la incertidumbre.

## CONCLUSIONES

Conforme a la estructura presentada en este trabajo, y de acuerdo a lo desarrollado en la metodología para el estudio planteado, se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. La Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005, sirve como recurso indispensable, para demostrar competencia técnica del ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.
2. El Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto, cumple con la Norma COVENIN 338:2002, y permitió establecer los criterios para la Validación y Estimación de la Incertidumbre.
3. Se diseñó un procedimiento para la Validación del Ensayo que cumple con la norma ISO/IEC 17025:2005, para la conformidad en sus resultados.
4. Se desarrolló una técnica estadística para calcular la Repetibilidad y Reproducibilidad del método:
  - 3 niveles de estudio (50-250-450 Kgf/cm<sup>2</sup>)
  - 5 tiempos equivalentes
  - 6 repeticionesPara asegurar una distribución normal y un 95% de probabilidad de confiabilidad en los resultados.
5. Se diseñó un procedimiento para la Estimación de la Incertidumbre que cumple con la Norma ISO/IEC 17025:2005
6. La definición del mensurando y el modelo matemático del ensayo, permitió determinar las fuentes de incertidumbre: Resolución, Deriva, Repetibilidad y Calibración.
7. El diagrama Causa – Efecto permite una mejor visualización de las imperfecciones asociadas a la incertidumbre.
8. Se definió la Incertidumbre Objetivo como máxima incertidumbre posible del ensayo, y cuyo valor es 2 Kgf/cm<sup>2</sup>.

## RECOMENDACIONES

Realizar la acreditación de los laboratorios, es un proceso que requiere de tiempo y del trabajo de cada uno de sus integrantes. La Norma ISO/IEC 17025:2005 es primordial para la competencia de los laboratorios donde, la elaboración de los procedimientos para la Validación y Estimación de la Incertidumbre forman parte de ella. Este Trabajo Especial de Grado cubre los aspectos requeridos para el levantamiento de dichos procedimientos, y de manera de profundizarlos, se recomienda:

1. Realizar una pre-evaluación de los procedimientos con un auditor acreditado y en presencia de los colaboradores del ensayo, con la finalidad de comprobar su validez de acuerdo a la norma.
2. Adiestrar al personal técnico encargado del ensayo, para el entendimiento de los procedimientos y su correcta ejecución de los mismos.
3. Realizar el cálculo para la validación del método y la estimación de la incertidumbre, siguiendo paso a paso las instrucciones de los procedimientos propuestos, para comprobar la veracidad de los mismos.
4. Se recomienda realizar un mayor número de ensayos, tanto para la validación como para el cálculo de la estimación de la incertidumbre, para determinar el funcionamiento de éste procedimiento con un mayor alcance al propuesto.
5. Realizar pruebas interlaboratorios, como medio para llevar a cabo mejoras en sus procedimientos y como garantía de la calidad de los resultados.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Centro Español de Metrología. “Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, términos asociados”. Tercera Edición 2008.
2. Compendium of Chemical Terminology. “International Union of Pure and Applied Chemistry”, 1987.
3. Compendium of Analytical Nomenclature – The Orange Book. “International Union of Pure and Applied Chemistry”. 3<sup>rd</sup> Edition, 1998.
4. Cortés, Rocío. “Validación de Métodos de Medición. Publicación Entidad Mexicana de Acreditación (EMA)”. [Publicación en línea]. Disponible:<http://www.udlap.mx/Conoce/video/files/ValidaciondeMetodoSdeMedicion.pdf> [Consulta: 2010, Febrero 12].
5. Diseño de mezcla para un pavimento. [Publicación en línea]. Disponible: <http://www.construaprende.com/Lab/20/Prac20.html> [Consulta: 2010, Enero 28].
6. Eduteka. “Tecnologías de Información y Comunicaciones para la Enseñanza. Diagramas Causa – Efecto”. [Publicación en Línea]. Disponible: <http://www.eduteka.org/DiagramaCausaEfecto.php>. Enero, 2006. [Consulta: 2009, Noviembre 22]
7. Eurachem. “The Fitness for Purpose of Analytical Methods”. 1<sup>st</sup> Edition, 1998.
8. Fracassetti, W. y Pérez, J. (2001). Implantación del Sistema de Aseguramiento de la Calidad en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas de la UCV. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
9. Herrera, G (2004) “Experiencias de Implementación de la Calidad en Laboratorios Universitarios”.

10. Hervot, E et al., (2002). “Acreditación de Normas ISO 17025 para los ensayos que se realizan a las muestras de carbón”.
11. Monge J. y otros (S/F). “Experiencia de evaluación de laboratorios universitarios en relación a la Norma ISO 17025”.
12. Norma Internacional ISO 8402:1994. “Dirección de Calidad y Garantía de Calidad. Vocabulario”. 1994.
13. Norma Internacional ISO 9000:2005. “Sistemas de gestión de la calidad ISO 9000”. 2005.
14. Norma Internacional ISO 9001:2008. “Orientación para la Implementación de la Norma ISO 9001:2008”. Octubre 2008.
15. Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005. “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”. Segunda Edición. Fecha: 15-05-2005.
16. Norma ISO 3534.1:2008. “Estadística. Vocabulario y Símbolos”. 2008.
17. Norma Venezolana COVENIN 338:2002. “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto (2<sup>da</sup> Revisión)”.
18. Organismo Argentino de Acreditación. “Guía para la validación de métodos de ensayo”. Código: DC-LE-05. Fecha: 26-09-2003.
19. Romero, T y otros (2007). “Gestión de la Calidad en Laboratorios de la Universidad. Caso: Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela”.
20. Rosales, J. (2009) “Metrología Básica” y “Validación de métodos y Estimación de la Incertidumbre”. Trabajo no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
21. Sáez, Sifredo y Font, Luis. “L&S Consultores C.A. Incertidumbre de la Medición: Teoría y Práctica”. Febrero 2001.
22. Schmid, Wolfgang y Lazos, Rubén. “Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. CENAM”. El Marqués, México. Fecha: Mayo de 2000.

23. Valle, Benjamín y Guttman, Galdino. “ISO/IEC 17025: La Nueva Norma para Laboratorios de Ensayo y Calibración”. [Publicación en Línea]. Disponible: [http://www.anvisa.gov.br/esp/divulga/articulo\\_iso.htm](http://www.anvisa.gov.br/esp/divulga/articulo_iso.htm) Abril, 2001. [Consulta: 2009, Octubre 27].

## APÉNDICE

Se presenta en esta sección, todos los apéndices que sirven de soporte para la presentación de los procedimientos y de todos los documentos que complementan a la elaboración de este trabajo, el cual, se dividen en las siguientes partes:

- Apéndice 1: “Certificado de la máquina de ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto” (Material de Referencia Certificado).
- Apéndice 2: “Instructivo Elaboración de Documentos” (IN-GED-01) de la Facultad de Ingeniería UCV.

[Apéndice 1]

Certificado de la máquina de ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto  
(Material de Referencia Certificado).



RIF.: J-00244177-1

ISO/IEC 17025:2005

F-CAL-F-09 Rev. 9

**INF-09-039**

PAG :2 DE 6

<b>CLIENTE:</b>	UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA U.C.V.
<b>DIRECCIÓN DEL CLIENTE:</b>	Los Chaguaramos
	Caracas-Distrito Capital
<b>LUGAR DE LA CALIBRACIÓN:</b>	Los Chaguaramos
	Caracas-Distrito Capital

**1- OBJETO DE PRUEBA**

<b>RANGO</b>	2000 kN	
<b>DIRECCIÓN DE LA CARGA</b>	COMPRESIÓN	
<b>TRANSDUCTOR DE PRESIÓN</b>	N/V	
<b>MODELO TRANSDUCTOR</b>	N/V	
<b>NÚMERO DE SERIE</b>	N/V	<b>COD. INTERNO</b> ---
<b>DIVISIÓN DE ESCALA</b>	0,1 kN	
<b>RESOLUCIÓN DE LA ESCALA</b>	0,1 kN	
<b>RESOLUCIÓN POR FLUCTUACIÓN</b>	0,1 kN	
<b>RANGO DE FLUCTUACIÓN</b>	0 kN	
<b>TRABAJO REALIZADO</b>	CALIBRACIÓN	
<b>MÉTODO UTILIZADO</b>	Método de Comparación directa - Fuerza indicada constante.	
<b>INTERVALO CALIBRADO</b>	20 % AL 80 %	
<b>UNIDAD DE CALIBRACIÓN</b>	kN	
<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>	31 °C - 56 %HR	
<b>UBICACIÓN</b>	Laboratorio del Cliente	

**2- MÉTODO DE CALIBRACIÓN:**

La calibración del instrumento se ha efectuado según la Norma ISO 7500-1 versión 2007, Método de Comparación directa, Fuerza indicada constante. Método de Calibración P-CAL-F-01 y procedimiento del laboratorio, P-CAL-F-02

**3- PATRONES UTILIZADOS**

EQUIPO	TRANSDUCTOR DE FUERZA	INDICADOR DIGITAL	INSTRUMENTO CLIMÁTICO
<b>MARCA</b>	CONTROLS	-	HUGER
<b>MODELO</b>	82-E0100/E	-	ETHG-912
<b>SERIAL</b>	07000427	-	LM-TH-04
<b>RANGO</b>	2000	-	50 °C - 95 % HR
<b>CLASE</b>	1.0	-	-
<b>CERTIFICACIÓN No</b>	07-0115-02	-	C-LT-SV-02-06-0075
<b>ORGANISMO CERT.</b>	INRIM	-	SENCAMER
<b>INCERTIDUMBRE % (K=2)</b>	0.12	-	0
<b>UNIDADES DE MEDIDA</b>	kN	-	°C

Dirección General: Parcelas 1-2, Urbanización  
Parque Industrial San Rafael, Final Av. Principal, Charallave  
Edif. Miranda Zona Postal 1220 P.O. Box 75571 Venezuela

Tel: (Master) 0239-2483922 / Fax: 0239-2460193  
E-mail: ventas@icc.com.ve / servicio@icc.com.ve  
Web: www.icc.com.ve

[Apéndice 2]

Instructivo Elaboración de Documentos (IN-GED-01) de la Facultad de Ingeniería  
UCV.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	Código IN-GED-01	PÁG: 1/17
		Nº Rev 0	FECHA: Enero 2010
INSTRUCTIVO			

## **INSTRUCTIVO PARA ELABORAR DOCUMENTOS**

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>2/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

TITULO DEL MANUAL.	Nº Revisión
<b>INSTRUCTIVO PARA ELABORAR DOCUMENTOS</b>	0
El siguiente Instructivo se elaboró por la Coordinación de la Calidad adscrito a la Facultad de Ingeniería conjuntamente con el Departamento de Organización y Sistemas de la Universidad Central de Venezuela, con la debida revisión y aprobación por parte de las autoridades correspondientes.	

ELABORADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Ing. Liliana Trillo	Consultor Equipo de Calidad		Enero 2010

REVISADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
Lic. Marisela González	Jefe de División de Organización y Sistemas		

APROBADO POR:			
NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
XXXXX	Coordinador de Calidad		

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>LABORATORIO FÍSICO-QUÍMICA, PETA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>3/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
	<b>INSTRUCTIVO PARA ELABORAR DE DOCUMENTOS</b>		

## HISTORIAL DE REVISIONES

Nº REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>LABORATORIO FÍSICO-QUÍMICA, PETA</b>	Código IN-GED-01	PÁG: 4/17
		Nº Rev 0	FECHA: Enero 2010
	INSTRUCTIVO PARA ELABORAR DE DOCUMENTOS		

## CONTENIDO

<b>1 OBJETO</b> .....	5
<b>2 ALCANCE</b> .....	5
<b>3 REFERENCIAS</b> .....	5
<b>4 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS</b> .....	5
<b>5 DESCRIPCIÓN DEL INSTRUCTIVO</b> .....	6
<b>5.1 Formato del documento</b> .....	<b>6</b>
<b>5.1.1 Carátula</b> .....	<b>6</b>
<b>5.1.2 Contenido</b> .....	<b>7</b>
<b>5.1.3 Cuerpo</b> .....	<b>7</b>
<b>5.2 Codificación</b> .....	<b>9</b>
<b>5.2.1 Formato de código para manual de calidad</b> .....	<b>9</b>
<b>5.2.2 Formato de código para procedimiento</b> .....	<b>10</b>
<b>5.2.3 Formato de código para instructivo</b> .....	<b>11</b>
<b>5.2.4 Formato de código para registros</b> .....	<b>11</b>
<b>5.3 Abreviaturas</b> .....	<b>12</b>
<b>5.4 Tabla 1: Tipos de documentos y sus abreviaturas</b> .....	<b>13</b>
<b>5.5 Tabla 2: Tipo de procesos y sus abreviaturas</b> .....	<b>13</b>
<b>5.6 Tabla 3: Escuelas de la Facultad de Ingeniería y sus abreviaturas</b> .....	<b>14</b>
<b>6 ANEXOS</b> .....	<b>15</b>
<b>6.1 Anexo 1: Formato general de los documentos</b> .....	<b>15</b>
<b>6.2 Anexo 2: Elementos gráficos de un flujograma</b> .....	<b>16</b>

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>LABORATORIO FÍSICO-QUÍMICA, PETA</b>	Código IN-GED-01	PÁG: 5/17
		Nº Rev 0	FECHA: Enero 2010
	INSTRUCTIVO PARA ELABORAR DE DOCUMENTOS		

## OBJETO

Establecer los lineamientos generales a seguir para la elaboración, redacción y codificación de todos los documentos generados por los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, con el propósito de estandarizar toda la documentación en el Sistema de Gestión de Calidad.

## ALCANCE

Se aplica a todos los documentos del Sistema de Gestión de Calidad que se generan en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UCV.

## REFERENCIAS

No aplica

## DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

**Anexo:** Documento adjunto que complementa o aclara aspectos o actividades descritas en el documento elaborado. De acuerdo a su extensión y complejidad un documento puede tener más de un anexo; estos se ubican al final del documento elaborado y normalmente corresponden a formatos, registros, gráficos, dibujos, diagramas, fichas, etc.

**Aprobación:** Autorización de uso del documento elaborado, por parte del comité de aprobaciones respectivo.

**Formato:** Esquema o modelo donde se desarrolla el contenido de todos los documentos controlados, consta de encabezado y pie de página.

**Formulario:** Documento utilizado para registrar los datos requeridos por el sistema de gestión de la calidad o cualquier otro documento controlado que se establezca en los laboratorios acreditados.

**Instrucciones de Trabajo:** Documento que proporciona una descripción detallada de cómo realizar y registrar una determinada actividad y se crea en función de la complejidad del sistema. Generalmente las instrucciones complementan y desarrollan determinados puntos de los procedimientos.

**Instructivo:** Documento que proporciona una descripción breve de la forma en que se debe realizar un trabajo para cumplir un objetivo. A diferencia de las Instrucciones de Trabajo este documento no genera registros.

**Registro:** Documento que presenta resultados obtenidos o que proporciona evidencia de actividades desempeñadas.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>6/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

## DESCRIPCIÓN DEL INSTRUCTIVO

Los documentos generados en el Sistema de Gestión de Calidad para los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería deberán contar con los siguientes requisitos:

### Formato del documento

Los documentos se elaboran en hojas tamaño carta (8,5" x11" ó 21,59 cm x 27,94 cm), excepto cuando la cantidad de información requiera el uso de papel de distinto tamaño. Los márgenes establecidos son: superior 2,5 cm, inferior 2,5 cm, derecho 2 cm e izquierdo 2 cm. Se debe utilizar el siguiente formato:

### Carátula

**Contiene el encabezado que se encuentra en recuadros en la parte superior del documento y se divide en las siguientes partes: Ver Anexo 1: Formato general de los documentos.**

- Recuadro superior izquierdo: en el cual se incluye el logo de la Facultad de Ingeniería
- Recuadro central el cual contiene dos campos: el superior donde se escribe en letra tipo Arial Black, tamaño 9, color azul oscuro, en negrita, sombreada y mayúscula "UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA" y en la línea inferior "FACULTAD DE INGENIERIA". En el campo inferior se escribe en letra tipo Arial, tamaño 8, color azul oscuro, negrita, mayúscula, el nombre del documento al cual se hace referencia.
- Recuadro superior derecho se divide en cuatro campos: superior izquierdo donde se inserta el código del documento; superior derecho se inserta el número de páginas en el formato X/Y, "X" indica la página actual e "Y" el número total de páginas que contiene el documento; inferior izquierdo se coloca el número de revisión del documento en forma numérica. La elaboración original de un documento se identifica con el número cero (0) y las revisiones con modificaciones posteriores se le asigna el número consecutivo ascendente que se encuentra en vigencia; inferior derecho se coloca la fecha de aprobación del documento en el formato mes-año. Para estos campos se utiliza letra tipo Arial, tamaño 8, negrita, color azul oscuro.
- El título del documento debe estar en el centro, en letra tipo Arial Black, tamaño 10, color azul oscuro, en negrita y mayúscula.
- Pie de página: en el lado izquierdo se inserta el código del archivo que corresponde al código del documento que se elabora y la extensión para su ubicación en el formato digital; en el lado derecho se inserta el nombre de la coordinación o departamento al cual

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>7/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

se encuentra adscrito el documento. Se utiliza letra tipo Arial, tamaño 8, cursiva, negrita, color negro.

## Contenido

El contenido está compuesto de un encabezado y pie de página con el mismo formato de la carátula. A partir de la página 2 en el recuadro central superior se le agrega una tercera línea donde se coloca el nombre del laboratorio correspondiente al que pertenece el documento.

En el desarrollo del contenido de los documentos se utiliza letra tipo Arial, N° 10, color negro. Se deben justificar todos los párrafos del documento. Dentro de cada párrafo el interlineado será 1,5 líneas. Así mismo, cada párrafo debe estar separado por una línea en blanco.

En el caso de los formularios y diagramas de proceso utilizar el tamaño de letra que sea más apropiado de acuerdo al contenido y disposición de la información.

La numeración de los títulos de primer nivel debe ir en números arábigos en forma correlativa ascendente, con letra tipo Arial Black, N° 10, color azul oscuro, mayúscula, en negritas. Para una nueva división se usará dos dígitos y así sucesivamente si existen más divisiones. Los títulos de segundo deben utilizar el mismo formato pero en tipo oración. Los títulos de tercer nivel en adelante deben utilizar el mismo formato que el anterior pero sin negritas. Ejemplo:

### **1. TITULO DE PRIMER NIVEL O TÍTULO I**

#### **1.1. Título de segundo nivel o título II**

##### **1.1.1. Título de tercer nivel o título III**

## Cuerpo

Para procedimientos generales, procedimientos específicos e instructivos, el cuerpo del documento de acuerdo a su tipo contiene los siguientes campos:

1. Hoja de certificaciones
2. Historial de revisiones
3. Contenido
4. Objeto
5. Alcance
6. Referencias
7. Definiciones y abreviaturas
8. Procedimiento / Instrucciones

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	Código <b>IN-GED-01</b>	PÁG: <b>8/17</b>
		Nº Rev <b>0</b>	FECHA: <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

9. Flujograma

10. Anexos

De acuerdo a las características de procedimientos e instructivos, no siempre se aplica definiciones y abreviaturas, referencias, flujogramas, registros o anexos; en caso de no tener alguno de estos campos en el documento se le coloca “**No aplica**”.

A continuación se describe brevemente el significado de cada uno de los puntos del cuerpo del documento:

**Hoja de Certificaciones:** indica los cambios efectuados al documento donde se reporta:

Elaborado por: Nombre, Cargo, Firma, Fecha.

Revisado por: Nombre, Cargo, Firma, Fecha.

Aprobado por: Nombre, Cargo, Firma, Fecha.

**Historial de Revisiones:** indica número de la revisión, fecha de aprobación, descripción del cambio realizado.

**Contenido:** se lista el contenido, seccionándolo de acuerdo a las diferentes categorías documentales.

**Objeto:** describe en forma breve el propósito por el cual existe el procedimiento o instructivo.

**Alcance:** establece las áreas en las que se aplica el documento. Puede mencionar también cualquier excepción o exclusión referidas a la utilización del mismo.

**Referencias:** aquí se enunciarán las normas, leyes, reglamentos o documentos que son utilizados para la elaboración del procedimiento o instructivos, ya sean internos o externos.

**Definiciones y abreviaturas:** muestra las abreviaturas, términos y definiciones utilizadas en el documento. **Procedimiento:** describe las acciones o actividades secuenciales de la ejecución de un proceso o parte del mismo. Se puede aplicar un flujograma

**Flujograma:** es una descripción gráfica de la secuencia de las actividades del proceso que detalla el procedimiento o instructivo, muestra además las interrelaciones entre las distintas dependencias de la institución vinculadas en la aplicación del mismo. Ver Anexo 2: Elementos gráficos de un flujograma.

**Anexos:** son documentos, formularios y formatos de registros que sirven para una correcta aplicación del instructivo. El formato es: Anexo No: Nombre del documento.

Para formularios, el cuerpo del documento de acuerdo a su tipo contiene los siguientes campos:

1. Descripción

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>9/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

2. Zona de registro de datos opcionales
3. Zona de identificación de llenado

A continuación se describe brevemente el significado de cada uno de los puntos del cuerpo del documento

**Descripción:** son esquemas que se utilizan para registrar la actividad requerida a la organización.

**Zona de registro de datos opcionales:** son los espacios para registrar la realización de las actividades descritas en los procedimientos o instructivos. Es un espacio de diseño libre. Para lo cual es recomendable considerar que el llenado sea lo más simple para el usuario.

**Zona de identificación de llenado:** contiene

Fecha de llenado del formato

Identificación del responsable de haberlo llenado

Identificación de la hoja y el número de hojas de que consta el registro (formato lleno). Esto aplica solo en caso de que el registro esté constituido por más de una página.

**Nota:** Para los formatos que ya se utilizaban en las diferentes áreas del laboratorio y que no es posible dar una clave a dicho formato, no aplica el uso de los elementos generales a que hace referencia el presente instructivo en punto 5.1.

### **Codificación**

Los documentos del SGC de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería se codifican para una identificación única que facilite su control y registro.

### **Formato de código para manual de calidad**

**MC-XXXXX-YYYY-ZZZZZ**

Donde:

MC: Es la abreviatura de Manual de Calidad

XXXXX: Siglas que describen La Escuela o Instituto. Estas siglas pueden ser de tres a cinco letras dependiendo del nombre de la Escuela o Instituto.

YYYY: Siglas que describen el Departamento de la Escuela o División del Instituto. Estas siglas pueden ser de dos a cuatro letras dependiendo del nombre del departamento.

ZZZZZ: Siglas que describen al Laboratorio. Estas siglas pueden ser de dos a cinco dependiendo del nombre del Laboratorio.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>10/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

CASO 1: Laboratorio de Nave de Ensayos Físicos de la División de Estudios Especiales del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales

Codificación: **MC – IMME – ES – NEF**

XXXX: “IMME” indica que se trata del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.

YYY: “ES” indica que se trata de la División de Estudios Especiales.

ZZZ: “NEF” se refiere al Laboratorio de Nave de Ensayo Físicos.

CASO 2: Laboratorio de Química Instrumental del Departamento de Metalurgia Química de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales

Codificación: **MC – EIMCM – MQCA – QCA**

XXXXX: “EIMCM” indica que se trata de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.

YYYY: “MQCA” indica que se trata del Departamento de Metalurgia Química.

ZZZ: “QCA” se refiere al Laboratorio de Química.

CASO 3: Laboratorio de Físico-Química de la Planta Experimental de Tratamiento de Agua de la Escuela de Ingeniería Civil

Codificación: **MC – EIC – PETA – FQ**

XXX: “EIC” indica que se trata de la Escuela de Ingeniería Civil.

YYYY: “PETA” indica que se trata de la Planta de Tratamiento de Agua.

ZZ: “FQ” se refiere al Laboratorio de Físico-Química.

### **Formato de código para procedimiento**

**PR – YYYYY – ZZ**

Donde:

PR: Es la abreviatura de Procedimiento

X: Indica la siglas Técnico (T) o Gestión (G)

YYYY: Siglas que describen el proceso. Estas siglas pueden ser de 2, 3 ó 4 letras dependiendo del nombre del procedimiento

ZZ: numeración correlativa ascendente

### **EJEMPLO**

CASO: PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE DOCUMENTOS

Codificación: **PR – GCD – 01**

X: “G” señala que el procedimiento es del área de gestión

YY: “CD” indica que se trata de un procedimiento para el control de documentos

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>11/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

ZZ: 01 corresponde al primer procedimiento

### **Formato de código para instructivo**

**IN – XYYYY – ZZ**

Donde:

IN: Es la abreviatura de Instructivo

X: Indica la siglas Técnico (T) o Gestión (G)

YYYY: Siglas que describen el proceso

ZZ: numeración correlativa ascendente

#### **EJEMPLO**

CASO: INSTRUCTIVO PARA ELABORAR DOCUMENTOS

Codificación: IN – GED – 01

X: “G” señala que el procedimiento es del área de gestión

YY: “ED” indica que se trata de un instructivo para elaborar documentos

ZZ: 01 corresponde al primer instructivo

### **Formato de código para registros**

**RG – XYYYY – ZZ**

Donde:

RG: Es la abreviatura de Registro

X: Indica la siglas Técnico (T) o Gestión (G)

YYYY: Siglas que describen el proceso

ZZ: numeración correlativa ascendente

#### **EJEMPLO**

CASO 1: REGISTRO DE MODIFICACION DE DOCUMENTOS

Codificación: **RG – GCD – 01**

X: “G” señala que el registro es del área de gestión

YY: “CD” indica que se trata de un registro para el procedimiento control de documentos.

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>12/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

ZZ: 01 indica que es el primer registro elaborado correspondiente al procedimiento control de documentos

CASO 2: REGISTRO ACUSE DE RECIBO DE DOCUMENTACION

Codificación: **RG – GCD – 02**

X: “G” señala que el registro es del área de gestión

YY: “CD” indica que se trata de un registro para el procedimiento control de documento.

ZZ: 02 indica que es el segundo registro elaborado correspondiente al procedimiento control de documentos

### **Formato de código para documentos técnicos**

**DT – YYYYY – ZZ**

Donde:

DT: Es la abreviatura de Documentos Técnicos

X: Indica la siglas Técnico (T) o Gestión (G)

YYYY: Siglas que describen el proceso

ZZ: numeración correlativa ascendente

### **EJEMPLO**

CASO: MANUAL USO DE LA BALANZA

Codificación: **DT – TMUB – 01**

X: “T” señala que el documento es del área técnica.

YY: “MUB” indica que se trata de un manual para el uso de la balanza.

ZZ: 01 indica que es el primer documento correspondiente al uso de la balanza.

### **Abreviaturas**

Las tablas 1 y 2 detallan las abreviaturas utilizadas para el SGC en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>13/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

**Tabla 1: Tipos de documentos y sus abreviaturas**

Documento	Abreviatura
Manual de Calidad	MC
Procedimiento	PR
Instructivo	IN
Formularios	FO
Registro	RG

**Tabla 2: Tipo de procesos y sus abreviaturas**

Procesos	Abreviatura
Técnico	T
Gestión	G
Procedimiento de Ensayo	PE
Control de Documento	CD
Revisión de Pedidos, Ofertas y Contratos	RPOC
Compras	COM
Control de Proveedores	CP
Acciones Correctivas	AC
Aseguramiento de la Calidad	ACA
Acciones Preventivas	AP
Satisfacción al Cliente	SC
Servicio a Terceros	ST
Entrega de Resultados	ER
Manejo de Muestras	MM
Almacenamiento de Insumos	AI
Tramitación de Ingresos Propios	TIP
Elaboración de Documentos	ED

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	<b>Código</b> <b>IN-GED-01</b>	<b>PÁG:</b> <b>14/17</b>
		<b>Nº Rev</b> <b>0</b>	<b>FECHA:</b> <b>Enero 2010</b>
<b>INSTRUCTIVO</b>			

Documentos Técnicos	DT
---------------------	----

**Tabla 3: Escuelas de la Facultad de Ingeniería y sus abreviaturas**

Escuelas	Abreviatura
Ciclo Básico	CB
Escuela de Ingeniería Civil	EIC
Escuela de Ingeniería Eléctrica	EIE
Escuela de Ingeniería Geológica, Minas y Geofísica	EIGMG
Escuela de Ingeniería Mecánica	EIM
Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales	EIMCM
Escuela de Ingeniería Química	EIQ
Escuela de Ingeniería de Petróleo	EIP
Instituto de Mecánica de Fluidos	IMF
Instituto de Materiales y Modelos Estructurales	IMME

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	Código IN-GED-01	PÁG: 15/17
		Nº Rev 0	FECHA: Enero 2010
INSTRUCTIVO			

## ANEXOS

### Anexo 1: Formato general de los documentos

	<b>UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	Código IN-GED-01	PÁG: 15/163
		Nº Rev 0	FECHA: Enero 2010
INSTRUCTIVO			

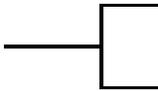
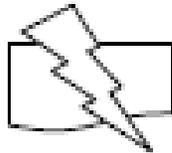


## Anexo 2: Elementos gráficos de un flujograma.

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
<p><b>Símbolo de inicio y final:</b> Indica el comienzo o la terminación del diagrama de flujo de un procedimiento.</p>	
<p><b>Símbolo de actividad:</b> Es la acción efectuada en cada uno de las etapas del procedimiento de características propias o específicas del proceso relacionado.</p> <p>Las actividades deberán redactarse con un enunciado corto dentro del símbolo, empezando con un verbo en infinitivo y evitando abreviaturas, siglas o iniciales. Se numerarán conforme a la secuencia del proceso, en la esquina inferior izquierda dentro del símbolo.</p>	
<p><b>Símbolo de decisión:</b> Los enunciados de decisión se redactarán brevemente, en forma de pregunta, utilizando verbos en infinitivo, sin abreviaturas y numerándolos en la esquina inferior.</p>	
<p><b>Símbolo de documento:</b> El símbolo será utilizado ubicando la clave dentro del mismo y se colocará junto con la actividad que lo utiliza o genera.</p> <p>En caso de que se requieran copias del documento, se señalará dentro del símbolo, en la esquina superior derecha con una "O", que significa original, seguida de un guión y el número de copias.</p>	
<p><b>Flechas de flujo de la actividad:</b> Deberán iniciar en el borde de la parte inferior del símbolo o del lado derecho pero nunca en la parte superior o izquierda del mismo.</p>	
<p><b>Conectores entre actividades dentro de una misma página:</b> Vincula actividades que fueron separadas anteriormente por una decisión o por la extensión del procedimiento, siempre y cuando sea dentro de una misma página.</p> <p>La letra del conector debe coincidir con el de la siguiente actividad. Preferentemente utilizar cualquier letra del alfabeto en mayúscula.</p>	
<p><b>Conector de página:</b> Deberán ser usados cuando la extensión del procedimiento no permita la culminación del mismo en una sola página y vinculará el procedimiento en dos o más partes según sea necesario. El número del conector debe coincidir con el de la siguiente actividad.</p>	



**INSTRUCTIVO**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
<p><b>Símbolo de archivo de documentos:</b> Dentro de este símbolo se colocará en la parte central una letra "T" o "D", dependiendo si es archivo temporal o definitivo respectivamente.</p>	
<p><b>Símbolo de nota:</b> Deberán indicarse los comentarios o aclaraciones significativas dentro de una actividad.</p>	
<p><b>Símbolo de destrucción de documento:</b> Debe indicarse cuando un documento debe ser destruido por motivos inherentes al procedimiento y a la característica de la actividad.</p>	
<p><b>Símbolo de documento opcional:</b> Es un documento que no es obligatoria su utilización, pero que bien puede convenir su uso en dicha actividad.</p>	
<p><b>Actividad opcional:</b> Debe definirse cuando una actividad es necesaria o no, para la realización del procedimiento de manera que se considere que no afecte a la calidad del producto.</p>	