

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMALIZADO SEGÚN LA NORMA COVENIN 338:2002, CON VARIANTE SEGÚN LA NORMA ASTM C1231**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Piñero P., Andreina.,  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETONORMALIZADO SEGÚN LA NORMA COVENIN 338:2002, CON VARIANTE SEGÚN LA NORMA ASTM C1231**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Trino Romero.  
Prof. Cesar Peñuela.

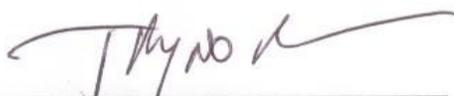
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Piñero P., Andreina.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachillera Andreina Piñero Perestelo, titulado:

**“VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL  
ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO  
SEGÚN LA NORMA COVENIN 338:2002 CON VARIANTE EN  
LA NORMA ASTM C 1231”**

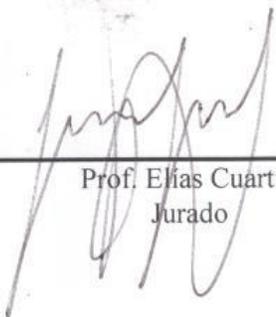
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al título de Ingeniero Químico, y sin que esto signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**



Prof. Trino Romero  
Tutor Académico



Prof. Cesar Peñuela  
Tutor Académico



Prof. Elías Cuartín  
Jurado



Prof. Ronald Torres  
Jurado

## **DEDICATORIA**

*A Dios por siempre guiarme y por la pruebas que me puso en el camino.*

*A mis padres, Papi eres mi ángel y mi guía esto es para ti y por ti, Mami este logro es tu logro sin tu apoyo y amor incondicional esto no sería posible. LOS AMO*

*A mis hermanos por creer en mí siempre, por la paciencia y por su amor incondicional*

*A mi abuela por su amor incondicional a pesar de la distancia.*

*A Oscar, por ser más que mi novio por ser mi apoyo, mi equipo y mi amigo, por su amor y por su entrega TE AMO*

**Piñero P. Andreína**

**VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO NORMALIZADO SEGÚN LA NORMA COVENIN 338:2002, CON VARIANTE SEGÚN LA NORMA ASTM C1231**

**Tutor académico:** Prof. Cesar Peñuela, Prof. Trino Romero

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.  
Año 2011, 98 pp.**

**Palabras claves:** Validación, Incertidumbre, Acreditación, Sistema de Gestión de Calidad, Norma COVENIN 338:2002, Norma ASTM C.1231, IMME

**Resumen.** En los laboratorios de servicio e investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central se ha venido implementando un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) basado en los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025:2008 con el fin de solventar la necesidad en cuantos a las exigencias de la calidad y validez de los resultados. Uno de estos laboratorios es la Nave de Ensayos Físicos del IMME, en donde se realizan diferentes ensayos para evaluar la calidad de los materiales empleados en la construcción, uno de estos ensayos es el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto, empleado para evaluar la resistencia del concreto. La validez y confiabilidad de los resultados se obtiene por la acreditación del ensayo, esta acreditación es otorgada por el ente gubernamental SENCAMER. En este trabajo se diseñó y desarrollo una metodología para la validación y estimación de la incertidumbre el ensayo a compresión de cilindros de concreto. Mediante la evaluación de los parámetros de desempeño del método, el diseño y ejecución de una matriz experimental y la consideración de todos los factores que afectan el resultado del ensayo, se determinó a través de un estudio estadístico el error del ensayo o incertidumbre y así obtener un resultado confiable. Se obtuvo un valor de incertidumbre  $\pm 24$  para el intervalo de trabajo establecido.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
I.2 ANTECEDENTES.....	5
I.3 OBJETIVOS .....	12
I.3.1 Objetivo general.....	12
I.3.2 Objetivos específicos .....	12
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
II CALIDAD .....	13
II.1 Sistema de Gestión de Calidad (SGC).....	13
II.2 Norma ISO /IEC 17025:2005 .....	15
II.2.1 Acreditación y Certificación.....	17
II.3 VALIDACIÓN DE MÉTODOS.....	18
II.3.1 Principios Básicos.....	18
II.3.2 Objetivos de la Validación.....	18
II.3.3 Necesidad Analítica. ....	20
II.3.4 Parámetros de Desempeño.....	20
II.3.5 Reproducibilidad y Repetibilidad .....	22
II.3.6 Procedimiento Estadístico. ....	23
II.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO .....	25
II.4.1 Norma COVENIN 338:2002. ....	26
II.4.5 Uso de Refrentado No Adherido .....	28
II.5 ELEMENTOS ESTADISTICOS .....	30

## ÍNDICE DE CONTENIDO (continuación)

II.5.1 ASEGURAMIENTO DE LOS RESULTADOS.....	30
II.5.1.1 Metrología. ....	30
II.5.1.2 Mensurando. ....	31
II.5.1.3 Valor Verdadero y Valor Convencionalmente Verdadero.....	31
II.5.1.4 Teoría de los Errores.....	31
II.6 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN.....	32
II.6.1 Identificación de la Fuentes de Incertidumbre.....	33
II.6.2 .Procedimiento para la Estimación de la Incertidumbre.....	35
II.6.3 Reglas Básicas para Estimar Incertidumbre.....	38
II.6.4 Reporte de la Incertidumbre.....	41
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>42</b>
III.1 DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	42
III.2 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS O CILINDROS DE CONCRETO... 42	
III.3 . ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO. ....	45
III.4 VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	47
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
IV.1 METODOLOGÍA PARA LA VALIDACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.....	51
IV.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO.....	54
IV.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	55
IV.5 RESULTADOS INTERLABORATORIOS.....	66
IV.6 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	69

<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	81
V.I CONCLUSIONES .....	81
V.II RECOMENDACIONES .....	82
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	84
APÉNDICES .....	86
APÉNDICE A .....	86
APÉNDICE B .....	89
APÉNDICE C .....	90
APÉNDICE D .....	91
APÉNDICE E .....	93
APÉNDICE F .....	95
APENDICE G .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ciclo de un Sistema de Gestión de Calidad. ....	14
Figura N°2: Esquema de validación de un método. ....	20
Figura N °3: Requisitos para la evaluación de parámetros en la validación de métodos. ....	21
Figura N°4: Reproducibilidad y Repetibilidad en un diseño experimental .....	22
Figura N° 5: Maquina Universal de Compresión.....	26
Figura N °6: Chequeo de gomas de neopreno. (Fuente: Vidal, 2004) .....	29
Figura N°7: Gomas de neopreno, plato retenedor y cilindro. (Fuente: Vidal, 2004)..	29
Figura N°8: Errores asociados al sesgo.....	32
Figura N °9: (Diagrama causa-efecto). ....	34
Figura N°10: Enrase de las probetas. ....	44
Figura N °11: Cilindros después de su elaboración. ....	44
FiguraN°12: Cilindros en la cámara de curado. ....	45
Figura N °13: Maquina Universal de Compresión.....	46
Figura N°14: Cilindro fracturado, fractura tipo 1.....	47
Figura N°15: Diagrama causa y efecto en la estimación de las fuentes de incertidumbre en la determinación del esfuerzo en ensayos a compresión de cilindros de concreto. ....	49
Figura N°16: Esquema para la validación del ensayo a compresión de cilindros de concreto.....	52
Figura N ° 17: Falla por agregado.....	57
Figura N °18: Procedimiento para la estimación de la incertidumbre .....	70
Figura N °19: Fuentes de incertidumbre asociadas al Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto. ....	71
Figura N°20: Método de compactación por barra.(FNC) .....	96
Figura N°21: Mezcla realizada en el IMME. ....	96

Figura N °22 Desencofrado de cilindros. (FNC).....	97
Figura N °23 Proceso de curado (IMME) .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°1:</b> Objetivos de la validación según el tipo de procedimiento de ensayo. ....	19
<b>Tabla N° 2:</b> Esquemática para el desarrollo estadístico de la varianza. ....	24
<b>Tabla N°3:</b> Fuentes de Incertidumbre asociadas a la medición.....	33
<b>Tabla N°4:</b> Compactación según Norma COVENIN 338:2002.....	43
<b>Tabla N°5:</b> Parámetros de desempeño para la Validación del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto.....	54
<b>Tabla N °6:</b> Matriz Experimental Modelo.....	55
<b>Tabla N °7:</b> Matriz Experimental .....	55
<b>Tabla N°8:</b> .....	56
<b>Tabla N°9:</b> Desviación estándar a esperar de la resistencia del concreto según el tipo de control.....	59
<b>Tabla N °10.</b> Valores de esfuerzo obtenidos para el Nivel dos .....	61
<b>Tabla N°11:</b> Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico .....	62
<b>Tabla N°12:</b> Media diaria y global para el nivel 2.....	63
<b>Tabla N °13.</b> Método ANOVA .....	63
<b>Tabla N °14:</b> Método ANOVA (Nivel: 250Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	64
<b>Tabla N°15:</b> Valores de reproducibilidad y repetibilidad para cada nivel. ....	65
<b>Tabla N °16:</b> Resultados Interlaboratorios 2.Cilindros elaborados en FNC.....	67
<b>Tabla N °17:</b> Resultados Interlaboratorio. Cilindros elaborados en el IMME. ....	68
<b>Tabla N °18</b> Datos de la incertidumbre de la prensa .....	73
<b>Tabla N° 19</b> Datos de la Validación para el nivel 250. ....	73
<b>Tabla N °21</b> Datos del Vernier .....	75
<b>Tabla N°22</b> Incertidumbre para cada nivel de resistencia evaluado.....	78
<b>Tabla N°23:</b> Incertidumbres y medidas de dispersión para cada nivel evaluado .....	79
<b>Tabla N°24:</b> Esfuerzos obtenidos para el primer nivel (120 kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	86
<b>Tabla N°25:</b> Esfuerzos obtenidos para el tercer nivel (310 kgf/cm <sup>2</sup> ).....	87
<b>Tabla N°26:</b> Esfuerzos obtenidos para el cuarto nivel (410 kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	88
<b>Tabla N°27:</b> Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico, luego del descarte de datos, primer nivel (120 Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	89

<b>Tabla N°28:</b> Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico, luego del descarte de datos, tercer nivel (310 Kgf/cm <sup>2</sup> ).....	89
<b>Tabla N°29:</b> Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico, luego del descarte de datos, cuarto nivel (410 Kgf/cm <sup>2</sup> ).....	89
<b>Tabla N°30:</b> Media diaria y global para el nivel 1 (120Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	90
<b>Tabla N°31:</b> Media diaria y global para el nivel 3 (310Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	90
<b>Tabla N°32:</b> Media diaria y global para el nivel 4 (410Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	90
<b>Tabla N °33:</b> Método ANOVA (Nivel: 120Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	91
<b>Tabla N °34:</b> Método ANOVA (Nivel: 3: 310 Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	91
<b>Tabla N °35:</b> Método ANOVA (Nivel:4: 410 Kgf/cm <sup>2</sup> ) .....	92
<b>Tabla N°39:</b> Valores de $G_{tab}$ .....	95

## LISTA DE SÍMBOLOS

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.

**Li** = Medición del instrumento (UI).

**L** = Promedio de mediciones de un instrumento.

**C** = Corrección asociada al mensurando

**U<sub>rep</sub>** = Incertidumbre asociada a la repetibilidad.

**U<sub>res</sub>** = Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento.

**U<sub>cal</sub>** = Incertidumbre asociada a la calibración del instrumento.

**U<sub>DER</sub>** = Incertidumbre asociada a la deriva.

**U<sub>c</sub>** = Incertidumbre combinada.

**U** = Incertidumbre expandida.

**K** = Factor de cobertura.

**v** = Grados de libertad.

**Re** = Numero de mediciones en un nivel.

**T** = Numero de tiempos de estudio.

$\bar{C}$  = Promedio general

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

**SDC** = Sumas de diferencias cuadráticas

**SDC<sub>B</sub>** = Sumas de diferencias cuadráticas

**SDC<sub>w</sub>** = Sumas de diferencias cuadráticas

**DMC** = Diferencia cuadráticas medias.

DMC = Diferencia cuadráticas medias.

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

DMC<sub>W</sub> = Diferencia cuadráticas medias dentro de grupos.

S<sub>r</sub> = Desviación estándar de la repetibilidad.

S<sub>R</sub> = Desviación estándar de la reproducibilidad.

S<sub>L</sub> = Desviación estándar combinada.

EMP = Error máximo permitido por el instrumento de medición.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad ofrecer calidad constituye un permanente desafío tanto para las empresas privadas como para las instituciones públicas. La implementación y desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad requiere de una organización, documentación y procedimientos que formen una base que soporte y respalde el correcto funcionamiento del mismo. Es por ello y considerando esta necesidad existente, que en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela se está implementando un Sistema de Gestión de Calidad. Uno de estos laboratorios es la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), en donde se realiza el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto. Este ensayo es uno de los métodos que se aplica en el control de calidad del concreto endurecido, los resultados permiten evaluar las propiedades del concreto suministrado a través de su resistencia específica. La Norma ISO/IEC 17025:2005, abarca varios requisitos técnicos con los que debe cumplir un laboratorio para funcionar soportado como un sistema de gestión de calidad. Entre esos requisitos se encuentra la validación y el error o incertidumbre del método de ensayo que se realiza.

La norma ISO/IEC 17025:2005 establece que todo sistema de gestión de calidad debe suministrar confiabilidad en los resultados que proporciona, la cual se logra mediante la validación del método de ensayo que se aplica en el laboratorio basado en la repetibilidad y reproducibilidad del mismo y en las diferentes fuentes de error que afectan el resultado.

Para la validación se deben realizar una serie de experiencias que permitan evaluar la repetibilidad y reproducibilidad del mismo por lo que se requiere desarrollar una metodología que permita garantizar que el resultado es técnicamente confiable. Para validar un ensayo se debe determinar los diferentes parámetros que afectan el resultado, sustentando el cálculo de la incertidumbre del mismo

La validación y estimación de la incertidumbre del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto permitirá reconocer que la Nave de Ensayos Físicos del IMME como un laboratorio competente para realizar el ensayo

En este trabajo especial de grado se desarrolló una metodología para la validación y un procedimiento de cálculo para la estimación de la incertidumbre del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto..

## **CAPÍTULO I**

### **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El concreto es uno de los materiales de mayor uso del siglo XX, en lo que va de siglo XXI, es mezclado con agua para transformarse en un material de uso para la construcción, no combustible, durable, resistente al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco mantenimiento. El concreto se presenta como un excelente material de construcción ya que puede moldearse en una gran variedad de formas lo que hace su uso muy amplio en el mundo de la construcción. Una de las propiedades más importantes del concreto es la resistencia a la compresión, la cual es una medida utilizada por los ingenieros para manufacturar edificios y otras estructuras. El Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto es el método o procedimiento experimental que se emplea para determinar la resistencia del concreto, los resultados de las pruebas de compresión se utilizan fundamentalmente para garantizar que la mezcla de concreto utilizada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada. Este ensayo también se emplea para determinar la resistencia del concreto en las estructuras, programar las operaciones de construcción de estructuras, tales como: la colocación o remoción de estructuras importantes (pilotes, columnas, formaletas) o para la conveniencia de curado para la protección que se le debe suministrar a la estructura o, para fines de control de calidad.

Actualmente, en el sector industrial, ha surgido un repunte en las exigencias en cuanto a lo que se refiere los servicios de calidad, y el sector de la construcción no escapa de esto, por esta razón se requieren instituciones que posean un Sistema de Gestión de Calidad que garantice la confiabilidad, la rapidez de entrega y la veracidad del servicio. La confiabilidad y validación de los resultados se soporta en la acreditación de los ensayos ante entes como el Servicio Autónomo Nacional de Normalización, Calidad, Metrología y Reglamentos Técnicos (SENCAMER).

La Validación de un método de ensayo es un requisito primordial cuando deseamos obtener resultados técnicamente válidos, exactos y confiables. Este proceso es necesario ya que permite conocer los parámetros de desempeño del ensayo proporcionando un alto grado de confianza y validez de los resultados que se obtienen al aplicarlo. La validación de un método de ensayo constituye un requerimiento fundamental para obtener la acreditación del mismo, mediante la cual se reconoce al laboratorio que posee la competencia técnica para realizar el ensayo y que los resultados que reporta tienen validez y son confiables.

La norma ISO 17025:2005, comprende los requerimientos que los laboratorios de calibración y ensayo tienen que cumplir, si desean demostrar que funcionan con un sistema de calidad. En diferentes laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, se está implementando un Sistema de Gestión de Calidad basado en la Norma ISO/IEC 17.025:2005 mediante el soporte del Proyecto LOCTI: Implementación de un Sistema de Gestión de Calidad de los Laboratorios de Servicios de la Facultad de Ingeniería de la UCV. Uno de estos laboratorios es la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, donde se realiza el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto. Uno de los pasos fundamentales para obtener la acreditación de este ensayo es la validación de dicho método empleando la estimación de la incertidumbre. Ya se han realizado avances en este aspecto con el diseño de los procedimientos de validación y estimación de incertidumbre de las mediciones respectivas. Sin embargo, es necesario desarrollar los procedimientos de manera experimental para obtener la validación del ensayo y ofrecer una garantía de la calidad de los resultados que se ofrecen a los clientes, demostrando así la competencia técnica del laboratorio. De esta manera surge el Trabajo Especial de Grado: Validación del Método del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto normalizado según la Norma COVENIN 338:2002, con variante según la Norma ASTM C1231; cuyo desarrollo pretende garantizar que los resultados obtenidos por dicho ensayo serán confiables y podrán ser validados.

## **I.2 ANTECEDENTES**

En la presente sección se discuten los trabajos que se han realizado previos a este estudio, que sirvieron de punto de partida para comprender a fondo la problemática planteada y así aportar los conocimientos requeridos para aplicar de manera adecuada los resultados que se obtendrán con la culminación de este trabajo.

- **Implementación de Gestión de la Calidad en Laboratorios Universitarios (Gor et al 2006).**

La Universidad Nacional de Tucumán (UNT) en Argentina en el 2006 en el marco del Programa de Implementación de Sistemas de Gestión de la Calidad (PRICALAB), inicio las actividades donde se proponen acciones de mejora en el contexto institucional universitario en general en lo que concierne aspectos de la calidad del servicio.

La Universidad Nacional de Tucuman cuenta con sólidos antecedentes en materia de prestación de servicios tecnológicos por parte de sus laboratorios y algunos de ellos han realizado esfuerzos individuales y aislados en la adopción de estándares de calidad y de la implementación de sistemas de gestión apropiados, conscientes de que la expansión de las actividades económicas a mercados globales impulsa cada vez con más fuerza a la obtención de habilitaciones formales de sus capacidades y competencias técnicas, a nivel nacional e internacional, para así seguir prestando servicios de calidad.

La adhesión de los laboratorios al Programa fue voluntaria y en esta oportunidad se consideró conveniente que hubiese un proceso de selección que permitiera conformar un grupo con las mejores condiciones para alcanzar los objetivos propuestos en el plazo previsto, entre 18 y 24 meses. Se inscribieron 21 laboratorios pertenecientes a distintas facultades, el comité realizó visitas a los diferentes laboratorios y se evaluaron diversos aspectos. Un total de 10 laboratorios fueron los seleccionados, conformado este grupo se inició la implementación de un sistema de gestión de calidad comprendida en los siguientes niveles:

Nivel 1: Organización, Gestión de RRHH y Documentación (3 meses).

Nivel 2: Locales, Instalaciones y Equipos, Gestión de Compras (4 meses).

Nivel 3: Medición y Control (3 meses).

Nivel 4: Mejora Continua (3 meses).

Nivel 5: Preparación para la solicitud de acreditación al OAA (5 meses).

Con el desarrollo de este programa se espera lograron varios aspectos:

- Crecimiento en la confiabilidad de las operaciones y en los resultados de las actividades de los laboratorios.
- Desarrollo integral y especializado de RRHH de la UNT, en temas vinculados a la calidad, desarrollo e implementación de sistemas, mejora continua y auditorías internas.
- Impacto positivo en el sistema nacional de la calidad debido al incremento de la cantidad de laboratorios acreditados.
- **Gestión de Calidad en Laboratorios de la Universidad. Caso: Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela FIUCV (Romero et al 2007).**

En este artículo los autores describen la metodología que se está desarrollando en los laboratorios de servicio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela para la implementación de un sistema de gestión de calidad (SGC).

Es importante señalar que en una primera etapa se jerarquizaron y se seleccionaron los ensayos, basándose en indicadores de calidad la FIUCV cuenta con 52 laboratorios en donde se realizan 277 ensayos. Mediante el diseño y la aplicación de una metodología de selección se lograron concretar 8 ensayos en el cual se consideran aspectos claves como: la disposición de personal especializado, ensayos

normalizados, la disposición de infraestructura y equipos en buen estado, y por último se le dio prioridad a los ensayos con mayor interés en el sector industrial.

El objetivo es garantizar al cliente la veracidad y confiabilidad del servicio, 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 realizar el proceso de implementación del SGC en la FIUCV, se desarrollaron tres fases:

Fase I: Selección de los ensayos a acreditar.

Fase II: Preparación de los requisitos exigidos por la norma para optar por la acreditación del laboratorio.

Fase III: Solicitud de la Acreditación ante el ente gubernamental SENCAMER.

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

1. Nave de Ensayos Físicos: Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).
  2. Química Analítica Instrumental: Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.
  3. Físico-Química: Escuela de Ingeniería Civil (PETA: Planta de Tratamiento de Aguas).
- 
- **Introducción al desarrollo de un sistema de gestión de calidad para el análisis cualitativo y cuantitativo del Gas Natural por Cromatografía de Gases Basado en la Norma ISO/ IEC 17.025:2005 (Popa,2010).**

Popa realizó un Trabajo Especial de Grado (TEG) titulado “Introducción al desarrollo de un sistema de gestión de calidad para el análisis del Gas natural mediante

cromatografía de gases, basado en los lineamientos que se encuentran en la norma ISO/IEC 17025:2005, con la finalidad de generar documentos para implementar un SGC en el laboratorio que permita la validez y confiabilidad del método de análisis cualitativo y cuantitativo del gas natural, En este trabajo se proponen los procedimientos para la validación y cálculo de incertidumbre del análisis antes mencionado. De igual manera se estudió el procedimiento experimental basado en la normas ASTM ND 2597-94. Método de Prueba Estándar para el Análisis de Gas Natural mediante Cromatografía de Gases.

Para el desarrollo de este trabajo se estudiaron las bases teóricas referentes al Análisis del Gas Natural mediante Cromatografía de Gases, las cuales se encuentran detalladas en la Normas ASTM N° 1945-03 “Método de Prueba Estándar para el Análisis de Gas Natural mediante Cromatografía de Gases”. Por otra parte, se elaboró un procedimiento de validación de acuerdo a la norma ASTM antes mencionada explicando de manera detallada la forma de utilizar los resultados obtenidos. Además se establecieron ecuaciones para la estimación de la incertidumbre de ensayo con la cual se puede determinar la precisión y exactitud del mismo.

En términos generales en este TEG se desarrollaron los procedimientos que permitirán iniciar el proceso para que el ensayo de Análisis de Gas Natural mediante Cromatografía de Gases basado en la Norma ISO/IEC 17.025:2008.

- **Diseño del Procedimiento para la Validación y Estimación de la Incertidumbre del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto (Félix, 2010).**

En el Trabajo Especial de Grado realizado por Félix en la Universidad Central de Venezuela en el marco del proyecto LOCTI, se desarrolló un procedimiento para la Validación y Estimación de la Incertidumbre del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto, el cual se realiza en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de

Materiales y Modelos Estructurales (IMME), bajo los lineamientos de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005.

Para la elaboración de los procedimientos de validación y estimación de la incertidumbre, se consideraron las siguientes etapas:

Etapa 1: Iniciación y conocimiento de la Norma Internacional, ISO/IEC 17025:2005.

Etapa 2: Definición del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto.

Etapa 3: Elaboración de Documentos.

Etapa 4: Elaboración del Procedimiento de la Validación del Método.

Etapa 5: Elaboración del Procedimiento para la Estimación de la Incertidumbre.

En la definición del ensayo se empleó la Norma COVENIN 338:2002: Método para la elaboración, curado y ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto, en la cual se detalla los materiales y equipos que se emplean, así como los procedimientos detallados para las diferentes etapas de preparación y curado.

Para el desarrollo de la validación del ensayo se diseñó una matriz de trabajo empleando los conceptos de reproducibilidad y repetitibilidad. Se elaboró el procedimiento para la estimación de la incertidumbre y una hoja de cálculo en Excel que permite realizar dicha estimación. También se elaboraron los documentos correspondientes a estos procedimientos bajo los requerimientos de la norma ISO/IEC 17025:2005. Con este trabajo se logra un avance importante en la Implementación de un Sistema de Gestión de Calidad en la Nave de Ensayos Físicos del IMME.

- **Uso de refrentado no adherido en ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón: Comprobación de una Norma (Vidal, 2004).**

En este artículo se presenta el resultado de una breve investigación que pretendió comprobar la validez del método presentado en la norma ASTM 1231. Durante mucho tiempo y aun en la actualidad se ha empleado morteros de azufre (azufre mezclado con arena fina) para refrentar las caras de los cilindros para ensayos de

resistencia a la compresión, el uso de azufre requiere un manejo cuidadoso en la práctica ya que puede ocasionar problemas como: quemaduras, problemas de respiración, corrosión de partes mecánicas y electrónicas de los equipos. A partir del año 1993 se implementa una metodología que permite el uso de discos de neopreno o caucho natural, retenidos en platos de acero para reemplazar el refrentado tradicional con azufre la norma ASTM C 1231. Se realizó un estudio para demostrar la validez de dicha norma, para ello se desarrollaron los procedimientos siguientes:

1. Fabricación de los platos retenedores y los discos de caucho natural.
2. Evaluación de los discos de caucho natural, en donde se determinó la dureza y el espesor.
3. Realización del ensayo a compresión sobre 441 parejas de cilindros ensayando uno con refrentado de azufre y otro con refrentado no adherido.
4. Evaluación de cada 100 usos de la permanencia de la dureza en los discos de neopreno o caucho.
5. Se calculó la resistencia a la compresión promedio utilizando refrentado de azufre, y la resistencia a la compresión promedio utilizando gomas de neopreno y se realizó un análisis estadístico que permita la comparación de las mismas.

Estos procedimientos permitieron concluir que las gomas de neopreno toleran un rango de resistencia mayor al utilizado con mortero de azufre. Por otro lado el uso del refrentado no adherido disminuye el tiempo del ensayo y la cantidad de escombros que se generan. El tipo de falla al utilizar el refrentado no adherido no se comporta como falla típica.

El error calculado de este método es de  $\pm 0,076$  lo que indica que el uso de gomas de neopreno (refrentado no adherido) es un excelente método para el cálculo de resistencia en cilindros de concreto

- **Estimación de la Incertidumbre en el Ensayo a la Rotura de Probetas de Hormigón. (Silva et al 2006).**

Este artículo describe un trabajo realizado en el Centro de Investigación y Ensayo de Materiales en la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional de San Luis ubicada en Argentina, referente a la estimación de incertidumbre en el ensayo a la rotura de probetas de hormigón como herramienta para el análisis de confiabilidad de resultados y como requisito en la Norma ISO / IEC. El objetivo principal de este trabajo es incorporar aspectos vinculados con la calidad del resultado aplicando la metodología que establece el GUM (Guía para la Estimación de Incertidumbre en Mediciones Analíticas), la cual consiste en tres pasos fundamentales:

- Elaborar un modelo de medición
- Identificar las fuentes de incertidumbre.
- Determinar la incertidumbre estándar, combinada y expandida.

El modelo de medición que se establece es:  $\sigma = P / S$ , donde  $\sigma$  : tensión de rotura (mensurando), P: fuerza, S: área.

Para las variables S y P se identificaron las fuentes de incertidumbre, para P incertidumbre del tipo B debido a la calibración de la prensa, y debido a la resolución del instrumento y debido a la curva de ajuste de la lectura de prensa, incertidumbre del tipo A de repetibilidad, mano de obra medio ambiente e instrumento. Con respecto a S se identificó la incertidumbre de tipo B debido al patrón de calibración del instrumento e incertidumbre tipo A, por la repetibilidad, mano de obra, método y medio ambiente y aplicando las ecuaciones se calcularon las incertidumbres expandida, combinada y estándar para cada una de las fuentes la originan.

### **I.3 OBJETIVOS**

En función a los aspectos planteados anteriormente, surgen los siguientes objetivos que permitirán el desarrollo del presente trabajo de investigación

#### **I.3.1 Objetivo general**

Validar y Estimar la Incertidumbre del Ensayo a la Compresión de Cilindros de Concreto Normalizado según la Norma COVENIN 338:2002 con la Variante basado en la Norma ASTM C1231

#### **I.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la confiabilidad del mensurando del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto mediante la reproducibilidad del resultado.
- Establecer el diseño experimental para realizar la validación del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto.
- Elaborar las probetas cilíndricas de concreto según la Norma COVENIN 338:2002 con variante según Norma ASTM C1231 que se someterán a ensayo.
- Determinar los valores de reproducibilidad y repetibilidad del ensayo; utilizando la hoja de cálculo desarrollada en estudios previos.
- Estimación de la Incertidumbre en el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la serie de conceptos teóricos que son necesarios para el entendimiento de los aspectos involucrados en el desarrollo de este proyecto.

#### **II CALIDAD**

La calidad es un aspecto que determina el desarrollo de una industria o institución considera los niveles de excelencia con que debe contar la aplicación de un sistema de calidad. Se ha convertido en una estrategia que permite a las industrias permanecer en mercados cada vez más competitivos. Un producto o servicio debe tener una definición amplia y subjetiva en donde es el cliente quien decide en base a sus gustos o necesidades sin tener necesariamente algunos parámetros específicos.

Se puede definir la calidad como un propósito conveniente; que satisface los requerimientos del producto diseñado y elaborado para cumplir con sus funciones de manera apropiada (Fracassetti y Pérez, 2001). Según la norma ISO 17025:2005, la calidad se define como “como hacer las cosas bien y hacerlas bien a la primera para que un producto o servicio sea bueno”.

#### **II.1 Sistema de Gestión de Calidad (SGC).**

Un sistema de gestión de calidad es una manera de trabajar que emplea una organización para asegurar la satisfacción de las necesidades que presentan sus clientes, para cubrir estas planifica, mantiene y mejora continuamente el desempeño de sus procesos bajo un esquema de eficiencia y eficacia que le permite lograr ventajas competitivas.

La implementación de un Sistema de Gestión de Calidad proporciona ventajas como:

- Mejora continua de la calidad de los productos y servicios que ofrece.
- Transparencia en el desarrollo de procesos.

- Asegurar el cumplimiento de sus objetivos, con apego a leyes y normas vigentes.
- Reconocimiento de la importancia de sus procesos e interacciones.
- Integración del trabajo, en armonía y enfocado a procesos.
- Adquisición de insumos acorde con las necesidades.

El Sistema de Gestión de 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 calidad de una organización(Norma Internacional ISO 9001:2008), tal como se observa en la Figura N °1



Figura N° 1: Ciclo de un Sistema de Gestión de Calidad.

Según la Norma ISO 9001: 2008, se establece que un sistema de gestión de calidad debe cumplir con las siguientes premisas:

- La voluntad de la organización expresada en su política de 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.

Actualmente, se está implementando de un Sistema de Gestión de Calidad en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela en donde se toman en cuenta todos los requisitos y aspectos antes mencionados basados, en los lineamientos y requerimientos que establece la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 “Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.

## **II.2 Norma ISO /IEC 17025:2005**

La Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”, comprende los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración para demostrar que poseen un sistema de gestión de calidad y que son técnicamente competentes y capaces de generar resultados técnicamente válidos y confiables

En esta norma están incorporados todos los requisitos de gestión que establece los lineamientos generales para la competencia en la realización de ensayos y/o calibraciones, incluidos el muestreo, métodos normalizados y no normalizados, así como también los desarrollados por el laboratorio. Se aplica en laboratorios que desarrollan sistemas de gestión para sus actividades de la calidad, administrativas y técnicas igualmente puede ser utilizada por los clientes del laboratorio, autoridades reglamentarias y organismos de acreditación.

Al cumplir los laboratorios de ensayo con esta norma actuarán bajo un sistema de gestión de calidad para sus actividades de ensayo. La Norma está dividida en dos grandes bloques de requisitos los referentes a la gestión y los requisitos técnicos.

Los requisitos referentes a la gestión establecen las condiciones que se deben cumplir en cuanto al área administrativa de los laboratorios donde se consideran los siguientes aspectos.

- Organización.
- Sistemas de Gestión
- Control de documentos
- Revisión de los pedidos, ofertas y contratos.
- Subcontratación de ensayos y o calibraciones
- Quejas
- Acciones correctivas.
- Acciones preventivas
- Auditorías internas.

En cuanto a los requisitos técnicos se consideran todos los factores para determinar la exactitud y confiabilidad de los ensayos que se ejecutan en los laboratorios, estos factores 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.
- Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración.
- Informe de los resultados.

Los organismos de acreditación que reconocen la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración se basan en esta Norma Internacional para sus acreditaciones (Popa, 2010).

### **II.2.1 Acreditación y Certificación**

**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)

**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).

Es frecuente la confusión entre estos dos conceptos, para ello es necesario identificar el objetivo de cada actividad, cuando se habla de certificación se refiere a evaluar y declarar públicamente que el laboratorio cumple con los requisitos de una norma de gestión de calidad. La importancia para los laboratorios radica en demostrar que se tiene un sistema de gestión implementado. La acreditación es reconocer formalmente que se tiene la competencia técnica para desempeñar determinadas tareas, la importancia de la acreditación para los laboratorios radica en demostrar que tienen implementado un sistema de gestión, que son competentes técnicamente y que los resultados reportados tienen validez.

La acreditación es el reconocimiento formal y público por parte de un organismo imparcial, 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.(Cortés, S.F). La acreditación reconoce la competencia técnica de una organización para la realización de ciertas actividades bien definidas.

## **II.3 VALIDACIÓN DE MÉTODOS**

La validación de métodos es un requisito importante para la acreditación de un ensayo, por ello es importante introducir y desarrollar este concepto.

La Norma Internacional ISO 8402:1994 define este procedimiento como “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”

### **II.3.1 Principios Básicos**

Los principios básicos de una validación son: (Rosales, 2009).

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

### **II.3.2 Objetivos de la Validación**

Los objetivos de la validación de un método varían dependiendo del método que se esté trabajando, ya que estos están orientados a los ensayos de los cuales estos dependen. Se deben considerar algunos factores para poder plantear los objetivos de una validación.

- Desarrollo un método nuevo.
- Realización de un método ya establecido para mejorar o extender a un nuevo problema.
- Control de calidad cuando se observa que el método está cambiando con el tiempo.
- Realización de un método ya establecido en un laboratorio diferente o con diferente analista.

- Demostrar la equivalencia entre dos métodos, por ejemplo: Un método nuevo y una norma.
- Validar un método normalizado.

En base a estas situaciones se plantean los siguientes objetivos:

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

De manera general la validación se puede dar en tres casos, como se indica en la Tabla N °1 (OAA, 2003)

**Tabla N°1:** Objetivos de la validación según el tipo de procedimiento de ensayo.

Método de Ensayo	Objetivo de la Validación
<b>Caso 1:</b> Método normalizado	Comprobar que el laboratorio domina el ensayo y lo utiliza correctamente.
<b>Caso 2:</b> Modificación de un método normalizado	Comprobar de que la repetibilidad, reproducibilidad, precisión intermedia y exactitud del método original no dependen de una modificación introducida
<b>Caso 3:</b> Método interno	Comprobar que el método tiene repetibilidad, reproducibilidad, precisión intermedia y exactitud suficiente para el objetivo de aplicación y que el laboratorio domina el ensayo y lo hace correctamente.

De manera general la validación de un método demuestra que el método es apto, que los resultados tienen una incertidumbre aceptable y principalmente que el laboratorio posee la capacidad para realizar ensayos.

### II.3.3 Necesidad Analítica.

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

Se debe establecer la forma de respuesta del método, si se refiere a un método analítico o físico y si la evaluación es cualitativa o cuantitativa, de manera de orientar y definir la base sobre la que se sustenta la validación de dicho método (Rosales, 2009).

Partiendo de la necesidad analítica, podemos llegar a la validación de métodos con éxito, y para ello debemos identificar el mismo para evaluar y determinar de esta manera su factibilidad. En la Figura N °2 se indica un diagrama basado en los requisitos para la confirmación o evaluación de parámetros en la validación de métodos.(Rosales, 2009)

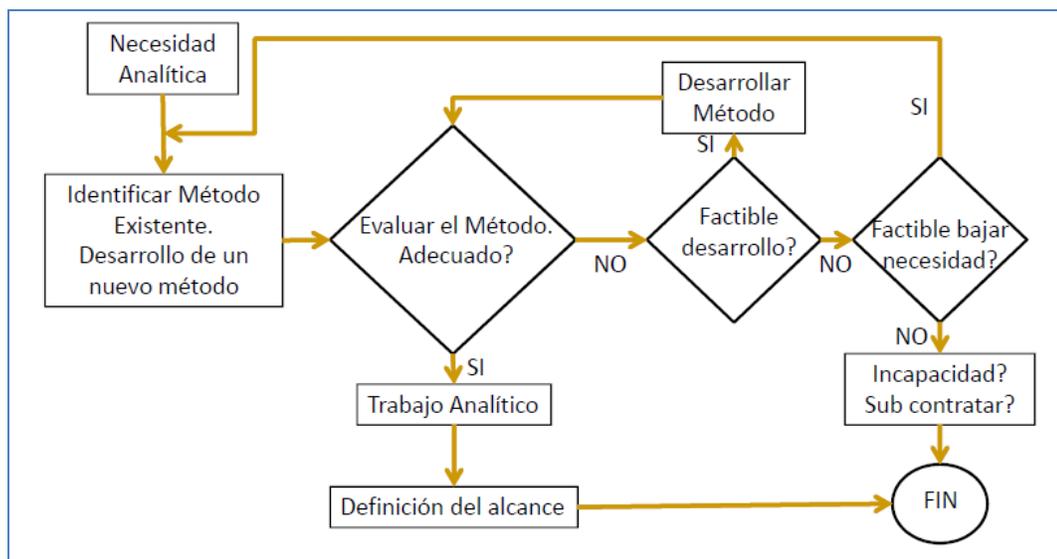
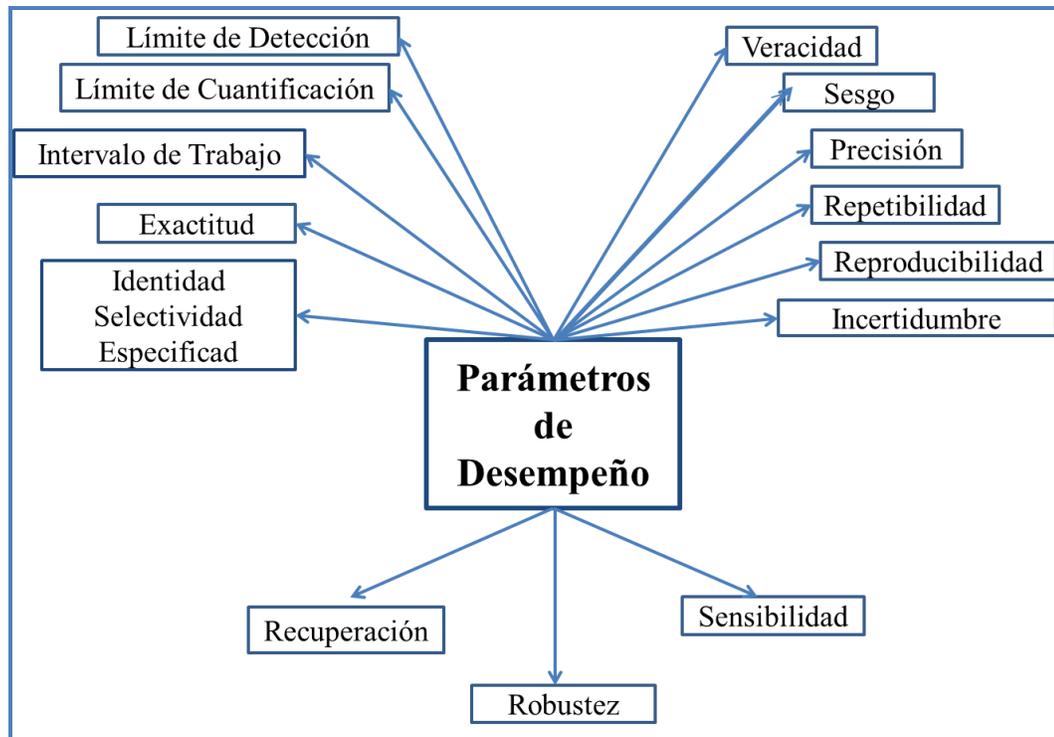


Figura N°2: Esquema de validación de un método.

### II.3.4 Parámetros de Desempeño

La validación de un método proporciona una idea de las limitaciones y capacidades del mismo, que se originan durante la aplicación del método. Basado en esto se puede definir los parámetros de desempeño en una validación.

Estos parámetros definen el desempeño de la actividad es una evaluación periódica del desempeño de laboratorios individuales y de grupos de laboratorios. estos parámetros de desempeño se evalúan según la naturaleza del ensayo que se desea validar y sus propias dificultades . En la Figura N°3, se indica los requerimientos para la evaluación de estos parámetros.



**Figura N °3: Requisitos para la evaluación de parámetros en la validación de métodos.**

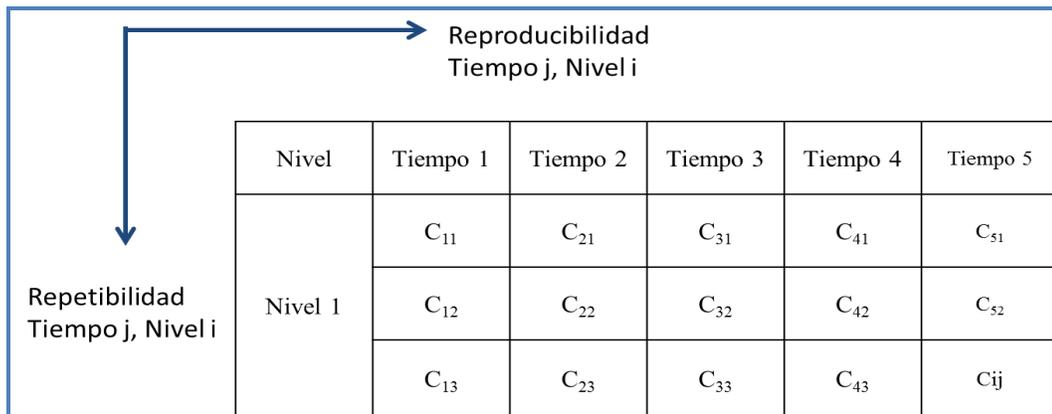
La evaluación de algunos o todos los parámetros de desempeño dependerá del caso de validación y del método de ensayo que se desee validar. El ensayo a compresión de cilindros de concreto es una prueba ya normalizado, es un ensayo fisico destructivo por lo que se evalua la reproducibilidad y repetibilidad durante el proceso de validación.

### II.3.5 Reproducibilidad y Repetibilidad

Los factores más importantes que se debe determinar al momento de realizar una validación es la exactitud y la veracidad del método sustentandose en los parámetros de desempeño la reproducibilidad y la repetibilidad

La evaluación de estos parámetros se realiza por niveles, repeticiones y periodo de tiempo. La repetibilidad se refiere a la concordancia entre los resultados de medición de sucesivas observaciones de la misma magnitud efectuadas con la aplicaciones de la totalidad de las siguientes condiciones: método de medida, analista, instrumento de medida, lugar, condiciones de uso de instrumento. Se deben mantener las condiciones iguales según las cuales los resultados independientes de una prueba se obtienen con el mismo método, sobre objetos de pruebas idénticos.

La reproducibilidad, es la concordancia de los resultados de las mediciones del mismo mensurando, en este caso las mediciones individuales son ejecutadas variando las condiciones de medición. Para determinar los valores de reproducibilidad y repetibilidad se debe realizar un análisis estadístico, partiendo del registro de los valores producto del resultado de la ejecución de un método de ensayo en particular y distribuyéndolos como se observa en la Figura N°4. La evaluación de estos parámetros permite establecer el diseño experimental que se debe seguir para realizar la validación del mismo.



**Figura N°4: Reproducibilidad y Repetibilidad en un diseño experimental**

Los valores de la medición que se realiza durante el método de ensayo son los identificados en la tabla con la letra “Cij”, se distribuyen por filas columnas y niveles, es decir que a medida que nos desplazamos en sentido vertical las condiciones de ensayo se mantienen constante se evaluando así la repetibilidad. En el sentido horizontal se varia una de las condiciones antes descritas y se evalua la reproducibilidad del método.

### II.3.6 Procedimiento Estadístico.

En la guía para validación de Métodos y Estimación de la Incertidumbr se desarrolló un procedimiento estadístico para determinar los valores de reproducibilidad y repetibilidad del ensayo que se está validando, las ecuaciones estadísticas que se deben aplicar son las siguientes: (Rosales, 2009),

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

$$\bar{C}_i = \frac{\sum_{j=1}^{Re} C_{ij}}{Re} \quad \text{Ecuación N}^\circ 1$$

Donde:

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

$C_{ij}$ : Valor de la medición para un tiempo i repetición j.

Re: Numero de repeticiones en un mismo nivel

- ✚ Promedio general: Este representa el promedio de los todos valores en un mismo nivel y la ecuación para determinarlo es la siguiente:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^T \bar{C}_i}{T} \quad \text{Ecuación N}^\circ 2$$

Donde:

$\bar{C}$  : Promedio General.

T : Número de tiempos.

- ✚ Varianza: la varianza es una medida de dispersión igual a la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones con respecto a su promedio. El análisis que se debe realizar al diseño o matriz experimenta es el que se representa en la (Tabla N°2), el cual se conoce este método estadístico ANOVA:

**Tabla N° 2:** Esquemática para el desarrollo estadístico de la varianza.

Método Estadístico ANOVA			
Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas Medias (DCM=SDC/v)
Entre grupos	$v_1=Re-T$	$SDC_B = \sum_{i=1}^{Re} N(\bar{C}_i - \bar{C})^2$	$DCM_B = \frac{SDC_B}{v_1}$
Dentro del grupo	$v_2=Re-T$	$SDC_W = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{Re} (\bar{C}_{ij} - \bar{C}_i)^2$	$DCM_W = \frac{SDC_W}{v_2}$

- ✚ Desviación Estándar: Por último se calcula la desviación estándar para la reproducibilidad y repetibilidad empleando las siguientes ecuaciones:

$$S_r = \sqrt{DCM_W} \quad \text{Ecuación N°3}$$

$$S_L^2 = \frac{DCM_B - DCM_W}{N^\circ \text{repeticiones}} \quad \text{Ecuación N°4}$$

$$S_R = \sqrt{S_r^2 + S_L^2} \quad \text{Ecuación N°5}$$

#### **II.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

La resistencia a la compresión de cilindros de concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros civiles para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión de cilindros de concreto se determina sometiendo probetas o cilindros de concreto a una carga axial en una máquina de compresión. Este ensayo es denominado “Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto”, es utilizado como un método de control de calidad que nos permite evaluar la calidad del concreto al momento de elaborar cualquier tipo de estructura. La Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Este laboratorio cuenta con diferentes equipos destinados a diversos tipos de evaluación, pruebas y ensayos con la finalidad de ofrecer el mejor servicio a estudiantes de ingeniería civil y otras carreras afines en proceso de aprendizaje y ofrecer calidad en los servicios prestados a clientes internos y externos.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de cilindros de concreto se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumple con los requerimientos de la resistencia especificada. Estos resultados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia en estructuras y programar operaciones de construcción. El equipo empleado en este ensayo es la máquina universal de compresión mecánica que es representada en la Figura N°5 la misma puede suministrar una carga de hasta 2000KN.

La máquina posee un tablero digital que permite hacer cambios en su programación como el sistema de unidades en el que trabaja reportes que se desea que suministre y proporciona la carga soporta el cilindro y el esfuerzo que realiza el mismo



**Figura N° 5: Máquina Universal de Compresión.**

Esta máquina posee un tablero digital que registrar en rango de carga que se suministra y la resistencia o esfuerzo que soporto el cilindro puede suministrar una carga de hasta 2000KN.

#### **II.4.1 Norma COVENIN 338:2002.**

Esta Norma Venezolana contempla el método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto, en ella se describe detalladamente los equipos que se emplean en la elaboración y realización del ensayo de los cilindros de concreto, el procedimiento a seguir para la elaboración de los cilindros en campo o en laboratorio, el procedimiento del ensayo y que se debe incluir y la elaboración del informe con los respectivos datos y resultados.

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

**II.4.2 Preparación de la Muestra:** Las caras 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, al resistencia y la adherencia necesaria. Uno de los materiales

más usados para el remate de las caras es el mortero de azufre. En la actualidad la gran mayoría de laboratorios en donde se realiza el ensayo a compresión de cilindros de concreto, se ha sustituido el uso de mortero de azufre por el uso de gomas de neopreno, también conocido como refrentado no adherido. 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, al igual que en la medición del diámetro la altura se aproxima al milímetro más cercano.

### II.4.3 Procedimiento

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

En las máquinas de tipo mecánico el desplazamiento del cabezal debe ser aproximadamente de 1,3 mm/min. En las maquinas 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, la máquina que se encuentra disponible en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), es de desplazamiento hidráulico.

### II.4.4 Expresión de los resultados:

La resistencia a compresión de cilindros de concreto se calcula con la ecuación o modelo matemático representado por la Ecuación N°6

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación N°6}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo o resistencia generado por el cilindro producto de la compresión Kg/cm<sup>2</sup>.

P: Presión o carga ejercida sobre el cilindro Kg

A: Área transversal de la probeta cilíndrica en unidades de cm<sup>2</sup>

El informe debe contener los siguientes datos:

- Identificación de los cilindros.
- Condiciones de muestreo y curado.
- Fecha y hora del ensayo.
- Edad del cilindro.
- Dimensiones del cilindro.
- Desviación estándar del ensayo.

#### **II.4.5 Uso de Refrentado No Adherido**

Durante mucho tiempo se ha utilizado azufre o morteros de azufre para refrentar o rematar las caras de los cilindros de concreto para el ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto. Este procedimiento garantiza que las caras tengan una superficie regular y ofrezcan un paralelismo adecuado para que la carga que sea suministrada sea lo más uniforme y axial posible.

El uso de azufre presenta problemas desde el manejo de los equipos hasta problemas de salud del operador o analista.

A principios de los años 90, se comenzó a implementar una metodología que permite el uso de discos de neopreno retenidos en platos de acero para reemplazar el refrentado tradicional de azufre (Vidal, 2004).

La norma ASTM C 1231-95 hace referencia a dicha práctica esta norma establece el procedimiento que se debe seguir cuando se emplea este tipo de refrentado o remate, el procedimiento se describe a continuación:

- Se examinan las gomas o discos de neopreno por daño o desgaste excesivo como se observa en la siguiente Figura N°6).



**Figura N °6: Chequeo de gomas de neopreno. (Fuente: Vidal, 2004)**

- Se reemplazan los discos que presenten fisuras que excedan los 10 mm de espesor.
- Se inserta el neopreno en los platos retenedores antes de colocar el cilindro y se centra el cilindro en el neopreno y plato retenedor se coloca en la base de máquina de ensayo centrado



**Figura N°7: Gomas de neopreno, plato retenedor y cilindro. (Fuente: Vidal, 2004)**

Por último se aplica la carga correspondiente hasta que el cilindro se fracture y se reporta el los resultado.

El ensayo a compresión de cilindros de que concreto que se realiza en el IMME, es de la Norma COVENIN 338:2002 con variante en la norma ASTM C 1231. Actualmente, en Venezuela no existe una norma que establezca este procedimiento por esta razón se emplea la norma ASTM para la fase de remate o preparación de la muestra.

## **II.5 ELEMENTOS ESTADISTICOS**

### **II.5.1 ASEGURAMIENTO DE LOS RESULTADOS.**

#### **II.5.1.1 Metrología.**

La Metrología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades, los métodos y técnicas de medición. Así como, facilitado el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida, no es más que la ciencia de las mediciones.

Como parte de esta ciencia se tiene que la medición, es una técnica mediante la cual se asigna 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 determinar el valor de la magnitud, no solo se debe tomar la lectura y registrarla sino que se debe responder las siguientes interrogantes: (Rosales, 2009).

- ✓ ¿Qué magnitud se desea medir?
- ✓ ¿Cuál es su aplicación?
- ✓ ¿Qué equipo se debe utilizar?
- ✓ ¿Qué método de medición?
- ✓ ¿Cómo se toman y registran los datos?
- ✓ ¿Cómo reportar los resultados?

#### II.5.1.2Mensurando.

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.

Toda medición lleva implícita una incertidumbre, que en términos generales es un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando (Schmid y Lazos, 2000).

#### II.5.1.3Valor Verdadero y Valor Convencionalmente Verdadero

El valor verdadero por naturaleza es indeterminado, lo cual es consistente con la definición de una magnitud en particular (Feliz, 2010).

El valor convencionalmente verdadero se le denomina valor asignado o valor de referencia. A menudo se utiliza un gran número de resultados de medida de una magnitud, para establecer un valor convencionalmente verdadero El valor convencionalmente verdadero es un valor atribuido a una magnitud particular y aceptada, que en la mayoría de los casos por convenio tiene una incertidumbre apropiada para un uso dado. (Schmid, 2000).

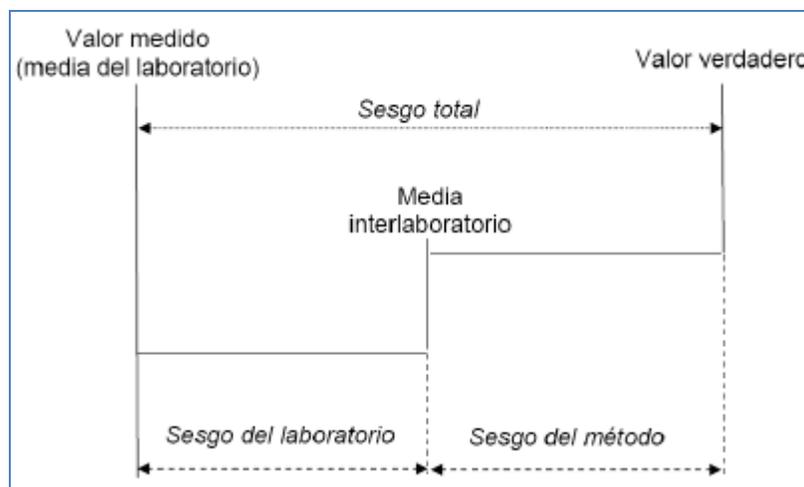
#### II.5.1.4Teoría de los Errores

El resultado de toda medición siempre tiene cierto grado de error el cual se debe a las limitaciones de los instrumentos de medida, a las condiciones en que se realiza la medición y así como también, a las capacidades del operador o analista. Es por esta razón que para tener una idea correcta de la magnitud con la que se está trabajando, es indispensable establecer los límites entre los cuales se encuentra el valor real de dicha magnitud. La teoría de los errores establece como límites: (Johnson, 1998)

- Error de medición: es el resultado de del valor de la magnitud medida (mensurando) menos el valor que se considera 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 la un numero grande de mediciones.

Otro factor considerado como error es el llamado sesgo, que como se observa en la Figura N °8 , es un error que se detecta en los resultados de un estudio y que se debe a factores como la recolección, análisis, interpretación o revisión de datos (Rosales, 2009)



**Figura N°8: Errores asociados al sesgo.**

## II.6 INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre de la medición es un término global que encierra todas las posibles fuentes de incertidumbre asociadas al ensayo. Desde el punto de vista de cualitativo es un parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando. En lo que se refiere a lo cuantitativo, es el resultado de la evaluación orientada a la caracterización del intervalo dentro del cual se estima que el valor convencionalmente verdadero con una determinada probabilidad.

El concepto de incertidumbre refleja algunas dudas acerca de la veracidad del resultado obtenido, una vez que se han evaluado todas las posibles fuentes de error. Por lo tanto la incertidumbre nos da una idea de la calidad del resultado ya que muestra un intervalo alrededor del valor estimado dentro del cual se encuentra el valor considerado verdadero.

Hoy en día los laboratorios deben demostrar que sus métodos proporcionan resultados fiables y adecuadas, ya que muchas decisiones que se toman dependen de la información que estos resultados proporcionan

### II.6.1 Identificación de la Fuentes de Incertidumbre

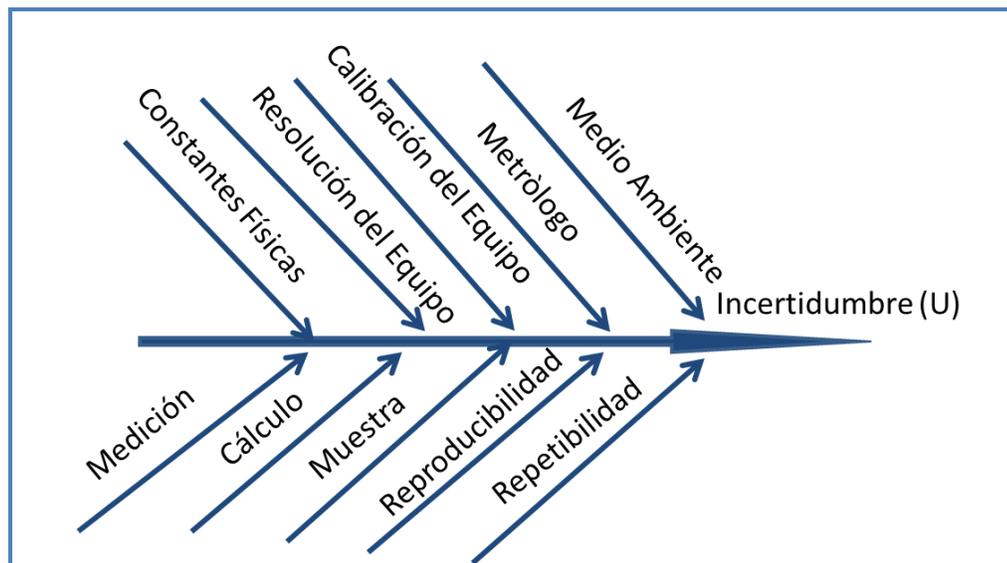
Una vez que se identifica el mensurando y el modelo matemático característico de todo ensayo o proceso, se proceden a identificar las fuentes de incertidumbre que afectan la realización de los mismos. Estas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, tal como se indica en la Tabla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

**Tabla N°3:** Fuentes de Incertidumbre asociadas a la medición.

Imperfecciones Asociadas	Tipos de Incertidumbre
Instrumento de Medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resultados de la calibración del instrumento.</li> <li>▪ Repetibilidad de las lecturas.</li> <li>▪ Características del propio instrumento como resolución, deriva</li> </ul>
Operador	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos</li> </ul>
Medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variaciones de las condiciones ambientales</li> </ul>
Magnitudes de Influencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incertidumbre del patrón o del material de referencia.</li> <li>▪ Definición del propio mensurando.</li> <li>▪ El modelo de medición.</li> </ul>

No se debe desechar ninguna de las posibles fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución. Es preferible la inclusión de un exceso de fuentes de incertidumbre que ignorar algunas entre las cuales se podría encontrar una de contribución considerable (Feliz, 2010).

Las diversas fuentes de incertidumbre se pueden representar en un diagrama o esquema que permita visualizar la influencia de cada una de ellas sobre la incertidumbre de medición. Para ello se emplea un diagrama causa y efecto tal como se muestra en la Figura N°9, que también se denomina “Diagrama Espina de Pescado”, por su forma similar a la del esqueleto de un pez.



**Figura N°9: (Diagrama causa-efecto).**

Este diagrama se emplea como una herramienta para identificar las diferentes fuentes de incertidumbre. En este diagrama se asumen todas las causas o posibles causas dentro de una u otra categoría, las cuales se refieren a las fuentes de incertidumbre indicadas en la Tabla N°3. Las imperfecciones asociadas al proceso de medición se colocan a lo largo de la espina principal, si una de las fuentes de incertidumbre es más complejas esta a su vez puede descomponerse en subfuentes, las cuales se ubican en nuevas espinas que a su vez concluyen en la espina principal. Este diagrama permite

ilustrar de manera ordenada las posibles fuentes de incertidumbre asociadas a cualquier ensayo.

La manera de expresar la incertidumbre como parte de un resultado de medición depende de la conveniencia del usuario, en algunos casos se representa como la incertidumbre estándar combinada, en otros casos se requiere expresar con cierto nivel de confianza.

La incertidumbre estándar combinada 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 (Feliz, 2010).

Generalmente, se desea un valor probabilidad mayor a la que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor K, llamado factor de cobertura, el resultado de este producto se denomina incertidumbre expandida (U)

$$U=K \times U_c \quad \text{Ecuación N°7}$$

Donde:

U: Incertidumbre Expandida

K: Factor de cobertura

Uc: Incertidumbre estándar combinada

La incertidumbre expandida indica el intervalo que representa una fracción de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor P es el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

## II.6.2 .Procedimiento para la Estimación de la Incertidumbre.

Para la estimación de la incertidumbre se requiere:

- ✚ Definir el Mensurando: Se especifica aquí la variable que será objeto de medición.

- ✚ Establecer modelo matemático: Se establece o identifica la ecuación que relaciona la magnitud que desea ser medida (mensurando) con las variables de entrada. La Ecuación N°8 es una representación general de un modelo matemático:

$$\text{Medición} = L_i + C \quad \text{Ecuación N}^\circ 8$$

Medición: mensurando

$L_i$ : medición del instrumento

$C$ : Corrección.

- ✚ Identificar las fuentes de incertidumbre: Se listan o esquematizan las posibles fuentes de incertidumbre, incluyendo las fuentes que contribuyen a la incertidumbre del mensurando y las originadas por cualquier suposición tomada, entre las más comunes tenemos (Rosales, 2009):
  - Repetibilidad: se puede calcular de diferentes formas como se indica en las ecuaciones siguientes

$$U(\text{rep}) = \frac{S_r}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 9$$

$$U(\text{rep}) = \frac{\text{EMP}}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 10$$

$$U(\text{rep}) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 11$$

Donde:

$S_r$ : Desviación estándar de la repetibilidad, obtenida de la validación.

$n$ : Numero de desviaciones.

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

Si se poseen datos históricos se utiliza la Ecuación N°9 o la Ecuación N°11. En caso de no poseer datos históricos se utiliza la ecuación N°10 empleando el error máximo permitido del equipo que se esté utilizando este error se encuentra el manual del mismo.

- Resolución del instrumento: Está asociada a la precisión del instrumento es el menor incremento de la variable de medición que puede ser detectado por el equipo, es decir es el valor mínimo que puede mostrar un equipo digital y aparece especificado por el fabricante en su defecto se deduce de los valores mostrados por el equipo. La incertidumbre de este parámetro se define de la siguiente manera

$$U(\text{res}) = \frac{\text{Res}_{\text{digital}}}{\sqrt{12}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 12$$

- Calibración del instrumento: Es la incertidumbre determinada en la calibración del equipo sino se poseen datos de una calibración reciente, se utiliza el valor del error máximo permitido que se encuentra disponible en el manual del fabricante, para el cálculo de esta incertidumbre se emplea las siguientes ecuaciones

$$U(\text{cal}) = \frac{U_{\text{cal}}}{2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 13$$

$$U(\text{cal}) = \frac{\text{EMP}}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 14$$

- 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 valor del 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 consecutivos, para el intervalo de trabajo adecuado. La ecuación que la define es la siguiente

$$U_{DER} = \frac{|U_{caln} - U_{caln-1}|_{max}}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación N}^\circ 15$$

- ✚ Calculo la incertidumbre combinada ( $U_c$ ): la cual se expresa de la siguiente manera:

$$U_c = \sqrt{\left(\frac{S_f}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{2}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{Res}{\sqrt{12}}\right)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 16$$

- ✚ Nivel de confianza: Se elige un nivel de confianza de 95% (Eurachem, 1998).
- ✚ Factor de cobertura K: Se define con el valor 2 relacionado al nivel de confianza de un 95% (Eurachem, 1998).
- ✚ Incertidumbre expandida (U): Se define como el producto del factor de cobertura logra la cobertura de la incertidumbre combinada asociada a la medición de la siguiente manera:

$$U = K \times U_c \quad \text{Ecuación N}^\circ 17$$

### II.6.3 Reglas Básicas para Estimar Incertidumbre

Para el proceso de la estimación de la incertidumbre existen tres reglas básicas que se deben considerar: (Rosales, 2009).

**Regla tipo 1:** para modelos matemáticos que involucran solo la adición o sustracción de las variables, por ejemplo:

$$A = B \pm C \quad \text{Ecuación N}^\circ 18$$

Se desarrolla de la siguiente manera:

- La incertidumbre combinada de A es:

$$U_{CA} = \sqrt{(B \times U_B)^2 \pm (C \times U_C)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 19$$

Donde:

$U_{CA}$ : Incertidumbre combinada de A.

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

b. Se deriva la Ecuación N°18 con respecto a B, de la siguiente manera:

$$\frac{dA}{dB} = \frac{dB}{dB} \pm \frac{dC}{dB} = 1$$

Donde

$$\frac{dB}{dB} = 1 \quad \frac{dC}{dB} = 0$$

$$\frac{dA}{dC} = \frac{dB}{dC} \pm \frac{dC}{dC} = -1 \quad \text{Ecuación N°21}$$

c. Finalmente la incertidumbre combinada de A, se expresa de la siguiente manera

$$U_{CA} = \sqrt{(U_B)^2 \pm (U_C)^2} \quad \text{Ecuación N°22}$$

**Regla tipo 2:** se utiliza cuando el modelo matemático involucra un producto o un cociente, por ejemplo:

$$A = \frac{B}{C} \quad \text{Ecuación N°23}$$

La ecuación se desarrolla de la siguiente manera

a. La incertidumbre combinada de A en este caso sería

$$U_{CA} = A \times \sqrt{\left(\frac{U_B}{B}\right)^2 \pm \left(\frac{U_C}{C}\right)^2} \quad \text{Ecuación N°24}$$

Donde:

$\frac{U_B}{B}$  y  $\frac{U_C}{C}$  Son las incertidumbres de B y C respectivamente.

**Ley General:** comprende las dos incertidumbres anteriores, se puede usar tanto para modelos matemáticos de la Regla Tipo 1 como de la Regla Tipo 2; Ejemplo:

$$A = \frac{B \times C}{D} \quad \text{Ecuación N}^\circ 25$$

La ecuación se desarrolla de la siguiente manera

- a. La incertidumbre combinada de A es:

$$U_{CA} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i \times U_i)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 26$$

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<sup>o</sup>25 en la Ecuación N<sup>o</sup>26 de la siguiente manera:

$$U_{CA} = \sqrt{(B \times U_B)^2 + (C \times U_C)^2 + (D \times U_D)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 27$$

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

$$\frac{dA}{dD} = B \times C \times \frac{d(1/D)}{dD} = -\frac{B \times C}{D^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 28$$

$$\frac{dA}{dC} = \frac{B}{D} \times \left( \frac{dC}{dC} \right) = \frac{B}{D} \quad \text{Ecuación N}^\circ 29$$

$$\frac{dA}{dB} = \frac{C}{D} \times (A) = \frac{C}{D} \times \frac{dA}{dA} = \frac{C}{D} \quad \text{Ecuación N}^\circ 30$$

- d. Una vez obtenidas las derivadas se sustituyen las mismas en la Ecuación N<sup>o</sup>26, quedando la incertidumbre combinada de la siguiente manera:

$$U_{cA} = \sqrt{\left( \frac{C}{D} \times U_B \right)^2 + \left( \frac{B}{D} \times U_C \right)^2 + \left( -\frac{B \times C}{D^2} \times U_D \right)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 31$$

#### II.6.4 Reporte de la Incertidumbre

Una vez culminado el proceso de estimación de la incertidumbre, se procede al reporte de resultados, mediante el uso de una hoja de cálculo diseñada en Excel, la ecuación general para el reporte del cálculo de la incertidumbre estimada se presenta de la siguiente manera

$$\bar{I}+U \quad \text{Ecuación N}^{\circ}32$$

Donde:

$\bar{I}$ : Valor de mensurando en la unidades correspondientes.

U: Incertidumbre calculada

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

A continuación se explica detalladamente la metodología a emplear para el cumplimiento y desarrollo de los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

#### **III.1 DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

Se determinaron la s cantidad de probetas o cilindros que serían sometidas a ensayo y El procedimiento experimental comprende tres etapas básicas:

- Elaboración de las probetas o cilindros de concreto.
- Ensayo a compresión de cilindros de concreto
- Validación y estimación de la incertidumbre del ensayo.

Para el desarrollo de este procedimiento experimental se determina la confiabilidad del mensurando basado en la reproducibilidad y repetibilidad del método de ensayo.

#### **III.2 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS O CILINDROS DE CONCRETO**

- Se elaboran cuatro grupos de probetas o cilindros de concreto de 30 cilindros cada uno con especificaciones diferentes en cuanto a la mezcla de concreto se refiere, diseñadas para evaluar diferentes valores de resistencia a la compresión de dichos cilindros .Representando el rango de valores más comunes que se reportan para distintas estructuras. Los cilindros fueron elaborados por el personal del IMME por grupos El grupo de cilindros correspondiente al primer nivel de la matriz experimental se diseñaron y elaboraran en laboratorio IMME, los demás grupos de cilindros pertenecientes a los tres niveles restantes se elaboraron en la Fábrica Nacional de Cemento (FNC).Todas las probetas cilíndricas de concreto fueron elaboradas por el personal del IMME de acuerdo

método establecido en la Norma COVENIN 338:202 que se describe a continuación:

- Se prepara una mezcla la mezcla con una relación agua-cemento y otros agregados para una resistencia determinada.
- Se limpia y engrasan los moldes o formaletas antes de ser utilizadas
- El concreto se vació en cada de uno de los moldes y se compacto. El método de compactación que se utilizo es el método de barra, el cual consiste en colocar en el molde el concreto en tres capas de igual volumen compactadas con el número de golpes que se indica en la Tabla N°5.Estos golpes se darán sumergiendo la barra compactadora al agregar cada capa de concreto.

**Tabla N°4:** Compactación según Norma COVENIN 338:2002

<b>Diámetro Nominal del Cilindro (mm)</b>	<b>Número de Golpes</b>
150	25
200	50
250	75

- El concreto compactado se enrasa para cada una de las probetas empleando la barra usada y luego una espátula de manera de garantizar que la superficie quede perfectamente lisa y plana al ras con el borde del molde evitando concavidad en la cara del cilindro .ver Figura N°10



**Figura N°10: Enrase de las probetas.**

- Los cilindros permanecen en una superficie horizontal libre de vibraciones. (Figura N °11).



**Figura N °11: Cilindros después de su elaboración.**

- Las probetas se retiran de los moldes luego de transcurridas las 24 horas a partir de su elaboración.
- Luego de retiradas de los moldes se someten al proceso de curado, el cual consistió en colocarlas directamente en un tanque agua potable saturada con cal, durante 28 días, tal como se muestra en la Figura N°12



**FiguraN°12: Cilindros en la cámara de curado.**

- Luego se trasladan al laboratorio (Nave de Ensayos Físicos-IMME)
- Se especificara para cada grupo de cilindros los siguientes datos:
  - ✓ Hora y fecha de elaboración.
  - ✓ Tiempo y temperatura de curado.
  - ✓ Tipo de cemento, y relación agua-cemento.

### **III.3 . ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.**

El grupo de cilindros realizados en la planta después de transcurridos 27 días, para luego ser ensayados al día siguiente a una edad de 28 días.

Se calibraron los equipos que se utilizan vernier, y máquina de compresión, esta calibración fue realizada por una institución encargada de realizar este tipo de actividades acreditada por SENCAMER. Se realizó el ensayo para cada uno de los cuatro grupos de probetas siguiendo el procedimiento experimental siguiente

**Preparación de la muestra:** Para cada cilindros se midió el diámetro del cilindro en dos sitios en ángulos rectos utilizando el vernier, estos diámetros de promediaron para calcular el área de la sección, los diámetros fueron aproximados al milímetro más cercano en caso de que los diámetros difieran en más de 2%, no se sometía el

cilindro a ensayo. Las caras del cilindro son rematadas, con el fin de obtener una distribución uniforme de la carga, para ello se tapa con almohadillas de neopreno, el proceso de refrentado se hará de la siguiente manera:

- ✓ Se examina el neopreno, para descartar rajaduras o agrietamientos, como se observa en la siguiente
- ✓ Se inserta el neopreno en los platos retenedores y luego se inserta el cilindro.

***Ensayo***

- Los cilindros se colocaron en la máquina de ensayo centrando cuidadosamente, la maquina empleada para este ensayo, es la que se muestra en la siguiente figura. (Figura N°13)



**Figura N °13: Maquina Universal de Compresión.**

- Se aplicó la carga y se esperó la fractura de la muestra, un tipo de fractura que se observó en el ensayo es como el que se s observa en la Figura N°14



**Figura N°14: Cilindro fracturado, fractura tipo 1.**

### ***Informe***

De acuerdo a la Norma COVENIN 338:2002, se elaborará un informe que contenga el siguiente registro:

- Identificación de los cilindros.
- Condiciones de muestreo y curado (fecha, hora y asentamiento de la mezcla)
- Fecha y hora del ensayo.
- Edad y dimensiones del cilindro.
- Resistencia, esfuerzo máximo y tipo de fractura de cada cilindro.
- Desviación estándar del ensayo.

### **III.4 VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

La validación del método de ensayo se determinó a través de un análisis estadístico mediante los valores de reproducibilidad y repetibilidad. Para el análisis estadístico de los resultados se empleó el análisis de varianzas simple o método de ANOVA. Se calculó la incertidumbre estándar, combinada y expandida a través de un diagrama

causa y efecto denominado comúnmente espina de pescado, establecido en la Guía “The Expression Of Uncertainty In Measurement”, citada en las referencias bibliográficas. El procedimiento para realizar el cálculo es el siguiente:

- Determinación del mensurando o magnitud que sería sometida a medición:

$\sigma$ : Esfuerzo o resistencia (Mensurando).

- Se establece el modelo matemático para el cálculo del mensurando el cual se define como:

$$\sigma = \frac{4 \times P}{\pi \times D \times D} \quad \text{Ecuación N}^\circ 33$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo generado por el cilindro producto de la compresión (Kgf/cm<sup>2</sup>)

$P$ : Presión ejercida sobre el cilindro (Kgf).

$D$ : Diámetro del cilindros (cm<sup>2</sup>)

$\Pi$ : Constante Pi.

- Se aplica la regla número dos, la cual establece la incertidumbre estándar combinada estará representada por la siguiente ecuación.

$$U_{\sigma} = \sigma \times \sqrt{\left(\frac{U_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{U_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{U_\pi}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 34$$

- Se identificaron las fuentes de incertidumbre a través de un diagrama causa efecto, (Diagrama espina de pescado) Este diagrama fue tomado del trabajo especial de grado realizado por Gonzalo Felix en el año 2010.



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

Ecuación N°37

Se desarrolló una hoja de cálculo, para determinar los valores de reproducibilidad y repetibilidad así y para el cálculo de incertidumbre del método de ensayo estos valores se determinaron por nivel, para cada valor de resistencia a la compresión estudiado

La hoja de cálculo fue validada, realizando el procedimiento a mano y verificando que para valores entrada iguales se obtengan los mismos resultados.

Los procedimientos para la validación y estimación de la incertidumbre fueron desarrollados en documentos con el respectivo formato tal como lo exige la Norma 17025:2005

Los grupos de cilindros pertenecientes a los niveles 2, 3 y 4 se elaboraron en la Fábrica Nacional de Cemento los mismos fueron realizados por el personal técnico del IMME en las instalaciones de la planta y el grupo pertenecientes al nivel 1 se elaboró en el IMME; en ambos casos siguiendo el procedimiento que establece la Norma COVENIN 338:2002.

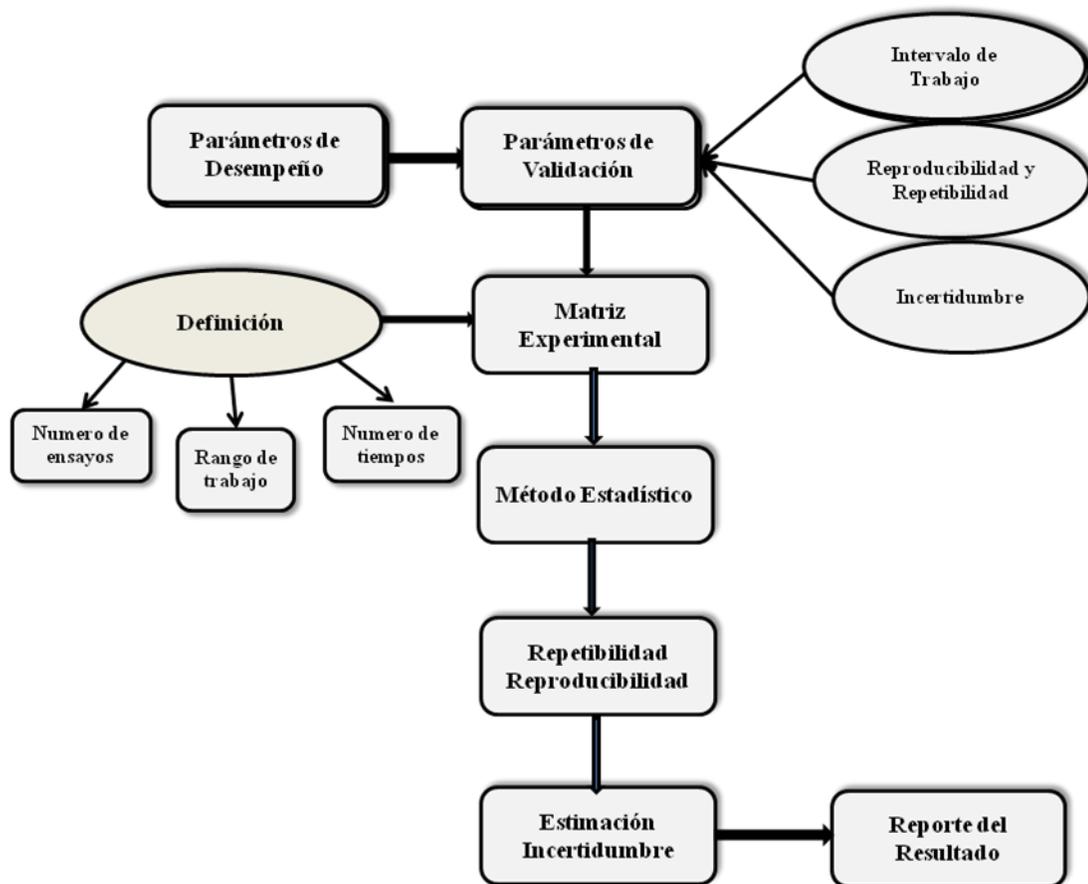
## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez realizados los pasos descritos en la sección Metodología, para la estimación y validación del método Ensayo a Compresión de Cilindros de concreto se generó la siguiente información:

#### **IV.1 METODOLOGÍA PARA LA VALIDACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO**

Para la validación del método de ensayo a compresión de cilindros de concreto se diseñó y elaboro una metodología que permite sintetizar los procesos, definir los parámetros de desempeño y efectos que influyen en el valor del mesurando y su incertidumbre experimental asociada, esta metodología se observa de manera esquematizada en la siguiente Figura



**Figura N°16: Esquema para la validación del ensayo a compresión de cilindros de concreto**

### **Parámetros de desempeño**

Como primer paso se definen los parámetros de desempeño de la validación del ensayo de acuerdo a las características propias del mismo se establece el rango de trabajo, la reproducibilidad y repetibilidad del método según lo establece la norma referente al ensayo y se define nivel de confianza que se requiere para el resultado final

### **Matriz Experimental**

De acuerdo a los parámetros de desempeño definidos para la validación se diseña una matriz experimental para la realización del ensayo que permita la validación del mismo, en esta matriz se define el rango o intervalo de trabajo la cantidad de ensayos a realizar los intervalos de tiempo en que se realizaran.

### **Método estadístico Grubbs**

Luego de obtener los valores del mensurando se realiza una revisión de los valores. Antes de aplicar el análisis simple de varianza se realiza un análisis de los mismos para determinar si existe un comportamiento atípico en alguno de los resultados de ser así se aplica el método grubbs para el descarte de valores, este método es aceptado y recomendado por las normas internacionales y nacionales, depende de la distribución estadística de los resultados, también pueden emplearse otros métodos como las pruebas de Dixon y Cochran.

### **Método Anova**

Mediante la aplicación de la matriz experimental para la determinación de los valores del mensurado se requiere la aplicación de un análisis simple de varianza, mediante la aplicación de este método se obtienen los valores de la incertidumbre de reproducibilidad y repetibilidad del método de ensayo, asociados a la validación del ensayo.

### **Estimación de la Incertidumbre**

En esta etapa se desarrolla un procedimiento de cálculo que permite obtener el valor de la incertidumbre asociada a la medición. Se define la magnitud sometida a medición o mensurando, las variables físicas que lo definen y la ecuación o relación matemática que relaciona dichas variables con el mensurando. En este procedimiento se incluyen todas las posibles fuentes de incertidumbre que podrían afectar el valor del mensurando obtenido, para la representación de estas fuentes se emplea como herramienta un diagrama causa-efecto (espina de pescado), donde se indican las fuentes de incertidumbre asociadas al operador o analista, constantes del modelo

matemático que definen el mensurando equipos, laboratorio y condiciones ambientales.

### Reporte de resultado

En esta última etapa se reporta el resultado más la incertidumbre calculada, este reporte dependerá del tipo de ensayo y de las exigencias del cliente, en esta etapa se da por concluida la validación del método de ensayo.

## IV.2 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

Se definieron los parámetros de desempeño para la validación del ensayo, los cuales se describen en la Tabla N°5

**Tabla N°5:** Parámetros de desempeño para la Validación del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto

Parámetro de validación	Objetivo
Intervalo de trabajo:	120Kgf/cm <sup>2</sup> - 410Kgf/cm <sup>2</sup>
Reproducibilidad	CV (coeficiente de variación) 16 Kgf/cm <sup>2</sup>
Incertidumbre	95 % confiabilidad ≤ 32Kgf/cm <sup>2</sup>

El rango o intervalo de trabajo establecido fue de 120 a 410 Kgf/cm<sup>2</sup>, incluye los diferentes valores de esfuerzo con los que se trabaja comúnmente en la industria de la construcción. El total de las muestras a ensayar están dentro del intervalo de trabajo, la reproducibilidad para la validación del método es el valor máximo que puede alcanzar la desviación estándar del ensayo cuando varía una de las condiciones según lo establece la Norma COVENIN 338:2002 y el coeficiente de variación que se calcula no debe exceder el valor de la reproducibilidad definido.

### IV.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo experimental de validación se diseñó una matriz experimental basada en cuatro grupos de 30 cilindros cada uno, cada grupo de cilindros posee características diferentes en cuanto a la resistencia o esfuerzo se refiere. La resistencia o esfuerzo es una propiedad física que caracteriza una mezcla de concreto. Los niveles de esfuerzo representa el rango de trabajo para realizar la matriz experimental de validación la matriz experimental ver Tabla N°6

**Tabla N °6: Matriz Experimental Modelo**

Nivel	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Total
$\sigma_1$	6	6	6	6	6	30
$\sigma_2$	6	6	6	6	6	30
$\sigma_3$	6	6	6	6	6	30
$\sigma_4$	6	6	6	6	6	30
<b>Total de muestras elaboradas/ensayadas</b>						120

Luego de elaboradas las mezclas de concreto y realizado el ensayo de los cilindros se determina los valores promedios para cada nivel de esfuerzo o resistencia como se indica en la Tabla N°7

**Tabla N °7: Matriz Experimental**

Esfuerzo	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Total
120Kgf/cm <sup>2</sup>	6	6	6	6	6	30
245Kgf/cm <sup>2</sup>	6	6	6	6	6	30
278Kgf/cm <sup>2</sup>	6	6	6	6	6	30
418Kgf/cm <sup>2</sup>	6	6	6	6	6	30
<b>Total de muestras elaboradas/ensayadas</b>						120

Los valores correspondientes a cada nivel son los valores promedios del esfuerzo o resistencia después de realizados los ensayos, según la norma COVENIN 338:2002

con variante Norma ASTM C1231. La desviación estándar en los ensayos de resistencia debe ser de  $\pm 8 \text{Kgf/cm}^2$  según lo establecido en la norma. La precisión y la desviación estándar para cada grupo de cilindros se calculó a través de la hoja de cálculo desarrollada para tal fin

**Tabla N°8:** Desviación Estándar para cada nivel

<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desviación Estándar (S)( Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
120	9
245	7
278	7
418	8

En la Tabla N°8 se representan los valores promedio del esfuerzo para 30 ensayos y la desviación ensayo para cada nivel. Se observa que los valores de la desviación estándar (S) determinados para cada nivel promedio de esfuerzo son similares entre sí corroborando que la desviación estándar del ensayo es  $8 \pm 1 \text{ Kgf/cm}^2$ . Este valor demuestra que independientemente de la mezcla de concreto preparada para una construcción la desviación estándar del método de ensayo es similar

El grupo de probetas elaboradas para el primer nivel fueron realizadas en el laboratorio Nave de Ensayos Físicos del IMME, en dicho laboratorio se cuenta con una mezcladora con capacidad pequeña de 120 l, Por esta razón se elaboraron los cilindros a partir de la elaboración de dos mezclas, 15 cilindros por cada mezcla, se considera que ésta es una de las razones por la que la desviación en este nivel es mayor, ya que por más riguroso que se fue en la elaboración de las mezclas no se logró la misma homogeneidad en ambas debido a la misma característica de la muestra que consiste en una mezcla de elementos sólidos provenientes de la naturaleza como lo son los agregados y la arena y otro elemento industrial tal como el cemento; aumentando de esta manera la dispersión en los resultados del ensayo. Para

el caso del nivel 4, en el momento de la realización del ensayo se observaron en algunas muestras partículas de gran dimensión en los agregados que afectaron la resistencia de las muestras y a su vez alteraron el valor de esfuerzo obtenido para varios cilindros, el tipo de partícula observado es como el que se aprecia Figura N° 17



**Figura N ° 17: Falla por agregado.**

Como ejemplo se representa la Figura N ° 17 uno de los cilindros ensayados que presentaron agregado contaminado ocasionando esto que los cilindros fracturan antes y de esta manera obtener un valor de esfuerzo incorrecto.

La resistencia a la compresión es una medida de desempeño empleada por los ingenieros para el diseño de estructuras, por lo tanto las características de la mezcla dependerá de la resistencia que se desea obtener del material, existen ya diseños preestablecidos a nivel de planta y laboratorio. Las variaciones que presentan los resultados de los ensayos de calidad del concreto tienen dos orígenes, las variaciones de calidad que tiene el material utilizado y variaciones referentes a la imprecisión propia del ensayo. Existen diferentes fuentes que pueden ocasionar la variación en la resistencia del concreto, algunas de las cuales pudieron ocasionar variación en los ensayos realizados. Estas se describen a continuación

**a).Causas de las alteraciones en la relación agua/cemento**

- Control deficiente de las proporciones de dosificación de cualquiera de los materiales.

- Cambios no controlados en la humedad de los agregados
- Alteraciones de la granulometría de los agregados
- Variaciones de en la calidad del cemento.
- Variaciones en la eficiencia de los aditivos

**b) Alteraciones no detectadas por los ensayos**

- Vibración inadecuada, que deja partes del material sin compactarse
- Desencofrado prematuro.
- Moldes de calidad deficientes, desgastados
- Mala ejecución del ensayo en sí mismo por mal centrado de la probeta en la prensa de ensayo

Las pruebas del laboratorio se hacen con la finalidad de precisar la resistencia media que será posible obtener con unos determinados materiales y componentes, pero en ningún caso miden la dispersión que podrá tener el concreto en la obra la cual depende de circunstancias ajenas al laboratorio (Humaca, 2006).

Existen diversos valores de desviación estándar que se podrían esperar en la resistencia del conjunto de cilindros elaborados, esta desviación en el esfuerzo de los cilindros depende específicamente del, grado de control que se efectúa en laboratorio o planta al momento de realizar la mezcla (COVENIN 1976:2003)

**Tabla N°9:** Desviación estándar a esperar de la resistencia del concreto según el tipo de control

Control	Desviación Estándar (Kgf/cm <sup>2</sup> )
Sin ningún control	70
Control visual de los agregados y rechazo de aquellos que aparentan muy mala calidad.	50
Como el anterior pero se conocen las granulometrías de los agregados que se están usando.	40
A cada lote de agregados se le determina algún índice granulométrico, se controla la humedad de los agregados se tiene en cuenta la marca y lote del cemento.	35
Al igual que el anterior pero con márgenes de aceptación muy estrictos, uso de no menos de tres agregados , limitación de la humedad de los agregados en el momento de su uso	25

Según el tipo de control que realizan los laboratorios del IMME y FNC en el diseño y elaboración de las mezclas se espera una desviación estándar aproximada de 40Kgf/cm<sup>2</sup> En la matriz experimental cada nivel se dividió en cinco subgrupos, para de esta manera evaluar las condiciones de repetibilidad y reproducibilidad, la repetibilidad se evaluó a medida que nos desplazamos en sentido vertical en la tabla, se realizó el ensayo manteniendo constantes todas las condiciones del mismo, es decir, el ensayo fue realizado por el mismo técnico empleando los mismos equipos en el mismo laboratorio, al desplazarnos en sentido horizontal se evalúa la reproducibilidad del método esto se realizó variando una de la condiciones del mismo, en este caso en particular se varia el analista u operador que ejecuta el ensayo, las columnas identificada como tiempo se refieren a que está cambiando una de las condiciones del ensayo. El ensayo fue realizado por niveles, cada grupo de cilindros

pertenecientes a un mismo nivel se ensayaron en un mismo periodo de tiempo por el personal técnico capacitado tal como lo especifica la Norma ISO /IEC 17025:2005.

El procedimiento descrito para la validación y cálculo de incertidumbre del método de ensayo se realiza para cada uno de los niveles que conforman la matriz experimental. A continuación se muestra un ejemplo del procedimiento desarrollado para el segundo nivel de la matriz correspondiente a un esfuerzo de 245Kgf/cm<sup>2</sup>

#### **IV.4 ANÁLISIS SIMPLE DE VARIANZA (ANOVA)**

Mediante la aplicación de la matriz experimental para la determinación del esfuerzo de los cilindros de concreto de 120 muestras se requiere la realización de un análisis simple de varianza En la Tabla N°10 se muestran los valores de esfuerzo obtenidos para cada cilindro perteneciente al segundo nivel de la matriz experimental, el resto de los valores obtenidos por nivel se encuentran en el Apéndice A

Tabla N °10. Valores de esfuerzo obtenidos para el Nivel dos

Cilindro	Técnico	Diámetro (D) (cm)	Carga(P) (Kgf)	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1	15,1	43407	244
2		14,9	43890	252
3		15,0	45018	255
4		15,0	43960	251
5		15,1	44040	248
6		15,1	43774	246
7	2	15,0	43498	246
8		15,1	45136	254
9		14,9	44409	255
10		15,0	43470	246
11		15,0	44575	252
12		15,1	42598	238
13	3	15,0	44381	251
14		15,0	42871	244
15		15,0	44291	251
16		15,0	44241	250
17		15,0	43482	246
18		15,1	43031	242
19	4	15,1	43436	244
20		15,1	39374	220
21		15,0	42628	241
22		15,0	43903	248
23		15,0	42726	244
24		15,0	44197	250
25	5	15,1	41866	235
26		15,0	40431	230
27		15,1	43327	242
28		15,0	41194	233
29		15,0	41416	234
30		15,0	45004	255

Para el Nivel 2, se diseñaron y elaboraron 30 cilindros que cumplieran con una resistencia aproximada a 250 Kgf/cm<sup>2</sup>, tal como se muestra en la Tabla N° 10. Se realizó el ensayo determinando el esfuerzo para cada uno de ellos aplicando la Ecuación N°6 presentada en la sección de metodología obteniendo los resultados mostrados en la Tabla N °10.

Antes de aplicar el análisis simple de varianza, fue necesario hacer una revisión de cada uno de los valores, y realizar descarte de valores atípicos, para el descarte se

empleó la Prueba Grubbs esta prueba es uno de los métodos recomendados y aceptados por la normas internacionales y nacionales para el descarte de datos cuando se desean realizar análisis estadísticos. Este método aplica la siguiente ecuación

$$G_{CAL} = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad \text{Ecuación } ^\circ\text{N } 38$$

Donde:

X: Valor experimental atípico.

$\bar{X}$ : Media de todos los valores

S: Desviación estándar incluyendo los valores sospechosos

Se compara el valor obtenido de  $G_{cal}$  con un  $G_{tab}$  establecido, ver Apéndice F; si el  $G_{cal}$  es mayor que el  $G_{tab}$  el valor sospechoso se descarta. Los valores tabulados corresponden a la cantidad de datos que se tienen y al nivel de confianza con el que se está trabajando. Luego del descarte los datos para este nivel de resistencia o esfuerzo quedaron distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla N°11:** Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico

	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5
<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	244	246	251,	244	235
	251	254	244	241	230
	255	255	251	248	242
	251	246	250	243	233
	248	252	246	250	234
	246	238	242	-----	255

Se calculó la media para cada periodo de tiempo y la media global aplicando las siguientes ecuaciones

$$\bar{\sigma}_i = \frac{\sum_{j=1}^{Re} \sigma_{ij}}{Re}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^T \bar{\sigma}_i}{T}$$

Donde Re se refiere al número de repeticiones por cada periodo de tiempo y T al número de tiempos evaluados: Luego de aplicadas estas ecuaciones se obtuvieron los indicados en la Tabla N°12:

**Tabla N°12:** Media diaria y global para el nivel 2

Media	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo3	Tiempo4	Tiempo5
Diaria (Kgf/cm <sup>2</sup> )	249	248	247	245	238
Global (Kgf/cm <sup>2</sup> )	245				

Una vez calculadas las medias en cada nivel se realizó el análisis simple de varianza (ANOVA). Este método se basa en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, en forma de varianza y desviaciones estándar, consiste en analizar estadísticamente entre grupos y por grupo de ensayo aplicando las ecuaciones que se indican en la siguiente Tabla.

**Tabla N °13.** Método ANOVA

Método Estadístico ANOVA			
Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas Medias (DCM=SDC/v)
Entre grupos	$v_1 = Re - T$	$SDC_B = \sum_{i=1}^{Re} N(\bar{\sigma}_i - \bar{\sigma})^2$	$DCM_B = \frac{SDC_B}{v_1}$
Dentro del grupo	$v_2 = Re - T$	$SDC_W = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^{Re} (\bar{\sigma}_{ij} - \bar{\sigma}_i)^2$	$DCM_W = \frac{SDC_W}{v_2}$

se determinaron los grados de libertad por grupo y dentro del grupo de ensayos, para cada nivel y subgrupo dentro del nivel, lo cual dependerá de la distribución de datos obtenidos luego de aplicado el método para descarte de datos, es decir Para los grados de libertad dentro del grupo se consideró el número total de datos, y para cada subgrupo el número de datos correspondientes a cada periodo de tiempo.

Empleando el programa Startgraphics® para cada nivel se verificaron los valores obtenidos en el cálculo del análisis simple de varianza, sirviendo esto como verificación de la hoja de cálculo que fue diseñada y elaborada para el desarrollo de la validación del método de ensayo. Los valores obtenidos para el nivel 2 se presentan detalladamente en la siguiente Tabla

**Tabla N °14:** Método ANOVA (Nivel: 250Kgf/cm<sup>2</sup>)

<b>Método Estadístico ANOVA: Nivel 2:250 Kgf/cm<sup>2</sup></b>			
Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas Medias (DCM=SDC/v)
Entre grupos	$v_1=5-1=4$	$SDC_B = 461,12$	$DCM_B = \frac{461,12}{4} = 115,28$
Dentro del grupo	$v_2=29-5=24$	$SDC_w = 807$	$DCM_w = \frac{807}{24} = 32,28$

Para el cálculo la desviación estándar de la reproducibilidad ( $S_R$ ) y repetibilidad ( $S_r$ ) se empleó el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$s_r = \sqrt{DCM_W} \longrightarrow s_L = \sqrt{\frac{DCM_B - DCM_W}{5}} \longrightarrow s_R = \sqrt{s_r^2 + s_L^2}$$

$$s_r = \sqrt{115,28} = 5,68 \quad s_L = \sqrt{\frac{115,28 - 32,28}{5}} = 16,60 \quad s_R = \sqrt{5,68^2 + 16,60^2} = 6,99$$

Luego de realizado el análisis de varianza simple se determinó el coeficiente de variación (CV) empleando la siguiente ecuación

$$CV = \frac{s_R}{\sigma} \times 100 \quad \text{Ecuación N°41}$$

$$CV = \frac{6,99}{245,85} \times 100 = 2,84\%$$

El coeficiente de variación indica en porcentaje cuán grande es la desviación estándar con respecto a la media aritmética de cada nivel, es sólo una medida que permite identificar cuán dispersos están los resultados que se están manejando.

A continuación se presentan una tabla donde se indican para cada nivel cada uno de los valores obtenidos

**Tabla N°15:** Valores de reproducibilidad y repetibilidad para cada nivel.

Nivel (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Sr(Kgf/cm <sup>2</sup> )	SR(Kf/cm <sup>2</sup> )	CV
120	7	9	7,23%
245	6	7	2,84%
278	7	7	2,58%
418	8	8	2,84%

Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones determinan que parte de la variación observada en el proceso se debe al sistema de medición usado, un sistema de medición está conformado por los equipos que se emplean y los operadores o analistas que realizan el ensayo, es decir la repetibilidad de ensayo normalmente está asociada a las condiciones bajo las cuales se realiza el ensayo,

equipo operador y laboratorio y la reproducibilidad se atribuye a la variación de una de estas condiciones, en esta caso en específico la condición que se varia es el operador o analista que realiza el ensayo.

En la Tabla N°16 se observa que para todos los niveles evaluados la reproducibilidad es mayor que la repetibilidad; lo que indica que es necesario entrenar al personal técnico tanto en el manejo del instrumento como en la toma de datos, (Eurachem, 1998). Sin embargo, no necesariamente puede concluirse que el personal técnico no está calificado ya que la diferencia no es tan alta sino que la diferencia de estos valores puede atribuirse a la participación de cinco técnicos en la realización del ensayo ya que cada uno de ellos posee una precisión diferente para todas las etapas que se realizan al momento de ejecutar el ensayo ya sea en la toma de datos de la prensa o al leer los diámetros en el vernier, al diferencia no es tan alta como para asegurar que el equipo necesita mejor entrenamiento o no está calificado para la ejecución del ensayo tomando como referencia la desviación estándar establecida por la norma COVENIN 338:2002.

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que permite comparar o cuantificar la variabilidad de la desviación estándar de la reproducibilidad con respecto a la media de cada conjunto o grupo de datos, como se observa en la Tabla 16 la mayor variabilidad se encuentra en el primer nivel lo que es un resultado lógico debido a las variables ya descritas en el diseño experimental real referidas a la variabilidad propia de las muestras evaluadas.

#### **IV.5 RESULTADOS INTERLABORATORIOS**

Se elaboraron grupos de cilindros en el laboratorio Nave de Ensayos Físicos del IMME y en el laboratorio de la Fábrica Nacional de Cemento, y se realizaron ensayos en ambos laboratorios para realizar comparaciones en cuanto a los resultados obtenidos, de manera evaluar si existía algunas diferencias significativas que pudieran atribuirse a la realización del ensayo, se hicieron tres mezclas; dos realizadas en la FNC y una mezcla realizada en el IMME, los resultados obtenidos para las dos

mezclas se muestran en la siguiente secuencia de tabla Se calculó la desviación estándar por cada grupo ensayado y la desviación estándar para el grupo total de cilindros, a través de la desviación estándar, se determinó que laboratorio del IMME fue más preciso, ya que presentó menor dispersión en sus resultados cumpliendo con lo establecido por la Norma COVENIN 338:2002, la cual establece una desviación estándar máxima de 8Kgf/cm<sup>2</sup>. Tomando como punto de referencia esta desviación se hicieron las comparaciones, este conjunto de ensayos no se hicieron con la finalidad de determinar que un laboratorio era mejor que otro sino que el objetivo de estos análisis es tener un punto de comparación que permitió verificar los resultados obtenidos durante la validación del ensayo.

**Tabla N °16: Resultados Interlaboratorios 2.Cilindros elaborados en FNC**

<b>Cilindros</b>	<b>FNC Esfuerzo (<math>\sigma</math>)(Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>IMME Esfuerzo(<math>\sigma</math>)(Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	222	191
<b>2</b>	216	240
<b>3</b>	233	211
<b>4</b>	230	240
<b>5</b>	226	234
<b>6</b>	231	228
<b>Desviación Estándar (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	5	9
<b>Desviación Estándar Global (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	14	
<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	226±5	224±9

Los resultados de la tabla anterior corresponden a un grupo de cilindros diseñados y elaborados en la FNC que cumpliera con una resistencia de 180 para ser ensayados a los 7 días.

La Norma COVENIN 338:2002, establece que la máxima desviación estándar que deben tener los resultados obtenidos entre dos laboratorios es de 16 Kgf/cm<sup>2</sup> y se observa que se cumplió esta condición para este grupo de ensayos ya que la desviación global alcanzada por ambos laboratorios fue de 14,47 Kgf/cm<sup>2</sup> aunque la desviación mostrada por el laboratorio del IMME fue superior al valor máximo de 8 Kgf/cm<sup>2</sup>

El siguiente grupo de cilindros fue elaborado en el laboratorio Nave de Ensayos Físicos del IMME y consta de 12 cilindros de los cuales 6 fueron ensayados en el IMME y el otro en la instalaciones de la FNC, en ambos casos se ensayaron a una edad de 7 días y los resultados obtenidos fueron los siguientes

**Tabla N °17: Resultados Interlaboratorio. Cilindros elaborados en el IMME.**

<b>Cilindros</b>	<b>FNC Esfuerzo (<math>\sigma</math>)(Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>IMME Esfuerzo(<math>\sigma</math>)(Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	124	115
<b>2</b>	114	134
<b>3</b>	103	125
<b>4</b>	123	112
<b>5</b>	147	116
<b>6</b>	130	125
<b>Desviación Estándar (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	9	8
<b>Desviación Estándar Global (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	16	
<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	123±9	121±8

En este caso se observa que hubo una mayor dispersión en los resultados obtenidos en la FNC excediendo la desviación estándar establecida por la norma, en el caso de los cilindros ensayados en el IMME la dispersión en los resultados fue menor, y la desviación de ambos laboratorios fue sólo un poco mayor que lo indicado en la norma 16 Kgf /cm<sup>2</sup> diferencias encontradas pueden atribuirse a gran cantidad de variables que influyen en la elaboración de la mezcla y en la realización del ensayo, el personal que realiza el ensayo en ambos laboratorios es diferente con experiencia y precisión diferentes.

#### **IV.6 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE**

El procedimiento de cálculo para la estimación de la incertidumbre, se desarrolló de manera detallada incluyendo todas las ecuaciones empleadas, como se muestra en la Figura N° 18. En primero lugar, se definió el mensurando o magnitud sometida a medición, seguidamente se identificaron las variables o magnitudes físicas que influyen sobre el mensurando. Se identificó el modelo matemático que relaciona el mensurando con las magnitudes físicas, a partir de este modelo se definió la incertidumbre estándar combinada del ensayo empleando la regla N °2 (CENAM, 2000). Mediante la aplicación de un diagrama causa efecto se identificaron las fuentes de incertidumbre y partir de este diagrama se cuantificaron las diversas fuentes de incertidumbre del ensayo luego se definió la incertidumbre combinada considerando los valores de reproducibilidad y repetibilidad provenientes de la validación del método, y por último se calculó la incertidumbre expandida del ensayo. valido

El procedimiento desarrollado para la estimación de la incertidumbre del ensayo a compresión de cilindros de concreto se esquematiza en la Figura N °18

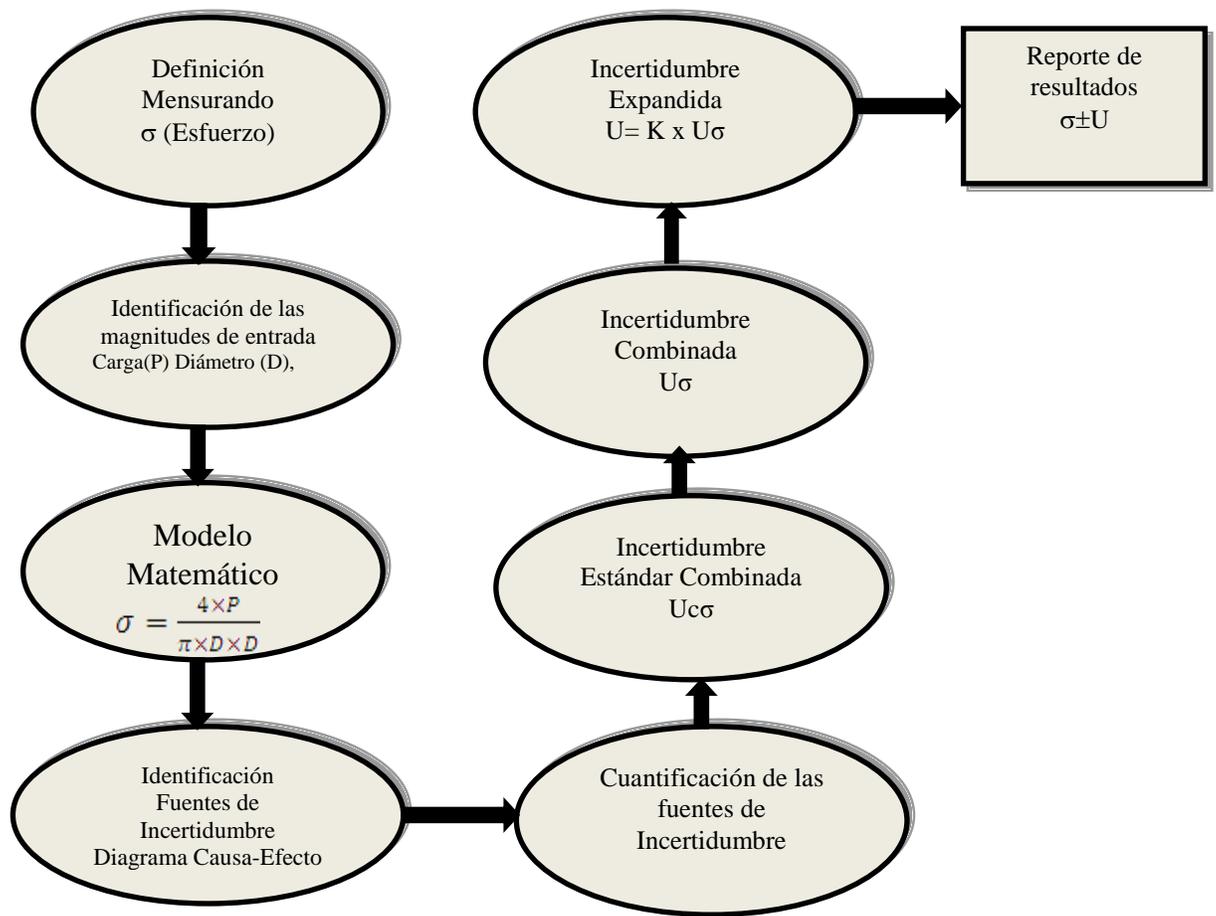


Figura N °18: Procedimiento para la estimación de la incertidumbre

### Definición del Mensurando

Se definió la magnitud que sería sometida a medición en el ensayo a compresión de cilindros de concreto, la magnitud es el esfuerzo o resistencia que ejerce un cilindro de concreto cuando es sometido a una determinada carga

Mensurando: Esfuerzo ( $\sigma$ )

### Modelo Matemático

La relación matemática que define el esfuerzo es la carga aplicada entre el área del cilindro que soporta dicha carga, se expresa matemáticamente de la siguiente manera

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación N°42}$$

El área de un cilindro se define como

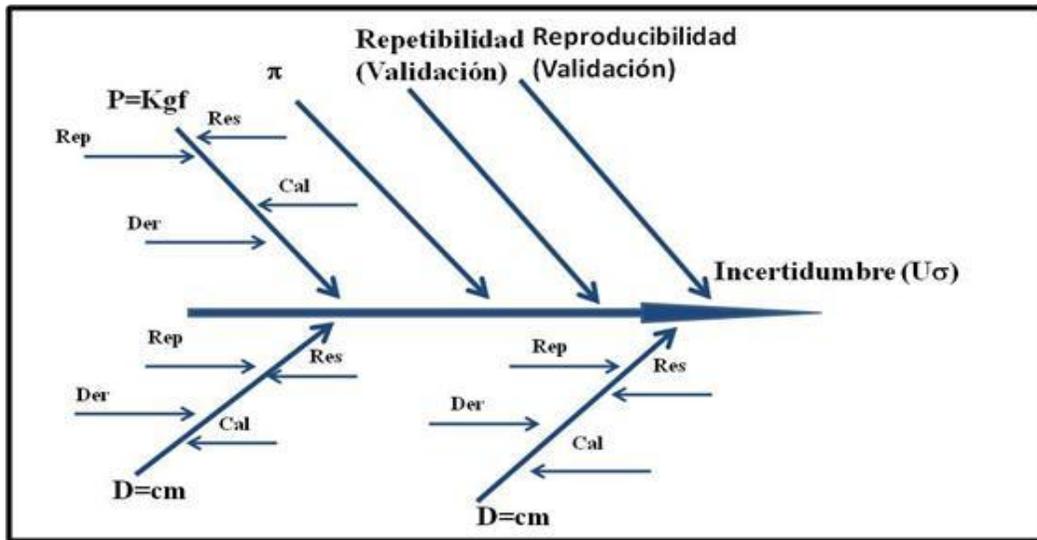
$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \text{Ecuación N}^\circ 43$$

Sustituyendo la Ecuación N<sup>°</sup>43 en la Ecuación N<sup>°</sup>42, tenemos el modelo matemático que define el ensayo compresión de cilindros de concreto

$$\sigma = \frac{4 \times P}{\pi \times D \times D} \quad \text{Ecuación N}^\circ 44$$

### Identificación de la Fuentes de Incertidumbre

Analizado el tipo de ensayo a realizar y conocido el modelo matemático que define el ensayo se identificaron las diferentes fuentes de incertidumbre que actúan sobre el mismo. Esta identificación se realizó empleando como herramienta un diagrama causa - efecto, el cual se muestra a continuación:



**Figura N<sup>°</sup>19: Fuentes de incertidumbre asociadas al Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto.**

Las fuentes de incertidumbre provienen de los diversos factores involucrados en la medición del mensurando. En el diagrama se observa que las variables pertenecientes al modelo matemático son fuentes de incertidumbre y a su vez a estas variables las afecta las fuentes de incertidumbre asociadas a los instrumentos que se emplean en la

medición. En el caso de este ensayo se refieren a la prensa utilizada para aplicar la carga y al vernier empleado para medir el diámetro de los cilindros, cada uno de estos instrumentos de medición posee incertidumbre asociada a la resolución, a la deriva, y a la calibración, además de una incertidumbre asociada a la repetibilidad de las mediciones y lecturas realizadas por los técnicos encargados de la realización del ensayo. El diámetro se señala dos veces como fuente de incertidumbre porque en el modelo matemático se encuentra elevado al cuadrado, (Eurachem 2008) .También se considera como fuente de incertidumbre la reproducibilidad y repetibilidad proveniente de la validación del ensayo.

### **Incetidumbre Estándar Combinada**

A partir del modelo matemático definido y empleando la regla N °2 para el desarrollo de la incertidumbre, se determinó que la incertidumbre estándar combinada para el Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto se define a través de la siguiente ecuación matemática

$$U_{\text{cc}} = \sigma \times \sqrt{\left(\frac{U_4}{4}\right)^2 + \left(\frac{U_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{U_{\pi}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2} \text{ Ecuación N}^\circ\text{45}$$

### **Cuantificación de la Fuentes de Incertidumbre**

Se definió cada uno de los términos de la Ecuación N°45 de la siguiente manera:

$\left(\frac{U_4}{4}\right)^2 = 0$ , La Eurachem establece que el aporte de un número en la incertidumbre es cero.

Para el caso de  $\frac{U_{\pi}}{\pi} = 0,01$ , La Eurachem establece que la incertidumbre asociada a una constante depende del número de decimales que tenga dicha constante tomando  $\pi=3,14$ , el aporte de dicha constante a la incertidumbre es 0,01. Para la definición de los demás términos es necesario definir algunas de las incertidumbres de los equipos,

suministrado por el certificado de calibración y del manual del fabricante de cada uno de ellos los cuales se indican en la Tabla N°19.

**Tabla N °18** Datos de la incertidumbre de la prensa

Prensa		Certificado (KN)	Kgf
<b>Incertidumbre de la Calibración</b>	Ucal	1,02	104,00
<b>Error Máximo Permitido</b>	EMP	10	1019,70
<b>Resolución</b>	Ures	0,1	10,19

Para la estimación de la incertidumbre se requieren algunos datos del proceso de validación del ensayo, los cuales se indican a manera de ejemplo los correspondientes al nivel de 250Kgf/cm<sup>2</sup> en la Tabla N°19

**Tabla N° 19** Datos de la Validación para el nivel 250.

<b>N (Numero de datos analizados)</b>	29
<b>P (Carga Promedio)</b>	1916Kgf
<b>D (Diámetro Promedio)</b>	15,0 cm
<b>σ (Esfuerzo Promedio)</b>	245 Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Srepetibilidad Carga (P)</b>	1378 Kgf
<b>Srepetibilidad Diámetro(D)</b>	0,05cm
<b>Ureptibilidad</b>	6 Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Ureproducibilidad</b>	7 Kgf/cm <sup>2</sup>

El término  $\frac{U_P}{P}$  representa el aporte de la carga axial, sobre la misma actúan otras fuentes de incertidumbre propias del instrumento como:

Calibración, repetibilidad, deriva y resolución, tal como se describe en la siguiente ecuación

$$\left(\frac{U_P}{P}\right)^2 = (U_{CAL})^2 + (U_{REP})^2 + (U_{DER})^2 + (U_{RES})^2 \quad \text{Ecuación N}^\circ 46$$

Ahora se definirá cada uno de los términos de la Ecuación N°45

➤ **Aporte de la Carga (P).**

– **Calibración (Ucal)**

Incertidumbre reportada en el certificado de calibración del equipo y se calcula de la siguiente manera

$$U_{CAL} = \frac{u_{CAL}}{2} = \frac{104,00}{2} = 52,00 \text{ Kgf}$$

– **Repetibilidad (Urep)**

La desviación de las mediciones realizadas con la prensa se calculan de la siguiente manera

$$U_{REP} = \frac{S_{repetibilidad}}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} = \frac{1578,13 \text{ Kgf}}{\sqrt{29}} = 251,61 \text{ Kgf}$$

– **Deriva (Uderiva)**

Como no se poseen datos de una calibración anterior, se calculó empleando el error máximo permitido por el equipo,

$$U(\text{rep}) = \frac{EMP}{\sqrt{3}} = \frac{1019,17 \text{ Kgf}}{\sqrt{3}} = 588,72 \text{ Kgf}$$

– **Resolución (Ures)**

Es el valor más pequeño que muestra la prensa, especificado por el fabricante del equipo, la incertidumbre asociada a la resolución del equipo se calculó de la siguiente manera

$$U(\text{res}) = \frac{\text{Res}_{\text{digital}}}{\sqrt{12}} = \frac{10,197\text{Kgf}}{\sqrt{12}} = 2,94\text{Kgf}$$

Sustituyendo todos estos valores en la Ecuación N°46, se tiene que el aporte de la carga axial es:

$$\left(\frac{U_P}{P}\right)^2 = \left(\frac{U_{\text{CAL}}}{2P}\right)^2 + \left(\frac{S_{\text{repetibilidad}}}{\sqrt{n}P}\right)^2 + \left(\frac{\text{EMP}}{\sqrt{3}P}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{RES}}}{\sqrt{12}P}\right)^2 = 0,0004$$

Donde P es el valor promedio de todas las cargas registradas, para el nivel 2:

➤ **Aporte del diámetro (D)**

Este mismo procedimiento se realizó para el término asociado al diámetro, para lo cual fueron necesarios datos de la calibración del vernier y del manual del fabricante, los cuales se observan en la Tabla N°

**Tabla N °21 Datos del Vernier**

Vernier		Certificado (mm)	cm
<b>Incertidumbre de la Calibración</b>	Ucal	0,02	0,002
<b>Error Máximo Permitido</b>	EMP	0,002	0,002
<b>Resolución</b>	Ures	0,01	0,001

El término  $\frac{U_D}{D}$  representa el aporte del diámetro, sobre la incertidumbre del ensayo al igual que para la carga, al momento de realizar la medición del diámetro se consideraron las diferentes fuentes de incertidumbre asociadas al vernier: calibración, repetibilidad, deriva y resolución, tal como se observa en la siguiente ecuación

$$\left(\frac{U_D}{D}\right)^2 = (U_{CAL})^2 + (U_{REP})^2 + (U_{DER})^2 + (U_{RES})^2 \text{ Ecuacion N } ^\circ 47$$

– **Calibración (Ucal)**

Incertidumbre reportada en el certificado de calibración del equipo y se calcula de la siguiente manera

$$U_{REP} = \frac{U_{cal}}{2} = 0,002 \text{ cm} = 0,0001 \text{ cm}$$

– **Repetibilidad (Urep)**

Se calcula con la desviación de las mediciones realizadas con el vernier para cada uno de los cilindros de la siguiente manera

$$U_{REP} = \frac{S_{repetibilidad}}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} = \frac{0,05}{\sqrt{29}} = 0,009 \text{ cm}$$

– **Derviva (U<sub>DERIVA</sub>)**

Como no se poseen datos de una calibración anterior, se calculó empleando el error máximo permitido por el equipo,

$$U(\text{rep}) = \frac{EMP}{\sqrt{3}} = \frac{0,002 \text{ cm}}{\sqrt{3}} = 0,001 \text{ cm}$$

– **Resolución (Ures)**

Es el valor más pequeño que se puede observar en el vernier, especificado por el fabricante del equipo, la incertidumbre asociada a la resolución del vernier se calculó de la siguiente manera

$$U(\text{res}) = \frac{Res}{\sqrt{12}} = \frac{0,001 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = 0,0002 \text{ cm}$$

Sustituyendo todos estos valores en la Ecuación N°46, se tiene que el aporte del diámetro es:

$$\left(\frac{U_D}{D}\right)^2 = \left(\frac{U_{CAI}}{2D}\right)^2 + \left(\frac{S_{repetibilidad}}{\sqrt{n}D}\right)^2 + \left(\frac{EMP}{\sqrt{3}D}\right)^2 + \left(\frac{U_{RES}}{\sqrt{12}D}\right)^2 = 0,000004$$

Donde D es el valor promedio de todos los diámetros para los cilindros pertenecientes al nivel 2

Luego de determinadas y cuantificadas todas las fuentes de incertidumbre todos los valores obtenidos se sustituyeron la Ecuación N°45 para calcular la incertidumbre estándar combinada

$$U_{cc} = 245 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \times \sqrt{(0)^2 + 0,0004 + (0,01)^2 + 2(0,0000004)} = 5,49 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

### **Incertidumbre Combinada**

Se calculó la incertidumbre combinada, utilizando los datos provenientes de la validación del método de ensayo y con la incertidumbre estándar combinada

$$U_{\sigma} = \sqrt{(U_{cc})^2 + (U_{repro})^2 + (U_{repe})^2} \text{ Ecuación N } ^{\circ}48$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación N°48

$$U_{\sigma} = \sqrt{\left(5,49 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)^2 + \left(6,99 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)^2 + \left(5,68 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)^2} = 10,55 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

La incertidumbre combinada representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor convencionalmente verdadero con una probabilidad del 95% ya que se asumió una distribución normal para todos los posibles valores del mensurando. Generalmente se requiere una probabilidad que se obtiene expandiendo el intervalo de la incertidumbre por esta razón se calculó la incertidumbre expandida

### Incertidumbre Expandida

La incertidumbre expandida se calcula multiplicando la incertidumbre combinada por un factor de cobertura, el factor de cobertura se escoge normalmente a conveniencia, el mesurando presento una distribución normal, y asumiendo un nivel de confianza de 95%, el factor de cobertura que corresponde a este nivel y a esta distribución es igual a 2.

$$U=K \times U_c = 2 \times 10,55 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} = 21,11$$

Este procedimiento de cálculo se realizó para cada uno de los niveles de la matriz experimental desarrollada, es importante destacar que las fuentes de incertidumbre asociadas a los equipos como la calibración, resolución y deriva se mantienen constante para los cuatro niveles ya que son valores independientes del esfuerzo que se esté evaluando.

### Reporte de resultados

Los resultados de una medición se reportan de la siguiente manera

$$\sigma = \sigma \pm U \quad \text{Ecuación N}^\circ 49$$

El número de cifras significativas en la expresión de la incertidumbre depende de la magnitud del mensurando (CENAM;2000), como el esfuerzo es una medición que se reporta sin decimales, por ejemplo para el nivel 250 Kgf/cm<sup>2</sup> la incertidumbre del mensurando se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma = (245 \pm 21) \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

Los diferentes valores de incertidumbre obtenidos para los cuatro niveles evaluados se presentan en la siguiente Tabla

**Tabla N°22** Incertidumbre para cada nivel de resistencia evaluado

Nivel (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Incertidumbre (U)(Kgf/cm <sup>2</sup> )
120	±27
245	±21
278	±23
418	±26

Se observa en la Tabla N°23 que el orden de magnitud de la incertidumbre no depende del nivel o mensurando que se esté evaluando, si no de la dispersión de los resultados obtenidos en la medición del mismo, como se observa en la siguiente tabla

**Tabla N°23:** Incertidumbres y medidas de dispersión para cada nivel evaluado

Nivel (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Incertidumbre (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar Ensayo (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar Repetibilidad (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar Reproducibilidad (Kgf/cm <sup>2</sup> )
120	±27	9	7	9
245	±21	7	6	7
278	±23	7	7	7
410	±26	8	8	8

El valor de incertidumbre mayor corresponde al primer nivel, al cual también corresponde la mayor dispersión en los resultados obtenidos para el mesurando esto se identifica a través de la desviación estándar del ensayo, las mediciones de esfuerzo realizadas para el primer nivel arrojaron la mayor desviación y por lo tanto la mayor dispersión entre ellos

Para el último nivel ( $410\text{Kf/cm}^2$ ) se observó una incertidumbre mayor con respecto al segundo y tercer nivel, estos resultados también presentaron mayor dispersión en los valores del mensurando obtenidos debido a la presencia de contaminantes en el agregado utilizado alterando estos contaminantes la resistencia obtenida para algunos cilindros ocasionando así la dispersión de los resultados, la cual se refleja en la desviación estándar del ensayo

Se puede concluir de manera general que las fuentes de incertidumbre que más afectan la incertidumbre del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto como parámetro son las fuentes ocasionadas directamente en la realización del ensayo, es decir por el personal que lo ejecuta y los equipos que se utilizan

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **V.I CONCLUSIONES**

- Se diseñó y desarrollo una metodología que permitió la validación y estimación de la incertidumbre del Ensayo a Compresión de cilindros de Concreto normalizado según la Norma COVENIN 338:2002
- La implementación de la metodología basada en un diagrama causa-efecto permitió desarrollar un procedimiento de cálculo para determinar la incertidumbre del Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto para el rango establecido
- A través de la metodología de validación desarrollada se obtuvo una incertidumbre  $(24\pm 3)\text{Kgf/cm}^2$ , para los niveles de esfuerzo de 120,245,310 y 418  $\text{Kgf/cm}^2$ .
- Mediante la metodología de validación desarrolla se demostró que el resultado obtenido es válido y confiable para el intervalo de trabajo 120-418 $\text{Kgf/cm}^2$
- La incertidumbre del ensayo está asociada directamente a la dispersión de los resultados de las mediciones de esfuerzo obtenidos, mientras mayor sea la dispersión o desviación estándar mayor será la incertidumbre del ensayo
- La expresión de la incertidumbre de medida para la determinación del esfuerzo de los cilindros de concreto ofrece valor y significado al resultado

## **V.II RECOMENDACIONES**

- Realizar comparaciones inter-laboratorios continuamente para detectar de manera temprana cualquier cambio de los resultados en el tiempo debido a diferentes problemas que se puedan presentar como por ejemplo, falta de calibración de los equipos, problemas de deriva de los mismos, etc., y si esto sucede de esta manera poder generar soluciones efectivas y a tiempo; evitando así que se pierda validez de las mediciones o ensayos que realiza un laboratorio.
- Incluir en el diseño experimental niveles menores de resistencia y realizar el procedimiento de validación y estimación de la incertidumbre para estos niveles y de esta manera aumentar el intervalo de validación y alcance del método.
- Realizar talleres dirigidos al adiestramiento y formación del personal técnico del laboratorio orientado a la implementación de Sistemas de Gestión de Calidad y a la validación y estimación de la incertidumbre de métodos de ensayo.
- Aplicar la metodología de validación diseñada a los diferentes métodos de ensayo que se realiza en la Nave de Ensayos Físicos del IMME, para optar a la acreditación de los mismos y así conformar un SGC sólido en el IMME



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Centro Español de Metrología. “Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, términos asociados”. Tercera Edición 2008.
2. Gor, S (2006). “Implementación de Gestión de la Calidad en laboratorios Universitarios”. Experiencias en la Universidad Nacional de Tucumán. XXVII. Jornadas IRAM-Universidades, .Argentina.
3. Feliz, G. (2010). Diseño del Procedimiento para la Validación y Estimación de la Incertidumbre del Ensayo de Compresión de Cilindros de Concreto. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela., Caracas.
4. Lazos, R., Hernández I. (2004)“La Validación de Métodos: “Un Enfoque Práctico”. Simposio de Metrología, CENAM. El Marques-Mexico.
5. Eurachem. “The Fitness for Purpose of Analytical Methods”. 1<sup>st</sup> Edition, 1998.
6. Norma ISO/ IEC 17.025: 2005 “Requisitos generales para la competencia de los ensayos y de calibración”.
7. Norma COVENIN 338:2002 Concreto. “Método para la Elaboración , Curado y Ensayo a Compresión de cilindros de Concreto”
8. Norma ASTM. C 1231. “Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cilindres”.
9. Popa, R. (2010). Desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad para el Análisis Cualitativo del Gas Natural por Cromatografía de Gases Basado en la Norma ISO/IEC 17025:2005.Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
10. Romero T., Mujica A., Rojas E., Gambino F., Kum H., García L. (2009). “Sistema de gestión de calidad de los laboratorios de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Venezuela: Metodología de selección de ensayos”. XIII

Seminario Latino-iberoamericano de Gestión Tecnológica, ALTEC, Cartagena de Indias-Colombia.

11. Uso de Almohadillas de refrentado para la determinación del esfuerzo de compresión de cilindros de concreto endurecido. Resumen ASTM 1231 (S/F).Universidad Técnica de Loja. Consultado el 08 de enero de 2010.Pagina web de la universidad.<http://www.utpl.edu.ec/>.
12. Vidal., J. (2004) Uso de refrentado no adherido en ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de hormigón: Comprobación de una norma. Revista Universidad EAFIT, Vol 40 (135): 73-78.
13. Norma COVENIN 1976:2003 Concreto. “Evaluación y Metodo de Ensayo”.
14. .Portuendo, Y (2010). La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición”. Revista Tecnología Química Vol 30 .117-121

## APÉNDICES

### APÉNDICE A

#### .ESFUERZOS CALCULADOS PARA LOS NIVELES DE LA MATRIZ EXPERIMENTAL

A continuación se muestran los esfuerzos calculados para cada nivel de la matriz experimental.

**Tabla N°24:** Esfuerzos obtenidos para el primer nivel (120 kgf/cm<sup>2</sup>)

Cilindro	Técnico	Diámetro (D) (cm)	Carga(P) (Kgf)	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1	15,1	21.608	122
2		14,9	20.037	110
3		15,0	16.192	90
4		15,0	21.374	121
5		15,1	19.518	111
6		15,1	17.331	98
7	2	15,0	20.545	115
8		15,1	23.709	134
9		14,9	22.087	125
10		15,0	20.938	119
11		15,0	19.435	109
12		15,1	20.342	115
13	3	15,0	22.009	123
14		15,0	21.957	124
15		15,0	24.312	136
16		15,0	22.001	125
17		15,0	19.828	112
18		15,1	21.386	123
19	4	15,1	22.420	126
20		15,1	21.663	122
21		15,0	22.008	123
22		15,0	23.000	129
23		15,0	21.989	124
24		15,0	22.005	125
25	5	15,1	18586	104
26		15,0	19854	112
27		15,1	20985	116
28		15,0	22417	125
29		15,0	19987	113
30		15,0	20939	119

**Tabla N°25:** Esfuerzos obtenidos para el tercer nivel (310 kgf/cm<sup>2</sup>)

Cilindro	Técnico	Diámetro (D) (cm)	Carga(P) (Kgf)	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1	15,1	50.993	289
2		14,9	47.499	271
3		15,0	49.700	274
4		15,0	48.830	275
5		15,1	49.558	277
6		15,1	47.538	271
7	2	15,0	48.918	270
8		15,1	48.307	272
9		14,9	49.691	283
10		15,0	49.698	281
11		15,0	50.475	286
12		15,1	47.242	266
13	3	15,0	47.715	270
14		15,0	49.841	282
15		15,0	49.615	279
16		15,0	48.264	271
17		15,0	48.822	276
18		15,1	48.242	273
19	4	15,1	48.183	273
20		15,1	49.141	278
21		15,0	47.622	270
22		15,0	48.939	277
23		15,0	47.329	268
24		15,0	50.823	288
25	5	15,1	55.195	308
26		15,0	51.012	291
27		15,1	50.727	287
28		15,0	49.868	282
29		15,0	47.235	267
30		15,0	49.347	281

Tabla N°26: Esfuerzos obtenidos para el cuarto nivel (410 kgf/cm<sup>2</sup>)

Cilindro	Técnico	Diámetro (D) (cm)	Carga(P) (Kgf)	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	1	15,1	77.255	434
2		14,9	69.144	387
3		15,0	77.135	440
4		15,0	73.042	414
5		15,1	69.393	398
6		15,1	75.455	424
7	2	15,0	71.099	400
8		15,1	72.268	409
9		14,9	69.140	346
10		15,0	75.410	430
11		15,0	71.954	405
12		15,1	73.353	418
13	3	15,0	76.371	430
14		15,0	67.868	300
15		15,0	71.821	407
16		15,0	73.614	420
17		15,0	72.502	410
18		15,1	67.601	300
19	4	15,1	72.917	413
20		15,1	74.466	422
21		15,0	73.965	419
22		15,0	73.961	424
23		15,0	72.350	415
24		15,0	73.428	416
25	5	15,1	73.419	416
26		15,0	70.277	0
27		15,1	74.583	425
28		15,0	74.722	423
29		15,0	71.430	404
30		15,0	71.381	404

## APÉNDICE B

### . VALORES DE ESPFUERZO POR NIVEL DESPUES DEL DESCARTE DE DATOS

**Tabla N°27:** Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico, luego del descarte de datos, primer nivel (120 Kgf/cm<sup>2</sup>)

	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5
<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	122	115	123	126	104
	110	134	124	122	112
	121	125	136	123	116
	111	119	125	129	125
	98	109	112	124	113
	-----	115	123	125	119

**Tabla N°28:** Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico, luego del descarte de datos, tercer nivel (310 Kgf/cm<sup>2</sup>)

	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5
<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	289	270	270	273	291
	271	272	282	278	287
	274	283	279	270	282
	275	281	271	277	267
	277	286	276	268	281
	271	266	273	288	-----

**Tabla N°29:** Valores de esfuerzo obtenidos por cada técnico, luego del descarte de datos, cuarto nivel (410 Kgf/cm<sup>2</sup>)

	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5
<b>Esfuerzo (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	434	409	430	413	416
	440	430	407	422	425
	414	405	420	419	423
	424	418	410	424	404
	-----	-----	---	415	----
	-----	-----	----	----	----

## APÉNDICE C

### .VALORES DE MEDIA DIARIA Y MEDIA GLOBAL PARA CADA NIVEL

**Tabla N°30:** Media diaria y global para el nivel 1 (120Kgf/cm<sup>2</sup>)

Media	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo3	Tiempo4	Tiempo5
Diaria(Kgf/cm <sup>2</sup> )	112	120	124	125	115
Global(Kgf/cm <sup>2</sup> )	119				

**Tabla N°31:** Media diaria y global para el nivel 3 (310Kgf/cm<sup>2</sup>)

Media	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo3	Tiempo4	Tiempo5
Diaria(Kgf/cm <sup>2</sup> )	276	276	275	276	282
Global(Kgf/cm <sup>2</sup> )	277				

**Tabla N°32:** Media diaria y global para el nivel 4 (410Kgf/cm<sup>2</sup>)

Media	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo3	Tiempo4	Tiempo5
Diaria(Kgf/cm <sup>2</sup> )	428	415	417	419	417
Global(Kgf/cm <sup>2</sup> )	419				

## APÉNDICE D

### .METODO ANOVA PARA CADA NIVEL

A continuación se presenta los valores obtenidos a través del método ANOVA para cada nivel de la matriz experimental

**Tabla N °33: Método ANOVA (Nivel: 120Kgf/cm<sup>2</sup>)**

Método Estadístico ANOVA (Nivel 1:120 Kgf/cm <sup>2</sup> )			
Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas Medias (DCM=SDC/v)
Entre grupos	$v_1=5-1=4$	$SDC_B = 661,50,12$	$DCM_B = \frac{661,50}{4} = 115,28$
Dentro del grupo	$v_2=29-5=24$	$SDC_w = 807$	$DCM_w = \frac{807}{24} = 53,82$

**Tabla N °34: Método ANOVA (Nivel: 3: 310 Kgf/cm<sup>2</sup>)**

Método Estadístico ANOVA (Nivel 2:310 Kgf/cm <sup>2</sup> )			
Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas Medias (DCM=SDC/v)
Entre grupos	$v_1=5-1=4$	$SDC_B = 152,29$	$DCM_w = \frac{152,29}{4} = 38,07$
Dentro del grupo	$v_2=29-5=24$	$SDC_w = 1245$	$DCM_w = \frac{1245}{24} = 51,87$

**Tabla N °35: Método ANOVA (Nivel:4: 410 Kgf/cm<sup>2</sup>)**

Método Estadístico ANOVA (Nivel 4:410 Kgf/cm <sup>2</sup> )			
Origen de la varianza	Grados de libertad (v)	Suma de diferencias cuadráticas (SDC)	Diferencias cuadráticas Medias (DCM=SDC/v)
Entre grupos	$v_1=5-1=4$	$SDC_B = 424,03$	$DCM_w = \frac{424,03}{4} = 106,01$
Dentro del grupo	$v_2=29-5=24$	$SDC_w = 1452$	$DCM_w = \frac{1452}{24} = 58,08$

## APÉNDICE E

**CUANTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE PARA CADA NIVEL**

A continuación se presenta los valores obtenidos en la cuantificación de las fuentes de incertidumbre para cada nivel de la matriz experimental

**Tabla N°36:** Valores de las diferentes fuentes de incertidumbre, nivel:120Kgf/cm<sup>2</sup>

$\Sigma$	119
$\left(\frac{U_P}{P}\right)^2$	0,0009
$\left(\frac{U_D}{D}\right)^2$	6,5325E-08
$U_{C\sigma}$	8,88Kgf/cm <sup>2</sup>
$U\sigma$	13,49Kgf/cm <sup>2</sup>
$U$	26,98Kgf/cm <sup>2</sup>

**Tabla N°37:** Valores de las diferentes fuentes de incertidumbre, nivel:410 Kgf/cm<sup>2</sup>

$\Sigma$	277Kgf/cm <sup>2</sup>
$\left(\frac{U_P}{P}\right)^2$	0,0003
$\left(\frac{U_D}{D}\right)^2$	5,91E-07
$U_{C\sigma}$	5,65Kgf/cm <sup>2</sup>
$U\sigma$	11,62Kgf/cm <sup>2</sup>
$U$	23,25Kgf/cm <sup>2</sup>

**Tabla N°38:** Valores de las diferentes fuentes de incertidumbre, nivel:410 Kgf/cm<sup>2</sup>

$\Sigma$	418Kgf/cm <sup>2</sup>
$\left(\frac{U_P}{P}\right)^2$	7,37E-05
$\left(\frac{U_D}{D}\right)^2$	4,02E-05
$U_{c\sigma}$	6,67Kgf/cm <sup>2</sup>
$U\sigma$	13,05Kgf/cm <sup>2</sup>
$U$	26,10Kgf/cm <sup>2</sup>

## APÉNDICE F

## VALORES TABULADOS PARA EL METODO DE GRUBBS

Tabla N°39: Valores de  $G_{tab}$ 

N	0.1	0.075	0.05	0.025	0.01		N	0.1	0.075	0.05	0.025	0.01
3	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15		53	0	0	2.981	3.151	999
4	1.42	1.44	1.46	1.48	1.49		54	0	0	2.988	3.158	999
5	1.6	1.64	1.67	1.71	1.75		55	0	0	2.995	3.165	999
6	1.73	1.77	1.82	1.89	1.94		56	0	0	3.002	3.172	999
7	1.83	1.88	1.94	2.02	2.1		57	0	0	3.009	3.179	999
8	1.91	1.96	2.03	2.13	2.22		58	0	0	3.016	3.186	999
9	1.98	2.04	2.11	2.21	2.32		59	0	0	3.023	3.193	999
10	2.03	2.1	2.18	2.29	2.41		60	0	0	3.03	3.2	999
11	2.09	2.14	2.23	2.36	2.48		61	0	0	3.036	3.206	999
12	2.13	2.2	2.29	2.41	2.55		62	0	0	3.042	3.212	999
13	2.17	2.24	2.33	2.45	2.61		63	0	0	3.048	3.218	999
14	2.21	2.28	2.37	2.51	2.66		64	0	0	3.054	3.224	999
15	2.25	2.32	2.41	2.55	2.71		65	0	0	3.06	3.23	999
16	2.28	2.35	2.44	2.59	2.75		66	0	0	3.066	3.236	999
17	2.31	2.38	2.47	2.62	2.79		67	0	0	3.072	3.242	999
18	2.34	2.41	2.5	2.65	2.82		68	0	0	3.078	3.248	999
19	2.36	2.44	2.53	2.68	2.85		69	0	0	3.084	3.254	999
20	2.38	2.45	2.56	2.71	2.88		70	0	0	3.09	3.26	999
21	0	0	2.58	2.73	2.91		71	0	0	3.095	3.265	999
22	0	0	2.6	2.76	2.94		72	0	0	3.1	3.27	999
23	0	0	2.62	2.78	2.96		73	0	0	3.105	3.275	999
24	0	0	2.64	2.8	2.99		74	0	0	3.11	3.28	999
25	0	0	2.66	2.82	3.01		75	0	0	3.115	3.285	999
26	0	0	2.68	2.84	999		76	0	0	3.12	3.29	999
27	0	0	2.7	2.86	999		77	0	0	3.125	3.295	999
28	0	0	2.72	2.88	999		78	0	0	3.13	3.3	999
29	0	0	2.73	2.9	999		79	0	0	3.135	3.305	999
30	0	0	2.75	2.91	999		80	0	0	3.14	3.31	999
31	0	0	2.76	2.93	999		81	0	0	3.144	3.314	999
32	0	0	2.78	2.95	999		82	0	0	3.148	3.318	999
33	0	0	2.79	2.96	999		83	0	0	3.152	3.322	999
34	0	0	2.81	2.97	999		84	0	0	3.156	3.326	999
35	0	0	2.82	2.98	999		85	0	0	3.16	3.33	999
36	0	0	2.83	2.992	999		86	0	0	3.164	3.334	999
37	0	0	2.84	3.004	999		87	0	0	3.168	3.338	999
38	0	0	2.85	3.016	999		88	0	0	3.172	3.342	999
39	0	0	2.86	3.028	999		89	0	0	3.176	3.346	999
40	0	0	2.87	3.04	999		90	0	0	3.18	3.35	999
41	0	0	2.88	3.05	999		91	0	0	3.183	3.353	999
42	0	0	2.89	3.06	999		92	0	0	3.186	3.356	999
43	0	0	2.9	3.07	999		93	0	0	3.189	3.359	999

## APENDICE G

### IMAGENES ELABORACIÓN Y ENSAYO DE CILINDROS

A continuación se presenta diferentes imagines tomadas durante la elaboración y ensayo de las probetas cilíndricas



**Figura N°20: Método de compactación por barra.(FNC)**



**Figura N°21: Mezcla realizada en el IMME.**



**Figura N °22 Desencofrado de cilindros. (FNC)**



**Figura N °23 Proceso de curado (IMME)**